



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية - وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة باتنا 1 - معهد الهندسة المعمارية والعمارة
People's Democratic Republic Of Algeria
Ministry of Higher Education and Scientific Research
Institut of Architecture and Urbanism



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE BATNA 1
FACULTE D'ARCHITECTURE ET D'URBAINISME
DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE

THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES
SPECIALITE: ARCHITECTURE

***ETUDE DES PERFORMANCES LUMINEUSES DANS LES
ESPACES DOMESTIQUES.
REFERENCE AUX MILIEUX SEMI-ARIDES CAS DE L'HABITAT
COLLECTIF A BATNA***

Sous la direction du:

Pr. SAFFIDINE-ROUAG Djamila

Présentée par:

Mme MEKAOUSI Nadia

Membres du jury:

Dr. KACHA Lemya	M.C.A.	Université de Batna 1	Présidente
Pr. DIB Belkacem	Professeur	Université de Batna 1	Examinateur
Dr. HANAFI Abdelhakim	M.C.A.	Université de Batna 1	Examinateur
Pr. ZEMMOURI Noureddine	Professeur	Université de Alger 1	Examinateur
Dr. DAKHIA AZZEDINE	M.C.A.	Université de Biskra	Examinateur
Dr. ABADA Djallel	M.C.A.	Université de Constantine 3	Examinateur

2024-2025

REMERCIEMENTS

Je souhaite rendre hommage à feu Pre Saffidine Rouag Djamila, directrice de cette thèse, dont l'engagement scientifique, la rigueur méthodologique, les remarques constructives et la vision éclairée ont grandement contribué à l'orientation de ce travail.

Bien que sa disparition prématurée ait empêché qu'elle assiste à son aboutissement, son empreinte demeure présente à chaque étape de cette recherche. Que ce travail lui soit respectueusement dédié, en hommage à sa mémoire.

Je tiens à adresser mes remerciements les plus respectueux aux membres du jury pour l'attention qu'ils ont portée à ce travail, ainsi que pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'en assurer l'évaluation. Leur expertise, la rigueur de leurs observations et la qualité de leurs échanges représentent un apport scientifique majeur et constituent, une contribution précieuse à l'enrichissement de cette recherche.

J'exprime également ma gratitude à ma sœur Naima, Docteur à l'université ainsi que mon frère Nabil, ingénieur expert en génie civil, pour leur aide précieuse et leurs conseils éclairés qui m'ont permis de mieux maîtriser certains outils numériques mobilisés dans cette étude.

Votre implication et vos retours bienveillants me motivent à aller toujours plus loin dans la quête de l'excellence académique. À chacun d'entre vous, je tiens à témoigner ma reconnaissance la plus sincère.

Dédicace

Aux miens

Table des matières

REMERCIEMENTS

DEDICACE

TABLE DES MATIERES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES GRAPHS

LISTE DES COURBES

RESUME

ABSTRACT

المخلص

INTRODUCTION GENERALE.....	17
INTRODUCTION.....	18
PROBLEMATIQUE	20
QUESTIONNEMENTS	21
HYPOTHESES DE RECHERCHES:.....	22
OBJECTIFS DE LA RECHERCHE	22
ORGANISATION DU TRAVAIL	23
METHODOLOGIE DU TRAVAIL	25
REVUE DE LA LITTERATURE.....	26
CHAPITRE I LA LUMIERE NATURELLE DANS LES ESPACES DOMESTIQUES.....	31
INTRODUCTION.....	32
I. DEFINITION DE LA LUMIERE NATURELLE.....	32
II. PERSPECTIVES HISTORIQUES SUR LA LUMIERE NATURELLE A L'INTERIEUR DES BÂTIMENTS.....	34
III. ORIGINE ET CARACTERISTIQUES DE LA LUMIERE NATURELLE	37
III.1. ORIGINE DE LA LUMIERE NATURELLE	37
III.1.1. LE RAYONNEMENT SOLAIRE VISIBLE.....	37
III.1.2. FLUX DIRECT ET DIFFUS	38
III.1.3. LES TYPES DE CIEL	39
III.2. LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DE LA LUMIERE NATURELLE	43
III.2.1. DEFINITIONS ET ORDRES DE GRANDEURS:.....	43
III.2.2. LA PROPAGATION DE LA LUMIERE:	44
IV. STRATEGIES DE BASE DE LA LUMIERE NATURELLE	47
V. LA LUMIERE EN ARCHITECTURE:.....	48
V.1. IMPORTANCE DE LA LUMIERE NATURELLE DANS LE BATIMENT.....	50
V.2. IMPORTANCE DE LA LUMIERE NATURELLE DANS LES BATIMENTS RESIDENTIELS	51
VI. MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE L'ECLAIRAGE NATUREL	52
VI.1. METHODES SIMPLIFIEES	52
VI.2. MODELES REDUITS	53
VI.3. MODELES NUMERIQUES.....	53
VII. EXIGENCES ET DIRECTIVES (REGLEMENTATION) DE LA LUMIERE DU JOUR DANS LES IMMEUBLES RESIDENTIELS.....	60
VII.1. EN ALGERIE:.....	60

VII.2. AU ROYAUME-UNI:	61
VII.3. EN ALLEMAGNE:	61
VII.4. AUX ETATS UNIS:	62
CONCLUSION.....	63
CHAPITRE II LES FENETRES DANS LES ESPACES DOMESTIQUES.....	64
INTRODUCTION.....	65
I. ÉVOLUTION HISTORIQUE DE LA FENETRE A L'INTERIEUR DES BATIMENTS.....	65
I.1. LA FENETRE DANS L'ARCHITECTURE OCCIDENTALE.	65
I.2. LA FENETRE DANS L'ARCHITECTURE ISLAMIQUE	69
I.3. LA FENETRE DANS L'ARCHITECTURE MAGHREBINE.....	75
I.4. LA FENETRE EN ALGERIE	76
II. CARACTERISTIQUES DE LA FENETRE:(ASPECT PHYSIOLOGIQUE).....	78
II.1. ROLES ET FONCTIONS DE LA FENETRE DANS LA CONCEPTION DES BATIMENTS:	78
II.2. TERMINOLOGIE ET COMPOSITION D'UNE FENETRE:	80
III. CARACTERISTIQUE DE LA FENETRE (ASPECTS PSYCHOLOGIQUES).....	81
III.1. LA VUE.....	82
III.2. DIMENSIONS DE LA FENETRE.....	84
III.3. FENETRES ET EFFET DE BIEN-ETRE DANS LES ESPACES DOMESTIQUES.....	85
IV. FENETRES ET PERFORMANCE VISUELLE DANS LES ESPACES DOMESTIQUES.....	87
V. FENETRES ET DISPOSITIFS DE PROTECTION POUR LES ESPACES DOMESTIQUES	89
CONCLUSION	91
CHAPITRE III PERFORMANCE LUMINEUSE ET EFFICACITE ENERGETIQUE.....	93
INTRODUCTION.....	94
I. DEFINITION DU CONCEPT DE LA PERFORMANCE.	94
I.1. LA CONCEPTION BASEE SUR LA NOTION DE PERFORMANCE	95
II. DEFINITION DE LA PERFORMANCE LUMINEUSE.....	96
II.1. FACTEURS AFFECTANT LA PERFORMANCE DE LA LUMIERE DU JOUR	97
II.1.1. FACTEURS CLIMATIQUES	98
II.1.2. L'ENVIRONNEMENT BATI (LE SITE).....	101
II.1.3. LE BÂTIMENT	105
II.1.4. LA PIECE:	107
II.1.5. LES OUVERTURES	109
II.2. LES INDICATEURS DE LA PERFORMANCE LUMINEUSE	118
II.2.1. INDICATEURS STATIQUES	118
II.2.2. INDICATEURS DYNAMIQUES.	120
III. PERFORMANCE LUMINEUSE ET EFFICACITE ENERGETIQUE DANS LE BATIMENT.....	121
IV. PERFORMANCE LUMINEUSE ET ECONOMIE D'ENERGIE DANS LES BATIMENTS	
RESIDENTIELS.....	124
CONCLUSION	127
CHAPITRE IV CARACTERISTIQUES DES LOGEMENTS ET CONDITIONS LUMINEUSES A	
BATNA	128
INTRODUCTION.....	129
I.PRESENTATION DE LA VILLE DE BATNA:	129
I.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE:	129
I.2. APERCU HISTORIQUE:	130
I.3. SITUATION DEMOGRAPHIQUE:	131
I.4. LE RELIEF:.....	134
II. CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES DE LA VILLE DE BATNA.....	135
II.1. LA CLIMATOLOGIE	135
II.2. TEMPERATURES:	136
II.3. PRECIPITATIONS:	137

II.4. HUMIDITE:	138
II.5. LES VENTS DOMINANTS:	138
II.6. LE POTENTIEL SOLAIRE DE LA VILLE BATNA	139
II.7. DISPONIBILITE DE LA LUMIERE NATURELLE A BATNA	141
II.7.1 LE TYPE DE CIEL DOMINANT A BATNA.	142
III. EVALUATION DU PARC LOGEMENTS A BATNA.	143
III.1. CARACTERISTIQUES DE L'HABITAT.	143
III.2 L'HABITAT COLLECTIF A BATNA:	145
III.2.1LES CARACTERISTIQUES ARCHITECTURALES DE L'HABITAT COLLECTIF A BATNA:.....	147
IV. CONDITIONS LUMINEUSES DANS LES IMMEUBLES DE BATNA.	150
V. LA CONSOMMATION ENERGETIQUE DANS LE SECTEUR RESIDENTIEL A BATNA:	151
CONCLUSION.....	154
CHAPITRE V METHODOLOGIE ET PROTOCOLE D'INVESTIGATION.....	155
INTRODUCTION.....	156
I. METHODES ET OUTILS	156
I.1. APPROCHE SUBJECTIVE	156
I.1.1. L'OBSERVATION EXPLORATOIRE:.....	157
I.1.2. LA PRE-ENQUETE:	157
I.1.3. ELABORATION DE L'INSTRUMENT FINAL (Entretien exploratoire)	158
I.1.4. LA PROCÉDURE DE L'ENQUETE SUR TERRAIN	160
I.1.5. TRAITEMENT DES DONNEES COLLECTEES.	160
I.2. APPROCHE OBJECTIVE.	160
I.2.1. MESURE DES ECLAIREMENTS (LA CAMPAGNE DE MESURE IN-SITU)	160
I.2.2. INDICATEURS DE MESURE:	161
I.2.3. INSTRUMENT DE MESURE	164
I.2.4. PERIODE D'INVESTIGATION	164
I.2.5. TRAITEMENT DES DONNEES COLLECTEES.....	165
II. PRESENTATION DE L'ENVIRONNEMENT PHYSIQUE DU CAS D'ETUDE:.....	165
II.1. CRITERES DE SELECTION DES BATIMENTS A ETUDIER:	166
II.2. DESCRIPTION DES LOGEMENTS ETUDIES:	167
II.3. CADRE PHYSIQUE DE LA RECHERCHE.	170
II.3.1. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE L'ESPACE INVESTIGUE	171
II.3.2. ACTIVITES EFFECTUEES ET FREQUENTATION DE L'ESPACE DE SEJOUR	172
II.3.3. FACTEURS AFFECTANT L'ENVIRONNEMENT LUMINEUX DES ESPACES ETUDIES:.....	173
CONCLUSION.....	179
CHAPITRE VI RESULTATS DE L'INVESTIGATION.....	180
INTRODUCTION.....	181
I. EVALUATION SUBJECTIVE DE L'ENVIRONNEMENT LUMINEUX DES ESPACES DE SEJOURS INVESTIGUES (RESULTATS ET INTERPRETATION)	181
I.1. SYNTHESE DEL'EVALUATION SUBJECTIVE	188
II. EVALUATION OBJECTIVE DE L'ENVIRONNEMENT LUMINEUX DES ESPACES INVESTIGUES (TRAITEMENT DES VALEURS MEASUREES).	189
II.1. L'ENVIRONNEMENT LUMINEUX DES ECHANTILLONS (Campagne hivernale):.....	189
II.2. L'ENVIRONNEMENT LUMINEUX DES ECHANTILLONS (Campagne printanière):	202
II.3. L'ENVIRONNEMENT LUMINEUX DES ECHANTILLONS (Campagne de l'été):	214
II.4. SYNTHESE DEL'EVALUATION OBJECTIVE	224
CONCLUSION.....	224
CHAPITRES VII EVALUATION DE L'ECLAIRAGE NATUREL PAR SIMULATION.....	225
INTRODUCTION.....	226
I. DOMAINE D'UTILISATION DE LA SIMULATION EN ECLAIRAGE NATUREL:	226

I.1. TYPES DE LOGICIELS UTILISES EN ECLAIRAGE NATUREL:	228
II. PROCEDURE DE LA SIMULATION:	230
II.1. PRESENTATION DES OUTILS (LOGITIELS) CHOISIS POUR L'ETUDE:	231
II.1.1. LE LOGITIEL DE SIMULATION CYPE	231
II.1.2. LE LOGICIEL ARCHICAD:	233
II.1.3. LE LOGICIEL MATLAB:.....	234
II.2. PROCEDURE DE MODELISATION.....	234
II.3. PROCEDURE DE VALIDATION.....	236
II.4. TRAITEMENT DES DONNEES.....	238
III. EVALUATION DU CONFORT	239
III.1. INDICATEURS	240
III.1.1. LA ZONE DE CONFORT VISUEL (ZCV).....	240
III.1.2. LES ZONES D'INCONFORT VISUEL (ZIV)	241
III.1.3. INDICE D'UNIFORMITÉ	241
III.1.4. L'ORIENTATION	242
IV. RESULTATS DE LA SIMULATION	242
IV.1. ANALYSE DES PERFORMANCES LUMINEUSES DES CAS D'ETUDE SOUS CIEL CLAIR	242
IV.1.1. ANALYSE DES RESULTATS POUR LE MOIS DE DECEMBRE SOUS CIEL CLAIR	242
IV.1.2. ANALYSE DES RESULTATS POUR LE MOIS DE MARS SOUS CIEL CLAIR	244
IV.1.3. ANALYSE DES RESULTATS POUR LE MOIS DE JUIN SOUS CIEL CLAIR	246
IV.1.4. SYNTHESE DES RESULTATS SOUS CIEL CLAIR.....	248
IV.2. ANALYSE DES PERFORMANCES LUMINEUSES DES CAS D'ETUDE SOUS CIEL INTERMEDIAIRE	249
IV.2.1. ANALYSE DES RESULTATS POUR LE MOIS DE DECEMBRE SOUS CIEL INTERMEDIAIRE	249
IV.2.2. ANALYSE DES RESULTATS POUR LE MOIS DE MARS SOUS CIEL INTERMEDIAIRE	252
IV.2.3. ANALYSE DES RESULTATS POUR LE MOIS DE JUIN SOUS CIEL INTERMEDIAIRE	254
IV.2.4. SYNTHESE DES RESULTATS SOUS CIEL INTERMEDIAIRE	256
IV.3. ANALYSE DES PERFORMANCES LUMINEUSES DES CAS D'ETUDE EN FONCTION DE L'INDICE D'UNIFORMITE (Iu).....	256
V. SYNTHESE GENERALE DES RESULTATS DE LA SIMULATION.....	257
V.1. Influence de l'orientation, de l'heure et de la saison sur les zones de confort visuel	257
V.2. Influence de l'orientation, de l'heure et de la saison sur des niveaux d'éclairement moyen (Em)	258
V.3. Influence de l'orientation, de l'heure et de la saison sur l'indice d'uniformité (Iu)	258
CONCLUSION	259
CONCLUSION GENERALE	261
CONCLUSION.....	262
RECOMMANDATIONS	267
PERSPECTIVES DE RECHERCHE	268
BIBLIOGRAPHIE	269
ANNEXES	289

Liste Des figures

Fig 1: Structure du travail.....	25
Fig 2: Méthodologie de travail	26
Fig I. 1: Signification de la lumière	33
Fig I. 2: Spectre électromagnétique montrant le motif des longueurs d'onde	34
Fig I. 3: Eclairage naturel à travers l'histoire.	37
Fig I. 4: répartition du spectre solaire	38
Fig I. 5: Le rayonnement solaire	38
Fig I. 6: Les quatre types de ciel.	41
Fig I. 7: Position du soleil	42
Fig I. 8: position géographique du soleil.....	43
Fig I. 9: Grandeurs photométriques.	43
Fig I. 10: L'appareil de mesure: luminance-mètre.	44
Fig I. 11: La réflexion	45
Fig I. 12: La réflexion	46
Fig I. 13: La transmission.....	47
Fig I. 14: Kimbell Art Gallery in Fort Worth, Texas, designed by Louis Kahn.	51
Fig I. 15: Ciel artificiel en forme de dôme	54
Fig I. 16: Composantes de la méthode split flux	55
Fig I. 17: Principe de l'algorithme de radiosité	56
Fig I. 18: Principe de la méthode du lancer de rayon	57
Fig I. 19Principe de la méthode du lancer de rayon direct.....	58
Fig I. 20: Principe de la méthode du lancer de rayon inverse	58
Fig I. 21: Principe de la méthode du photo mapping.....	59
Fig I. 22: Différentes techniques du lancer de rayons.....	59
Fig II. 1: illustrant trois approches de fenestration	67
Fig II. 2: La villa savoye	68
Fig II. 3: La maison de verre.	68
Fig II. 4: Vue intérieure de la mosquée de Damas.....	70
Fig II. 5: Chamsiyat de la Mosquée « Ibn Touloun »	70
Fig II. 6: Fenêtre à claustra du palais de l'Aljaferia	71
Fig II. 7: Vue intérieure sur les bains de Grenade.	71
Fig II. 8: Le percement yéménite.....	72
Fig II. 9: Les différents types de protection du soleil.	73
Fig II. 10: Type de fenêtre ; Dreeshah	73
Fig II. 11: typede fenêtreB Mesbah	74
Fig II. 12: la tour éolienne; Barje.....	74
Fig II. 13: l'extracteur d'air;Masga.....	75
Fig II. 14: Une ruelle de Casbah d'Alger, Algérie	76
Fig II. 15: Fenêtre de l'époque turque, entourée de faïence.....	76

Fig II. 16:Utilisation du Chebaq et les petites ouvertures(fentes)dans l'architecture mozabite.	77
Fig II. 17: Terminologie de la fenêtre.	81
Fig II. 18: Maison conçue par MaxwellFry à Chipperfield, Hertfordshire.	83
Fig II. 19: Modèle de performance visuelle relative (RVP).....	88
Fig II. 20: Une pièce avec une grande fenêtre, équipée d'un système d'étagère lumineuse à l'horizontale.....	90
Fig II. 21: Utilisation de dispositifs d'ombrage pour contrôler la chaleur et l'éblouissement dans un espace intérieur.....	91
Fig III. 1: Influence du type de ciel sur l'éclairage intérieur.....	100
Fig III. 2: Influence de l'heure sur l'éclairage intérieur d'un local	101
Fig III. 3: Mesure de l'impact des masques lointains.	103
Fig III. 4: Influence de l'albédo sur l'éclairage intérieur d'un local.....	105
Fig III. 5: profondeur d'une zone éclairée naturellement	107
Fig III. 6: influence de la profondeur du local.....	108
Fig III. 7: Influence de l'orientation de l'ouverture sur l'éclairage intérieur.	110
Fig III. 8: Influence de la forme de l'ouverture sur l'éclairage intérieur	112
Fig III. 9: Calcul de la surface nette requise.....	114
Fig III. 10: Plafond biaisé.....	114
Fig III. 11: l'influence de la position de l'ouverture.....	115
Fig III. 12: différents types d'ouvertures	116
Fig III. 13:Transmission lumineuse pour un vitrage simple clair.....	117
Fig III. 14: Répartition de la consommation finale par secteur d'activité	126
Fig IV. 1: La situation géographique de la wilaya de Batna.	129
Fig IV. 2: Découpage administratif de Batna.	130
Fig IV. 3: Répartition de la population de la Wilaya de Batna par sexe et par âge.....	132
Fig IV. 4:La densité de la population.....	133
Fig IV. 5: L'ensemble physique de la wilaya de Batna.	134
Fig IV. 6: structure physique très hétérogène.....	134
Fig IV. 7: Température horaire en 2023.....	137
Fig IV. 8: graphe indiquant les quantités de précipitation.	138
Fig IV. 9: Direction des vents dominants à Batna.	139
Fig IV. 10:La rose des vents de la ville de Batna	139
Fig IV. 11: graphe indiquant l'insolation par mois.....	140
Fig IV. 12:Rayonnement solaire incident en ondes courtes quotidien moyen.....	140
Fig IV. 13: Lever du soleil et coucher du soleil avec crépuscule en 2023.....	141
Fig IV. 14: Heures de clarté et crépuscule en 2023	141
Fig IV. 15: Répartition des niveaux d'éclairage par zone en Algérie	142
Fig IV. 16: Couverture nuageuse en 2023.....	142
Fig IV. 17: la répartition des types de ciels à Batna selon les mois	143
Fig IV. 18: Statistiques du parc logement à Batna	144
Fig IV. 19: Types d'habitat dans la ville Batna	145
Fig IV. 20: Type d'immeubles collectifs à Batna.	148
Fig IV. 21: Style architectural de l'Habitat Collectif à Batna.	149

Fig IV. 22: Espaces domestiques et conditions d'éclairage dans les logements de Batna.....	151
Fig IV. 23: Consommation d'énergie à Batna	152
Fig IV. 24 Consommation électrique de Batna entre 2020 à 2021.....	153
Fig V. 1: Grille sélectionnée pour les points de mesures	162
Fig V. 2: Coupe AA indiquant le niveau de prise de mesures	162
Fig V. 3: Vue générale sur l'environnement d'étude.....	166
Fig V. 4: Plan d'assemblage indiquant les différentes dispositions des immeubles.	167
Fig V. 5: Vue d'ensemble sur les immeubles.....	168
Fig V. 6: les appartements étudiés et la disposition des pièces.	169
Fig V. 7: Traitement des façades des immeubles étudiés.	170
Fig V. 8: Repérage des échantillons retenus.	171
Fig V. 9: Plan et coupe indiquant les dimensions de l'espace investigué.....	172
Fig V. 10: Vue d'intérieur sur une pièce de séjour étudiée.....	172
Fig V. 11: Détail constructif de la fenêtre du séjour examiné.....	174
Fig V. 12: les niveaux de lumière du jour dans chaque zone de la pièce.....	175
Fig V. 13: Vue en plan et coupe montrant la structuration de l'espace architectural par la lumière naturelle	176
Fig V. 14: Les finitions des parois intérieures influençant la distribution de la lumière du jour dans les pièces	177
Fig V. 15: Influence du mobilier par son aménagement sur la répartition de la lumière du jour dans les pièces	177
Fig V. 16: Volumétrie indiquant les positions des bâtiments les uns par rapport aux autres.....	178
Fig VII. 1Méthode de simulation.....	230
Fig VII. 2: Fonctionnalités du logiciel CYPELUX	231
Fig VII. 3: Fonctionnalités du logiciel CYPELUX	232
Fig VII. 4: Utilisation du logiciel CYPELUX.....	233
Fig VII. 5: Les étapes de la modélisation.....	235
Fig VII. 6: Procédure et Choix des matériaux.	235
Fig VII. 7: Rendu de la simulation par le logiciel CYPELUX.....	236
Fig VII. 8: Une partie des résultats traités sur Matlab	250
Fig VII. 9: Une partie des résultats traités sur Matlab pour le mois de Décembre.....	251

Liste des tableaux

Tab I. 1: Tableau regroupant les quinze types de ciel standard	40
Tab I. 2: Valeurs de coefficient de réflexion lumineuse	46
Tab I. 3: Exemple de transmissions lumineuses optimisée de divers types de vitrage	47
Tab I. 4: Exigences d'éclairage pour les normes DIN logement	62
Tab I. 5: Eclairage recommandés pour l'architecture résidentielle selon la société des ingénieurs en éclairage d'Amérique du nord.....	62
Tab II. 1: Effet des surfaces vitrées sur la satisfaction des occupants.	84
Tab III. 1: Angles d'espacement de la lumière du jour pour différentes latitudes	103
Tab III. 2: Coefficients de réflexion de quelques sols extérieurs	104
Tab III. 3: coefficients de transmission lumineuse de différents types de vitrages	118
Tab III. 4: Classification de valeurs de FLJ d'après Bulow-Hube	119
Tab IV. 1: Evolution de la population de la commune de Batna.....	132
Tab IV. 2: La densité de la population.....	133
Tab IV. 3: L'humidité relative moyenne.....	138
Tab IV. 4: Statistiques du parc logement à Batna	144
Tab IV. 5: Répartition du parc de logement selon la dispersion.	146
Tab IV. 6: Développement de l'habitat collectif à Batna.....	147
Tab IV. 7: Consommations d'énergie par secteur et par énergie à Batna.....	153
Tab IV. 8: la consommation électrique mensuelle de la wilaya de Batna entre 2021 et 2022	154
Tab V. 1: Classification des valeurs de FLJ.....	163
Tab V. 2: L'instrument utilisé: luxmètre lx1330B	164
Tab V. 3: Périodes de prise de mesures et heures du lever et coucher du soleil.	164
Tab V. 4: Dimensions de la fenêtre pour la pièce de séjour.....	174
Tab V. 5: Composantes réfléchies à l'intérieur des espaces examinés	176
Tab VII. 1: les différents types de logiciels.....	229
Tab VII. 2: Valeurs d'éclairement	241
Tab VII. 3: Résultats de l'indice d'uniformité sous les 2 types de ciel.	256

Liste des Graphes

Graphe VI. 1: la durée d'occupation du logement.....	182
Graphe VI. 2: les espaces les plus utilisés.....	182
Graphe VI. 3: quantité d'éclairage naturel pour le déroulement des activités domestiques.	183
Graphe VI. 4: la pièce la plus éclairée pendant le jour	183
Graphe VI. 5: la pièce la moins éclairée pendant le jour	184
Graphe VI. 6: l'utilisation de l'éclairage électrique pour l'accomplissement des tâches ménagères.....	184
Graphe VI. 7: l'utilisation de l'éclairage électrique pendant une grande période de la journée.....	184
Graphe VI. 8: durée d'utilisation de l'éclairage électrique	185
Graphe VI. 9: surface des fenêtres et quantité de lumière	185
Graphe VI. 10: la position des fenêtres.....	185
Graphe VI. 11: quantité de pénétration de la lumière.....	186
Graphe VI. 12: les facteurs influençant la quantité de la lumière naturelle	186
Graphe VI. 13: l'effet d'éblouissement dans les espaces	187
Graphe VI. 14: les causes des problèmes d'éblouissement dans les espaces	187
Graphe VI. 15: la conception future d'un logement	187
Graphe VI. 16: les conditions lumineuses dans un futur logement.	188
Graphe VI. 17: les valeurs des éclairagements lumineux horizontaux pour l'orientation Sud (Hiver).....	190
Graphe VI. 18: les valeurs des éclairagements lumineux horizontaux pour l'orientation Ouest (Hiver).....	190
Graphe VI. 19: les valeurs des éclairagements lumineux horizontaux pour l'orientation Nord (Hiver).....	191
Graphe VI. 20: les variations lumineuses Hiver/Sud.....	192
Graphe VI. 21: les variations lumineuses Hiver/Ouest.....	192
Graphe VI. 22 les variations lumineuses Hiver/Nord.....	193
Graphe VI. 23: les variations lumineuses Hiver/Sud.....	195
Graphe VI. 24: les variations lumineuses pour l'Ouest à l'hiver	196
Graphe VI. 25: les variations lumineuses pour le nord (hiver)	196
Graphe VI. 26: les variations lumineuses Hiver/Sud.....	198
Graphe VI. 27 les variations lumineuses pour l'Ouest (Hiver)	199
Graphe VI. 28: les variations lumineuses pour le Nord (Hiver).....	200
Graphe VI. 29: les valeurs des niveaux d'éclairage pour les 3 étages (Sud)	202
Graphe VI. 30: les valeurs des niveaux d'éclairage pour les 3 étages (Ouest)	202
Graphe VI. 31: les valeurs des niveaux d'éclairage pour les 3 étages (Nord)	203
Graphe VI. 32: les variations lumineuses Printemps/Sud.....	203
Graphe VI. 33: les variations lumineuses Printemps/Ouest.....	204
Graphe VI. 34 les variations lumineuses Printemps/Nord.....	205

Graphe VI. 35: les variations lumineuses Printemps/Sud	207
Graphe VI. 36: les variations lumineuses Printemps/Ouest	208
Graphe VI. 37: les variations lumineuses Printemps/Nord	208
Graphe VI. 38: les variations lumineuses Printemps/Sud	210
Graphe VI. 39: les variations lumineuses pour printemps/Ouest	211
Graphe VI. 40: les variations lumineuses pour le Nord/Printemps	212
Graphe VI. 41: les variations lumineuses pour le sud/Eté	214
Graphe VI. 42: les variations lumineuses pour le Ouest/Eté.....	214
Graphe VI. 43 : les variations lumineuses pour le Nord/Eté.....	214
Graphe VI. 44: les variations lumineuses pour le sud/Eté	215
Graphe VI. 45: les variations lumineuses pour l'Ouest/Eté	216
Graphe VI. 46: les variations lumineuses pour le Nord/Eté.....	216
Graphe VI. 47: les variations lumineuses pour le sud/Eté	218
Graphe VI. 48: les variations lumineuses pour l'Ouest/Eté.	219
Graphe VI. 49 es variations lumineuses pour le Nord/Eté.....	219
Graphe VI. 50: les variations lumineuses le Sud/Eté.....	221
Graphe VI. 51: les variations lumineuses pour l'Ouest/Eté.....	222
Graphe VI. 52: Les variations lumineuses pour le Nord/Eté.	222
Graphe VII. 1 Répartition géographique de l'utilisation des logiciels d'éclairage naturel. ...	230
Graphe VII. 2: Comparaison des valeurs d'éclairement simulées et mesurées.	237
Graphe VII. 3: (ZCV) zone de confort visuel (Eclairement 100 Lux à 500 Lux) pour le 21 Décembre sous ciel clair.....	243
Graphe VII. 4: (ZIVI) zone d'inconfort visuel (Eclairement inférieur à 100 Lux) pour le 21 Décembre sous ciel clair.....	244
Graphe VII. 5: (ZCV) zone de confort visuel (Eclairement 100 Lux à 500 Lux) pour le 21 Mars sous ciel clair.....	245
Graphe VII. 6: (ZIVI) zone d'inconfort visuel (Eclairement inférieur à 100 Lux) pour le 21 Mars sous ciel clair.....	246
Graphe VII. 7: (ZCV) zone de confort visuel (Eclairement 100 Lux à 500 Lux) pour le 21 Juin sous ciel clair.	247
Graphe VII. 8: (ZIVI) zone d'inconfort visuel (Eclairement inférieur à 100 Lux) pour le 21 Juin sous ciel clair.	248
Graphe VII. 9: (ZCV) zone de confort visuel (Eclairement 100 Lux à 500 Lux) pour le 21 Décembre sous ciel intermédiaire.	249
Graphe VII. 10: (ZIVI) zone d'inconfort visuel (Eclairement inférieur à 100 Lux) pour le 21 Décembre sous ciel intermédiaire.	252
Graphe VII. 11: (ZCV) zone de confort visuel (Eclairement 100 Lux à 500 Lux) pour le 21 Mars sous ciel intermédiaire.	253
Graphe VII. 12: (ZIVI) zone d'inconfort visuel (Eclairement inférieur à 100 Lux) pour le 21 Mars sous ciel intermédiaire.	253
Graphe VII. 13: (ZCV) zone de confort visuel (Eclairement 100 Lux à 500 Lux) pour le 21 Juin sous ciel intermédiaire.	254
Graphe VII. 14: (ZIVI) zone d'inconfort visuel (Eclairement inférieur à 100 Lux) pour le 21 Juin sous ciel intermédiaire.....	255

Liste des Courbes

Courbes VI. 1: les niveaux d'éclairement selon les périodes de la journée(1 ^{ER} étage)	194
Courbes VI. 2: les niveaux d'éclairement selon les périodes de la journée Hiver (4 ^{eme} étage).....	197
Courbes VI. 3: les niveaux d'éclairement selon les périodes de la journée Midi (4 ^{eme} étage).....	197
Courbes VI. 4: les niveaux d'éclairement selon les périodes de la journée. A. Midi (4 ^{eme} étage).....	198
Courbes VI. 5: les niveaux d'éclairement selon les périodes de la journée (9 ^{eme} étage) matin.....	200
Courbes VI. 6: les niveaux d'éclairement selon les périodes de la journée (9 ^{eme} étage) Midi.....	201
Courbes VI. 7: les niveaux d'éclairement selon les periodes de la journée(9 ^{eme} étage) A.Midi	201
Courbes VI. 8: les niveaux d'éclairement selon les périodes de la journée du 1 ^{er} étage au printemps	206
Courbes VI. 9: les niveaux d'éclairement selon les périodes de la journée 4 ^{eme} étage printemps.....	209
Courbes VI. 10: les niveaux d'éclairement selon les périodes de la journée(9 ^{eme} étage)Printemps	213
Courbes VI. 11: les niveaux d'éclairement selon les périodes de la journée (1 ^{ER} étage) Eté.	217
Courbes VI. 12: les niveaux d'éclairement selon les périodes de la journée (4 ^{eme} étage) Eté.	220
Courbes VI. 13: les niveaux d'éclairement selon les périodes de la journée (9 ^{eme} étage) Eté.	223
Courbes VII. 1: Evolution temporelle de l'adoption des logiciels d'éclairage naturel.....	227

RESUME

Cette étude propose un cadre pour réinventer l'architecture de l'habitat collectif en Algérie, en mettant l'accent sur l'éclairage naturel comme élément central de la conception. L'objectif principal est de fournir des lignes directrices pour maximiser l'utilisation de la lumière du jour dans les bâtiments résidentiels, favorisant ainsi des environnements de vie plus durables, sains et économes en énergie. En se concentrant sur les immeubles collectifs à Batna, l'étude explore l'impact de la conception des fenêtres sur la performance lumineuse dans un contexte marqué par des défis climatiques et une urbanisation croissante.

La recherche analyse les niveaux d'éclairement dans des appartements représentatifs pour mettre en lumière l'effet des législations actuelles sur la conception architecturale. En se limitant à la salle de séjour, un espace aux usages variés, l'étude examine comment des variables telles que l'étage, la taille, et l'orientation des ouvertures influencent l'éclairage naturel.

Utilisant des méthodes qualitatives et quantitatives, la recherche répond à la question: comment la conception des fenêtres contribue-t-elle au confort visuel tout en optimisant l'efficacité énergétique ? Les résultats montrent que les niveaux d'éclairement sont généralement inférieurs aux normes recommandées, variant selon l'orientation, l'étage et les conditions climatiques. L'analyse révèle également que l'indice d'uniformité est souvent en dessous des valeurs recommandées, indiquant une répartition non uniforme de la lumière. Les conclusions soulignent que la performance lumineuse dépend d'une interaction complexe de facteurs, confirmant l'hypothèse selon laquelle une approche quantitative de la politique du logement conduit à un confort visuel insuffisant et à une consommation énergétique excessive.

Cette recherche met en avant la nécessité d'une conception réfléchie des fenêtres dans les immeubles résidentiels, plaidant pour des solutions architecturales adaptées qui répondent aux défis climatiques, énergétiques et sociaux de manière durable.

Mots clés: Performance lumineuse, Fenêtre, Orientation, Espace domestique, Confort visuel.

ABSTRACT

This study proposes a framework for reinventing the architecture of collective housing in Algeria, emphasizing natural lighting as a central element of design. The primary objective is to provide guidelines for maximizing daylight utilization in residential buildings, thereby fostering more sustainable, healthy, and energy-efficient living environments. Focusing on collective buildings in Batna, the study explores the impact of window design on lighting performance in a context marked by climatic challenges and growing urbanization. The research analyzes illuminance levels in representative apartments to highlight the effects of current regulations on architectural design. Limited to the living room—a versatile space—the study examines how variables such as floor level, size, and window orientation influence natural lighting. Using both qualitative and quantitative methods, the research addresses the question: how does window design contribute to visual comfort while optimizing energy efficiency? The results show that illuminance levels are generally below recommended standards, varying according to orientation, floor level, and climatic conditions. The analysis also reveals that the uniformity index is often below recommended values, indicating uneven light distribution. The findings emphasize that lighting performance depends on a complex interplay of factors, confirming the hypothesis that a quantitative approach to housing policy results in inadequate visual comfort and excessive energy consumption. This research highlights the necessity of thoughtful window design in residential buildings, advocating for architectural solutions that sustainably address climatic, energy, and social challenges.

Keywords: Lighting performance, Window, Orientation, Domestic space, Visual comfort.

الملخص

تقترح هذه الدراسة إطاراً لإعادة تصور هندسة السكن الجماعي في الجزائر، مع التركيز على الإنارة الطبيعية كعنصر محوري في عملية التصميم. ويهدف هذا العمل بشكل أساسي إلى تقديم توجيهات عامة تُمكن من الاستفادة من ضوء النهار داخل المباني السكنية، بما يعزز بيئات معيشية أكثر استدامة، وصحة، واقتصاداً في استهلاك الطاقة.

ومن خلال التركيز على العمارات السكنية في مدينة باتنة، تستكشف الدراسة أثر تصميم النوافذ على الأداء الضوئي، في سياق يتسم بتحديات مناخية متزايدة وتوسع عمراني متسارع.

يُحلل البحث مستويات الإضاءة في شقق نموذجية لتسليط الضوء على تأثير اللوائح الحالية على التصميم المعماري. بالتركيز على غرفة المعيشة، باعتبارها فضاء متعدد الاستخدامات، تستكشف الدراسة كيف تؤثر متغيرات مثل الطابق، والحجم، واتجاه الفتحات على الإضاءة الطبيعية داخل الفضاء المدروس.

باستخدام مناهج كمية ونوعية، تسعى هذه الدراسة للإجابة عن السؤال التالي: كيف يساهم تصميم النوافذ في تحقيق الراحة البصرية، مع تحسين الكفاءة الطاقوية؟

وتُظهر النتائج أن مستويات الإضاءة غالباً ما تكون أقل من المعايير الموصى بها، وتختلف حسب الاتجاه، والطابق، والظروف المناخية. كما يكشف التحليل أن مؤشر التوزيع الضوئي غالباً ما يكون أقل من القيم المطلوبة، مما يدل على توزيع غير منتظم للضوء داخل الفضاءات.

وتشير الاستنتاجات إلى أن الأداء الضوئي يعتمد على تفاعل معقد بين عدة عوامل، مما يؤكد فرضية أن النهج الكمي لسياسات الإسكان يؤدي إلى عدم كفاية الراحة البصرية والإفراط في استهلاك الطاقة.

تؤكد هذه الدراسة على ضرورة اعتماد تصميم مدروس للنوافذ في المباني السكنية، داعية إلى حلول معمارية ملائمة تستجيب بفعالية للتحديات المناخية، والطاقوية، والاجتماعية، وذلك في إطار نهج مستدام.

الكلمات المفتاحية: الأداء الضوئي، النافذة، التوجيه، الفضاء السكني، الراحة البصرية.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION

L'intérêt pour l'efficacité énergétique et les approches de conception passive dans le secteur du bâtiment s'est intensifié de manière significative au cours des dernières décennies. Cet intérêt se justifie principalement par la hausse du coût des énergies fossiles. C'est aussi motivé par la prise de conscience que les sources d'énergie conventionnelles pour le refroidissement mécanique, le chauffage et l'éclairage électrique contribuent pleinement à l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre. (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat: GIEC 2021). Selon le même groupe d'experts ; en 2020, le secteur du bâtiment représentait environ 36 % de la consommation mondiale d'énergie et 37 % des émissions de CO₂ liées à l'énergie. Plus précisément, l'exploitation des bâtiments résidentiels comptait pour 22 % de la consommation énergétique mondiale, 17 % des émissions de gaz à effet de serre, et 55 % de la consommation mondiale d'électricité tandis que les bâtiments commerciaux représentaient 8 % de la consommation énergétique. La plupart des pollutions sont des émissions indirectes d'électricité.

Face à ces enjeux, de nombreuses stratégies ont émergé pour réduire l'impact énergétique du secteur. Parmi celles-ci, l'exploitation optimale de la lumière naturelle se distingue comme une solution durable et efficace. En intégrant des dispositifs d'éclairage naturel dans les espaces intérieurs, il est possible non seulement de répondre aux besoins visuels des occupants, mais aussi de réduire de manière significative la consommation d'électricité. Selon les travaux de Doulos et al. (2008) et de Lee et Selkowitz (2006), ces économies peuvent varier entre 30 % et 77 %, selon les conditions et les solutions mises en œuvre.

Cependant, l'éclairage naturel va bien au-delà de ses implications énergétiques. Il joue un rôle fondamental dans le bien-être des occupants. Des études montrent que la lumière naturelle améliore la qualité de vie en influençant positivement la santé physique et mentale. Elle favorise un meilleur confort visuel, améliore la perception des espaces, et agit sur le rythme circadien, ce qui contribue à une meilleure régulation du sommeil et des cycles biologiques (Aries et al., 2015 ; Grimaldi et al., 2018). De plus, elle offre un environnement visuel plus agréable et dynamique par rapport à l'éclairage artificiel, en fournissant des indices essentiels sur la météo, l'heure de la journée, et la saison, ce qui renforce la connexion des occupants avec leur environnement naturel (Phillips, 2004 ; Tregenza et Wilson, 2011).

Aujourd'hui, grâce aux avancées technologiques, les fenêtres permettent d'allier confort, esthétisme et performance énergétique. Cependant, la conception des ouvertures dans un

bâtiment doit répondre à des besoins souvent contradictoires: laisser entrer la lumière tout en contrôlant l'éblouissement, offrir des vues tout en préservant l'intimité, et permettre une ventilation naturelle tout en garantissant le confort thermique. Le défi pour les concepteurs est d'équilibrer ces divers aspects afin de créer des espaces qui répondent aux besoins des occupants tout en respectant les contraintes environnementales.

L'éclairage naturel présente des défis spécifiques dans le contexte des immeubles résidentiels, car les configurations des logements limitent parfois l'apport lumineux. Pourtant, une conception appropriée permet non seulement de réduire la dépendance à l'éclairage électrique, mais également de contribuer au bien-être des occupants en agissant sur leur confort visuel et leur perception de l'espace.

Dans un pays comme l'Algérie où la politique du logement est largement dominée par le logement social, la promotion de l'éclairage naturel peut avoir un impact considérable sur l'environnement, les économies d'énergie et confort des habitants. Aujourd'hui, des millions d'appartements sont prévus pour l'enrichissement du parc immobilier algérien, à noter que le secteur résidentiel consomme entre 25 % et 28 % de l'énergie finale et émet en moyenne 21 % des gaz à effet de serre. La consommation électrique de ce secteur est de l'ordre de 43 % de la consommation électrique totale selon le Bilan Énergétique National en 2021. (Ministère de l'Énergie et des Mines, Algérie (2021).

A Batna, les logements à plusieurs étages, en raison de leur configuration compacte et de l'agencement de plusieurs appartements sur un même niveau, posent des défis particuliers en matière d'accès à la lumière naturelle. Le besoin d'une conception efficace de l'éclairage naturel est d'autant plus essentiel dans ces espaces domestiques, où l'insuffisance de la quantité lumineuse peut avoir des répercussions négatives sur le confort visuel. En effet, une exposition insuffisante à la lumière naturelle, en particulier dans les logements, peut contribuer à des troubles du sommeil, à une mauvaise humeur et ainsi à une diminution de la qualité de vie (Grimaldi et al., 2018).

Cette étude propose un cadre pour repenser l'architecture de l'habitat collectif en Algérie, en intégrant l'éclairage naturel comme un élément central de la conception. Les ajustements recommandés seront à la fois réalisables et bénéfiques pour l'efficacité énergétique et le confort des occupants. Cette thèse appelle ainsi à une révision des normes architecturales et des politiques de construction, afin de garantir des environnements de vie plus durables, plus sains et plus économes en énergie. En poursuivant cette direction, il sera possible de répondre

aux défis climatiques tout en améliorant la qualité de vie des habitants des logements collectifs à Batna et au-delà.

PROBLEMATIQUE

Dans un contexte mondial marqué par le réchauffement climatique, l'amélioration de l'efficacité énergétique dans le secteur de la construction est devenue une priorité. Les bâtiments, grands consommateurs d'énergie, sont de plus en plus conçus pour limiter les pertes thermiques, ce qui a conduit à une réduction de la taille des fenêtres, sources majeures de déperditions de chaleur. Toutefois, cette approche énergétique présente des limites, car elle affecte significativement la qualité de l'éclairage naturel dans les constructions.

L'optimisation énergétique s'est ainsi traduite par des réglementations incitant à réduire la surface des ouvertures ou à utiliser des vitrages plus performants, comme le double vitrage à faible émissivité, qui limite la pénétration de la lumière de 10 à 25 % (Documents techniques et études de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie: ADEME) Ces choix de conception, centrés sur l'efficacité énergétique, ne tiennent pas toujours compte des besoins en confort visuel des occupants, surtout dans les espaces domestiques où l'éclairage naturel est essentiel pour le bien-être quotidien.

Ce compromis entre efficacité énergétique et confort visuel est particulièrement problématique dans les logements résidentiels. Une étude dans la littérature montre qu'une grande partie de la recherche sur l'éclairage naturel est principalement axée sur les espaces de bureau, alors que l'architecture résidentielle est rarement prise en considération. Des recherches universitaires révèlent que seule 35 % des 6865 publications portent sur l'architecture résidentielle, tandis que les 65% restants se concentrent sur les espaces de bureaux. (M. N. Majeed, F. A. Mustafa, et H. A. Husein 2019).

T.Dogan et J.Park (2017) notent que la plupart des recherches actuelles sur l'éclairage naturel se concentrent principalement sur les espaces de bureaux, les lieux de travail, les écoles et les hôpitaux et que les espaces résidentiels sont peu étudiés. A l'aide d'une étude épidémiologique, Grimaldi et al ; ont constaté que de faibles niveaux d'éclairage à la maison ont un impact négatif sur la qualité de vie (Grimaldi, S., Fok, R. Y., et Ratti, C. 2020). De plus, Brown et Jacob notent que l'éclairage inadéquat déclaré dans le logement est associé à la dépression et aux mauvaises humeurs. (Brown, M. J., et Jacobs, D. E. 2011). Dans cette optique, l'optimisation de l'éclairage naturel dans les espaces domestiques passe par un choix

réfléchi de la taille, de l'orientation et des matériaux des fenêtres.

Malgré ces avantages, l'intégration de la lumière naturelle dans les bâtiments résidentiels, et en particulier dans les logements collectifs, reste un défi. Dans des régions comme l'Algérie, où les habitats collectifs dominent le parc immobilier, les solutions architecturales adoptées sont souvent standardisées, négligeant les spécificités climatiques et culturelles locales.

A Batna, une ville algérienne à forte densité de population et à climat semi-aride où l'habitat collectif constitue une solution privilégiée pour faire face à une urbanisation rapide et croissante, cette problématique est encore plus prononcée. Les configurations compactes des logements et les contraintes urbaines limitent souvent l'apport lumineux naturel dans les espaces domestiques. Les conceptions actuelles, influencées par des modèles étrangers, ignorent fréquemment les besoins des habitants en matière de confort visuel, souvent le bâtiment ayant une orientation appropriée est implanté en face d'un immeuble identique avec une orientation inappropriée, conduisant à une dépendance directe à l'éclairage artificiel et, par conséquent, à une consommation énergétique élevée.

En parallèle, les confinements liés à la pandémie de COVID-19 ont souligné l'importance de la qualité des espaces domestiques. Les habitations sont devenues des lieux de travail, d'éducation et de loisirs, accentuant la nécessité d'un éclairage naturel adéquat pour maintenir la santé et le bien-être des occupants. Ces constats renforcent l'urgence de repenser les espaces domestiques pour maximiser l'éclairage naturel tout en respectant les contraintes climatiques et architecturales.

Cette recherche s'inscrit dans cette problématique et se concentre sur l'analyse de la performance lumineuse dans les espaces domestiques de l'habitat collectif à plusieurs étages à Batna. Elle vise à explorer les facteurs influençant l'éclairage naturel et à proposer des solutions adaptées aux spécificités locales. En tenant compte des caractéristiques climatiques de Batna, des contraintes architecturales des logements collectifs, et des besoins des occupants. Cette étude met en lumière l'urgence de repenser la conception des fenêtres dans le cadre des immeubles collectifs, en tenant compte non seulement des critères énergétiques, mais également des enjeux de confort visuel et de bien-être des occupants.

QUESTIONNEMENTS

L'étude cherche à répondre aux questions suivantes:

1- Le logement social tel qu'il est conçu aujourd'hui répond-il aux normes de confort visuel,

et comment peut-on l'améliorer tout en réduisant la consommation énergétique ?

2- Quels impacts la réglementation actuelle sur la conception des fenêtres a-t-elle sur la performance lumineuse et le confort visuel dans les espaces domestiques ?

3- Les fenêtres des logements collectifs sociaux sont-elles conçues de manière optimale pour assurer une performance lumineuse efficace et garantir un confort visuel adéquat à l'intérieur des espaces ?

4- Dans quelle mesure la conception actuelle des fenêtres répond-elle aux exigences du confort lumineux et de qualité de vie pour les occupants dans les immeubles collectifs de la ville de Batna ?

HYPOTHESES DE RECHERCHES:

Batna, une ville au climat semi-aride fait face à une urgence du logement en raison de l'explosion démographique et de l'urbanisation rapide, entraînant une abondance des immeubles résidentiels conçus en grande partie sans tenir compte de la nécessité d'un éclairage naturel dans le contexte urbain.

Hypothèse 1 La conception standardisée des logements, sans considération des particularités locales, conduit à des performances lumineuses inadéquates, augmentant ainsi la dépendance à l'éclairage artificiel et compromettant le confort visuel des occupants.

Hypothèse 2 Les réglementations algériennes actuelles, souvent basées sur des normes génériques, ne tiennent pas suffisamment compte des spécificités climatiques de la ville, limitant ainsi leur efficacité en termes de performance lumineuse.

Hypothèse 3 les fenêtres des logements collectifs à Batna ne sont pas conçues de manière optimale pour garantir un confort visuel adéquat ce qui engendre une sensation d'inconfort lumineux chez les occupants en raison de l'insuffisance de la lumière naturelle et de l'utilisation excessive de l'éclairage artificiel.

OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

Cette recherche vise à étudier l'impact des fenêtres sur la performance lumineuse dans immeubles collectifs à plusieurs étages dans la ville de Batna, en se concentrant sur le contexte spécifique des espaces de séjour des appartements résidentiels. L'un des principaux objectifs de cette étude est de fournir des lignes directrices qui peuvent aider les concepteurs à

maximiser le rôle de la lumière du jour à l'intérieur des espaces domestiques.

Pour atteindre cet objectif global, les objectifs spécifiques suivants ont été définis:

- Evaluer l'impact des fenêtres et de leur orientation sur les niveaux de performance lumineuse dans les appartements situés dans des immeubles résidentiels à plusieurs étages.
- Analyser la perception des occupants concernant l'éclairage naturel de leurs logements et son influence sur leur confort visuel et leur bien-être quotidien.
- Fournir des recommandations spécifiques pour une conception optimale des fenêtres, visant à améliorer la performance lumineuse dans les logements collectifs tout en tenant compte des exigences climatiques et des caractéristiques architecturales locales.

Ceci dit, cette recherche s'intéressera à l'analyse des niveaux d'éclairage naturel dans un échantillon représentatif d'appartements à Batna. Elle permettra également de mettre en lumière les impacts des législations actuelles sur la conception architecturale et d'identifier des orientations susceptibles d'améliorer les conditions lumineuses des espaces de vie, favorisant ainsi un usage fonctionnel tout au long de la journée.

ORGANISATION DU TRAVAIL

Partie 1: Théorique

Chapitre 1: La lumière naturelle dans les espaces domestiques

Ce chapitre explore les principes fondamentaux de l'éclairage naturel et son rôle dans la qualité lumineuse dans le bâtiment. Il souligne ses avantages pour le bien-être des occupants et sa contribution à la limitation de l'usage des sources artificielles d'éclairage, favorisant ainsi des économies d'énergie.

Chapitre 2: Les fenêtres dans les espaces domestiques

IL analyse l'importance des fenêtres dans la répartition optimale de la lumière naturelle. Il aborde leurs caractéristiques essentielles (orientation, dimensions, matériaux...) et explique leur impact sur l'amélioration de la qualité lumineuse et la performance énergétique des habitations.

Chapitre 3: Performance lumineuse et efficacité énergétique

Cette partie établit la relation entre l'éclairage naturel et l'efficacité énergétique des bâtiments. Il présente des stratégies et solutions permettant de maximiser la lumière naturelle tout en réduisant les besoins énergétiques liés à l'éclairage artificiel, contribuant ainsi à une meilleure gestion des ressources.

Chapitre 4: Caractéristiques des logements et conditions lumineuses à Batna

Ce chapitre étudie les spécificités des logements à Batna dans leur contexte climatique et urbain. Il identifie les conditions lumineuses actuelles, les défis relatifs à la qualité de l'éclairage naturel et les opportunités pour améliorer les performances énergétiques des habitations locales.

Partie 2: Expérimentale**Chapitre 5: Méthodologie et protocole d'investigation**

Se basant sur la description de la démarche scientifique adoptée pour analyser les conditions lumineuses et énergétiques des espaces domestiques. Il présente les outils de mesure, les méthodes d'investigation qualitative et quantitative ainsi que les étapes du protocole expérimental.

Chapitre 6: Résultats de l'investigation

Ce chapitre présente une analyse approfondie des résultats obtenus à partir des investigations menées sur les conditions lumineuses dans les espaces de séjour sélectionnés. Il explore les niveaux d'éclairement mesurés, la perception des occupants concernant leur confort visuel, et met en évidence une comparaison entre les valeurs trouvées et les normes. Une évaluation critique des données recueillies permet d'identifier les facteurs clés influençant la performance lumineuse et le confort visuel.

Chapitre 7: Evaluation de l'éclairage naturel par simulation

S'appuyant sur les conclusions du chapitre 6, cette partie essaye d'approfondir l'analyse en modélisant les espaces de séjour étudiés à l'aide de la simulation numérique. Divers scénarios sont explorés pour évaluer les performances lumineuses en fonction de l'orientation des fenêtres, selon différentes périodes de l'année et sous deux types de ciels caractéristiques de la ville de Batna. Les résultats permettent d'optimiser l'éclairage naturel et de formuler des recommandations ciblées ; adaptées au contexte étudié pour améliorer le confort visuel tout en réduisant la dépendance à l'éclairage artificiel.

Conclusion générale

Contenant un résumé de la méthode utilisée pour cette investigation avec une synthèse des résultats obtenus, suivie de recommandations pour les constructions futures, ainsi que l'exposition des limites et des perspectives de recherche.

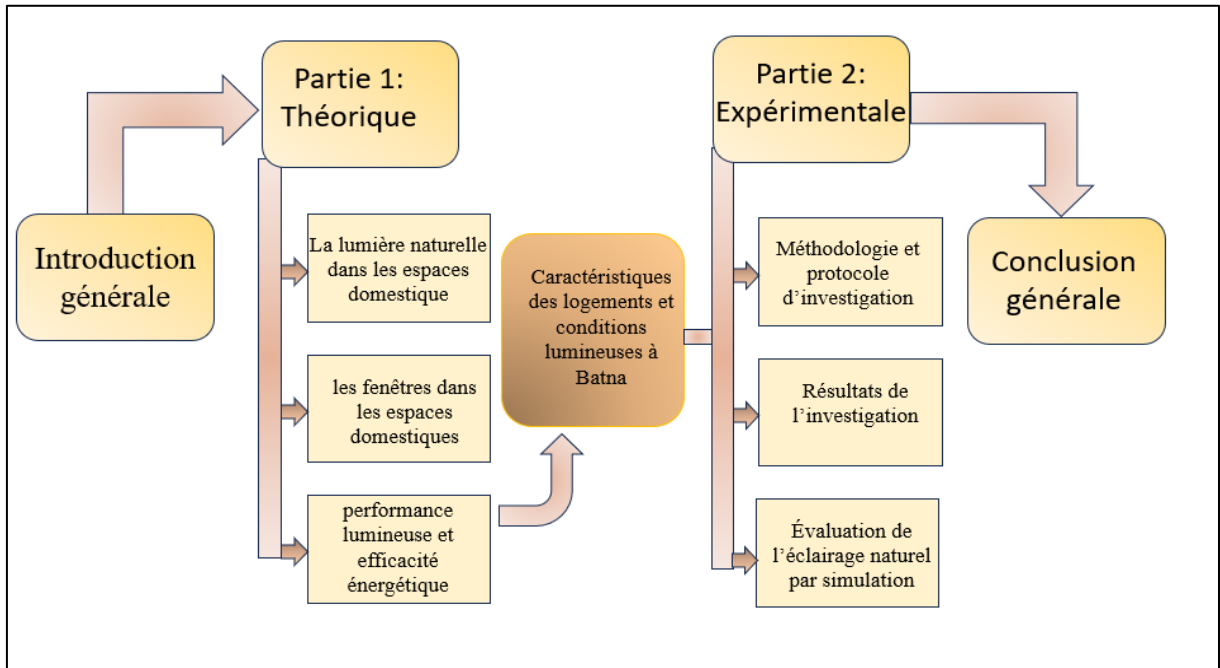


Fig 1: Structure du travail
Source: Auteur 2024

METHODOLOGIE DU TRAVAIL

La méthodologie présentée se divise en deux grandes étapes principales: Maîtrise du sujet et Expérimentation, qui permettent une analyse approfondie de la performance lumineuse dans les bâtiments résidentiels.

Dans un premier temps, la maîtrise du sujet repose sur une recherche bibliographique afin de consolider les connaissances théoriques liées à la problématique étudiée. Une typologie spécifique est choisie, à savoir un bâtiment résidentiel, qui servira de cas d'étude pour la suite des travaux.

La seconde étape, l'expérimentation, se divise en deux volets complémentaires: le travail sur terrain et la simulation numérique. Le travail sur terrain comprend la réalisation d'une enquête, basée sur un questionnaire, ainsi que des mesures in-situ des niveaux d'éclairement horizontaux. Les données recueillies permettent ensuite d'analyser à travers une simulation ; la performance lumineuse de l'espace étudié, situé au 1^{er} étage. Cette performance est évaluée en tenant compte de deux types de ciel, en se basant sur des paramètres spécifiques. Les résultats obtenus, permettent d'identifier les zones d'insuffisance lumineuse.

L'étape finale consiste en l'interprétation des résultats, qui donne lieu à une analyse comparative des données collectées. Cette démarche conduit à des observations et

discussions permettant de formuler des conclusions pertinentes et d'apporter des solutions adaptées pour améliorer la performance lumineuse des espaces résidentiels étudiés.

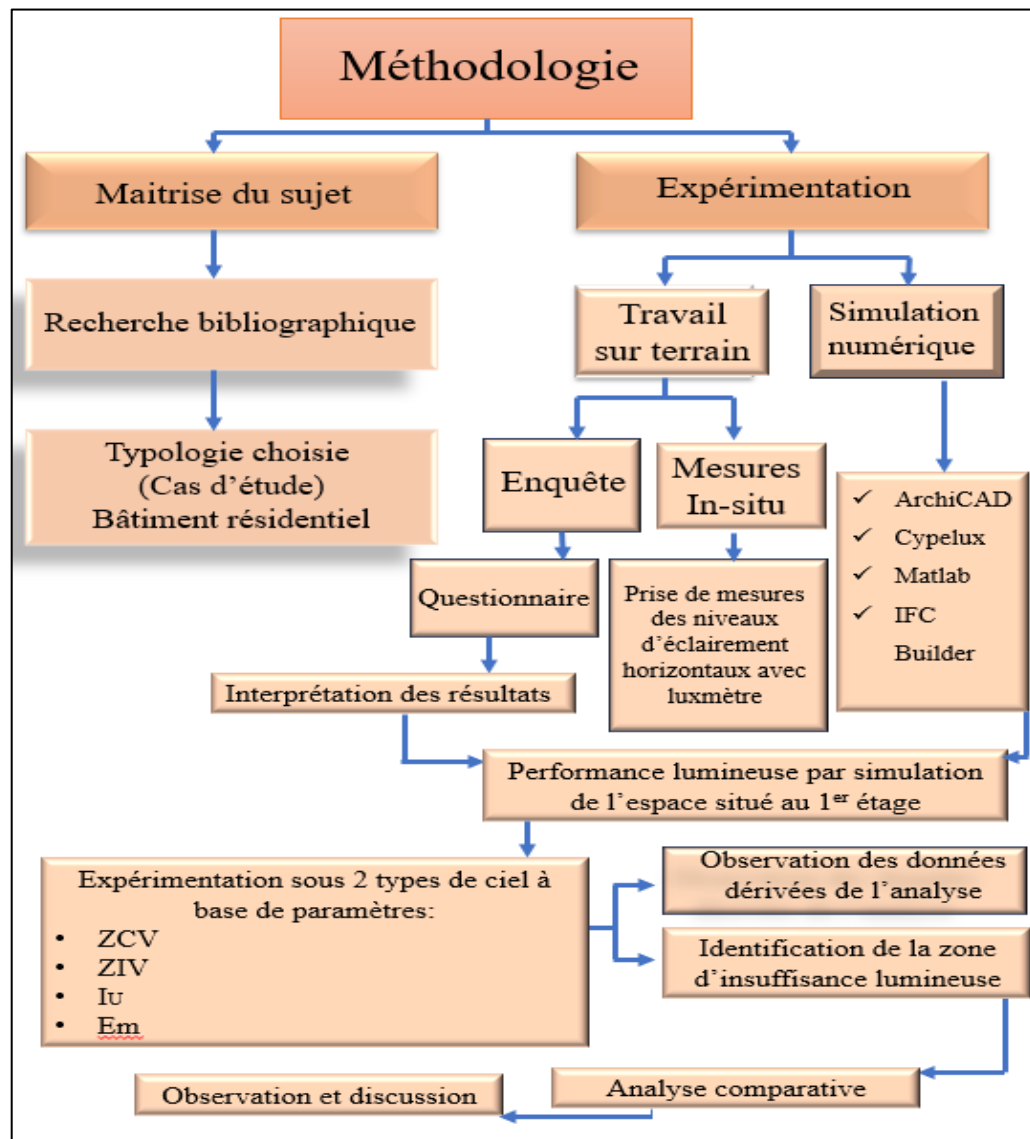


Fig 2: Méthodologie de travail
Source: Auteur 2024

REVUE DE LA LITTERATURE

La lumière naturelle joue un rôle central dans la conception des logements contemporains, influençant non seulement le confort des occupants, mais aussi la performance énergétique globale des bâtiments. Les fenêtres, en tant qu'éléments architecturaux majeurs, ne sont pas seulement des sources d'apport lumineux, mais elles modifient également les interactions thermiques et visuelles des espaces intérieurs. Cette revue de littérature se concentre spécifiquement sur les impacts des fenêtres dans les habitations résidentielles, en mettant en lumière les contributions des chercheurs qui ont exploré les aspects énergétiques,

architecturaux et climatiques liés à la lumière naturelle.

La lumière naturelle est une ressource essentielle dans les habitations, et Santamouris (1994) a démontré qu'elle peut couvrir jusqu'à 95 % des besoins en éclairage dans des configurations bien conçues en Grèce. Il a insisté sur l'importance de l'orientation des ouvertures et de leur dimensionnement, tout en soulignant les limites potentielles liées aux variations climatiques. Abd El Mohimen (2005), en explorant trois régions en Égypte, a mis en évidence que l'augmentation du rapport entre la surface des fenêtres et la surface du plancher est un facteur clé pour maximiser les économies d'énergie. Ces résultats sont particulièrement pertinents pour les régions chaudes où l'équilibre entre apports lumineux et contrôle thermique est important.

Ghisi (2005) a effectué une comparaison entre Leeds (Royaume-Uni) et Florianopolis (Brésil) pour étudier les performances énergétiques des logements en fonction des rapports entre la surface de la fenêtre et la surface du mur. Il a révélé que ces ratios doivent être ajustés aux conditions climatiques locales, avec des économies d'énergie pouvant atteindre 86 % dans des environnements bien adaptés. Dans les régions tropicales comme Florianopolis, les fenêtres plus grandes sur des orientations spécifiques permettent une ventilation accrue tout en augmentant l'autonomie lumineuse.

En Indonésie, Suriansyah (2018) s'est concentré sur les logements verticaux type social à Bandung. Il a démontré que des balcons peu profonds augmentent significativement l'autonomie lumineuse, surtout dans les espaces de vie comme les salons et les cuisines. Cette étude montre que même des ajustements architecturaux simples peuvent améliorer la qualité lumineuse des habitations et contribuer à réduire la dépendance à l'éclairage artificiel.

Dans une analyse des constructions historiques en Suède, Bournas et Dubois (2020) ont identifié que la majorité des logements construits entre 1926 et 1991 ne respectent pas les normes actuelles de l'éclairage naturel. Les chercheurs recommandent l'utilisation de vitrages haute performance et une meilleure optimisation des ouvertures pour maximiser l'accès à la lumière naturelle. Cette recommandation s'applique également aux rénovations, où l'ajout de fenêtres supplémentaires ou de technologies modernes peut améliorer considérablement la qualité lumineuse intérieure.

Li et al. (2021), dans le contexte des appartements à Hong Kong, ont analysé les impacts des obstructions urbaines sur la lumière naturelle. Dans ces environnements denses, la

composante réfléchie devient prédominante, et les chercheurs proposent des solutions comme l'utilisation de matériaux à haute réflectance et des ouvertures correctement orientées pour capter la lumière indirecte. Ces stratégies sont essentielles pour maintenir un bon niveau d'éclairement dans des espaces fortement contraints.

Sarvani et Kontovourkis, en étudiant des habitations à Chypre, ont utilisé des outils de simulation pour déterminer les dimensions et orientations optimales des fenêtres dans des bâtiments résidentiels. Ils ont démontré que l'intégration de la lumière naturelle peut augmenter le confort tout en réduisant les besoins énergétiques.

Au Japon, Miyazaki (2005) a exploré l'utilisation de vitrages semi-transparents dans les habitations. Il a montré que ces vitrages permettent non seulement de maintenir un éclairage naturel abondant, mais aussi de réduire les charges thermiques, un double avantage pour les logements dans les climats tempérés.

Montenegro et al. (2019) ont souligné que les typologies linéaires des logements permettent une répartition plus homogène de la lumière naturelle dans les pièces, améliorant ainsi à la fois la qualité de vie des occupants et les performances énergétiques.

Gratia (2003) a également montré que la forme générale du bâtiment, à la profondeur et à la hauteur des pièces, ainsi que la taille et l'orientation des fenêtres peuvent doubler l'efficacité énergétique des habitations tout en augmentant le confort lumineux des occupants.

Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., et Pout, C. (2008). Cette étude examine comment les surfaces vitrées influencent la consommation d'énergie et l'éclairement naturel. Les auteurs notent que l'augmentation de la taille des fenêtres améliore l'éclairement intérieur, réduisant ainsi le besoin d'éclairage artificiel.

Häfner, M., et Schmitt, H. (2014). Ce livre fournit des études de cas sur divers bâtiments, analysant comment la taille des fenêtres influence l'éclairement naturel et le confort des occupants. Il discute également des calculs d'éclairement basés sur la géométrie des fenêtres.

Baker, N., et Steemers, K. (2002). Les auteurs explorent comment le design bioclimatique, y compris la taille et l'orientation des fenêtres, influence la lumière naturelle et l'énergie dans les bâtiments, avec des implications pour le confort dans les espaces domestiques.

Huang, Y., et Xu, J. (2015). Cette étude examine les méthodes de simulation utilisées pour évaluer l'éclairement naturel en fonction de la taille des fenêtres. Elle démontre comment les

logiciels de simulation peuvent aider à optimiser les designs de fenêtres pour améliorer le confort lumineux.

Ali, K., et Al-Zubaidi, S. (2021). Cette étude examine comment l'orientation des fenêtres affecte la disponibilité de la lumière naturelle dans les maisons. Les résultats montrent que l'orientation sud-est et sud-ouest offre les meilleures performances lumineuses.

Geng, Y., et Zhang, X. (2020). Cette recherche analyse comment différentes surfaces vitrées influencent l'éclairage intérieur. Les auteurs recommandent d'optimiser la surface des fenêtres en fonction de l'orientation pour maximiser la lumière naturelle.

Khatib, T., et Al-Saadi, S. (2022). L'étude utilise des simulations pour montrer comment l'orientation et la taille des fenêtres influencent la performance lumineuse dans un climat chaud-aride, offrant des recommandations pour la conception bioclimatique.

Mahmoud, S., et Hammad, A. (2020). Cette recherche évalue l'impact de l'orientation et de la taille des fenêtres sur les performances d'éclairage dans différents types de logements, mettant en évidence les configurations optimales.

Vázquez, F., et Marín, J. (2023). Cette étude explore la corrélation entre la taille et l'orientation des fenêtres et la consommation d'énergie dans les bâtiments résidentiels, en démontrant que les configurations appropriées peuvent réduire les besoins en éclairage artificiel.

Wang, T., et Hu, J. (2021). Cette recherche examine comment la conception des fenêtres, y compris leur taille et leur orientation, influence l'exposition à la lumière naturelle et, par conséquent, le bien-être des occupants.

Xu, Q., et Liu, Y. (2022). Cette étude compare plusieurs systèmes de fenêtres, en se concentrant sur la taille et l'orientation, pour évaluer leur performance lumineuse et leur efficacité énergétique dans les espaces domestiques.

Dans une étude menée sur 280 bâtiments résidentiels à Hong Kong, Lam (2000) a observé que le rapport fenêtre-mur (WWR) des salons et chambres variait entre 15 % et 50 %, avec environ 90 % des bâtiments ayant un (WWR) compris entre 25 % et 35 %. Concernant le type de vitrage, 210 bâtiments (soit 75 % de l'échantillon) utilisaient du vitrage simple clair.

Dans une étude visant à évaluer l'impact des économies d'énergie d'éclairage sur la consommation énergétique globale des bureaux en intégrant les aspects de lumière naturelle et

thermiques, Bodart (2002) a montré que les gains liés à l'augmentation de la surface des fenêtres varient selon la transmittance lumineuse du vitrage. Par exemple, augmenter la surface vitrée de 16 % à 32 % peut réduire la consommation d'éclairage de 12 % pour un vitrage avec une transmittance de 20 %, et de 36 % pour un vitrage avec une transmittance de 81 %.

Krarti (2005) a étudié les performances d'éclairage naturel pour diverses combinaisons de géométrie de bâtiment, de taille d'ouverture des fenêtres et de type de vitrage, et a conclu que, dans tous les cas et pour toutes les localisations géographiques testées, une augmentation du rapport A_w/A_p (surface des fenêtres par rapport à la surface au sol périmétrique) entraîne des économies plus élevées en énergie d'éclairage.

Ces études démontrent clairement que les fenêtres jouent un rôle central dans l'optimisation de la lumière naturelle dans les logements. En intégrant des stratégies adaptées aux contextes climatiques, il est possible d'améliorer non seulement le confort des occupants, mais aussi de réduire les consommations énergétiques.

Chapitre I
***La lumière naturelle dans les espaces
domestiques.***

INTRODUCTION

La lumière naturelle est un élément fondamental dans l'architecture résidentielle, influençant à la fois l'esthétique et le bien-être des occupants. Au-delà de son rôle fonctionnel, la lumière naturelle peut être introduite comme une technique dans l'espace (S.Husin, et H. Harith, 2012). Elle participe activement à la création d'espaces vivants, lumineux et accueillants, tout en jouant un rôle crucial dans la réduction de la consommation d'énergie. Intégrer la lumière naturelle dans la conception architecturale ne se résume pas seulement à percer des ouvertures dans les murs ; cela nécessite une réflexion approfondie sur l'orientation, la taille des ouvertures, la gestion de l'ombre, et les matériaux utilisés pour optimiser la diffusion et la qualité de la lumière.

Ce chapitre explore les différentes stratégies permettant de maximiser l'apport de lumière naturelle dans les constructions résidentielles, tout en prenant en compte des aspects environnementaux et des besoins spécifiques des habitants. Des solutions innovantes et durables, comme l'utilisation des puits de lumière, ou de vitrages à haute performance, seront également abordées, afin d'illustrer comment le design peut magnifier les espaces intérieurs tout en respectant les principes d'efficacité énergétique.

I. DEFINITION DE LA LUMIERE NATURELLE.

La lumière est introduite comme une énergie qui peut donner une compréhension holistique de l'environnement bâti afin de voir les couleurs, les formes, les matériaux et ce qui existe tout autour. Lawson et Vaughn disent qu'il existe deux types de sources de lumière: la lumière naturelle et la lumière électrique. Mais L. Kahn établit un lien direct entre la lumière et le soleil. (Lawson.B, 2003, p. 32), (Vaughn, 2008, p. 30). De même, Zemmouri et Schiller croient également que le soleil et le ciel sont des déterminants de base et les principales sources de lumière naturelle. (Zemmouri et Schiller, 2004, p. 49).

La lumière naturelle comprend la lumière du soleil (rayonnement direct) et la lumière de la voûte céleste (rayonnement diffus). La lumière du soleil est expliquée comme étant la lumière du soleil visible, et la lumière du ciel comme étant la lumière lorsque le soleil est au-dessus de l'horizon s'il est visible ou invisible (Coles, et House, 2007, p. 120-121). Par conséquent, la lumière naturelle et surtout la lumière de la voûte céleste est importante, car la conception des formes et des espaces en dépend (Poldma, 2009).

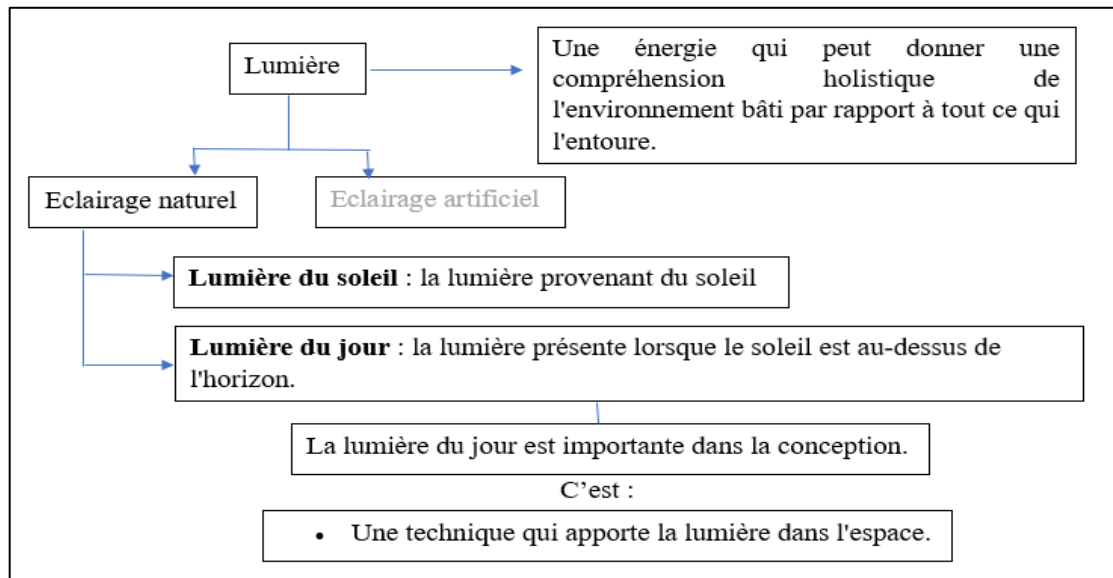


Fig I. 1: Signification de la lumière
 Source: O. Naseri 2014. (Traduit par l'auteur)

A Meek et Van Den Wymelenberg donnent une définition similaire, en définissant la lumière du jour comme l'utilisation de sources naturelles telles que la lumière du soleil, la lumière du ciel ou la lumière diffuse de l'éclairage. C'est une combinaison de lumière solaire directe et indirecte pendant la journée. Ce qui aidera la vision humaine à bien fonctionner dans les espaces intérieurs. Elle est recommandée parce qu'elle améliore la productivité et le bien-être des êtres humains. (A Meek et Van Den Wymelenberg. 2014, p. 1).

Reinhart et ses collaborateurs ont donné une définition de la lumière du jour par rapport à quatre domaines de l'architecture en général: économie d'énergie pour l'éclairage, lumière du jour pour la consommation d'énergie dans les bâtiments, lumière du jour et la gestion de la charge, la lumière du jour et le coût. Pour l'architecture, ils définissent la lumière du jour comme suit: créer une interaction entre la lumière du jour et la conception architecturale qui favorise l'utilisation de la lumière du jour ; la mise à disposition d'espace pour les utilisateurs avec un environnement intérieur visuellement stimulant, de santé et productif. (Reinhart, C. F., Mardaljevic, J. et Rogers, Z. 2006.)

Pour l'économie d'énergie, la lumière du jour est définie comme étant le remplacement de l'éclairage électrique, ce qui contribue à réduire la consommation d'énergie. La définition de la consommation d'énergie d'un bâtiment est l'utilisation de la lumière du jour pour créer la conception de bâtiments qui réduisent et contrôlent la consommation d'énergie comme le chauffage, le refroidissement ou l'éclairage électrique, etc. La lumière du jour par rapport à la gestion de la charge, est le "contrôle dynamique de la fenestration ". L'éclairage pour gérer et

contrôler la demande électrique de pointe et la forme de la charge du bâtiment " (Reinhart, C. F., Mardaljevic, J. et Rogers, Z. 2006, p. 8). Enfin, la lumière du jour par rapport au coût est liée à la création d'un bâtiment qui dispose d'une stratégie avancée d'éclairage diurne qui contribue à réduire les coûts d'exploitation et qui permet l'augmentation de la productivité.

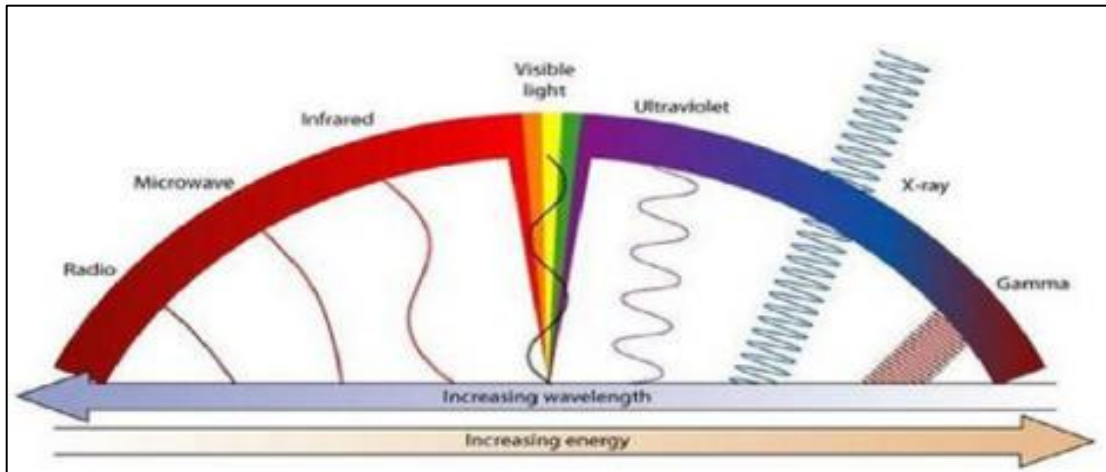


Fig I. 2: Spectre électromagnétique montrant le motif des longueurs d'onde
Source: Science learning Hub, New Zealand

Le manque d'exposition à la lumière du jour pendant une longue période cause des problèmes de mauvaise humeur et de dépression (P. Tregenza, D. Loe, 1998). La lumière du jour elle-même a un spectre continu avec une différence apparente de luminosité.

La sensibilité de l'œil humain à la couleur spectrale varie du violet au rouge, ce qui correspond au spectre de rayonnement solaire de 0,39 à 0,78 μm pour la lumière visible. Bien que la lumière du jour ne couvre qu'une bande étroite de l'ensemble du spectre du rayonnement solaire, elle a une influence fondamentale et significative sur la vie de l'être humain sur la terre. (R. Bashiru Tukur. 2013).

II. PERSPECTIVES HISTORIQUES SUR LA LUMIÈRE NATURELLE A L'INTÉRIEUR DES BÂTIMENTS

Les récits primitifs sur l'utilisation de la lumière naturelle peuvent être retracés jusqu'aux forts rayons du soleil qui pénètrent à travers l'obscurité extrême d'une grotte. Tout au long de cette période, la lumière naturelle était une source primaire d'éclairage utilisée, avec des degrés de contrôle variables, dans différents types d'abris construits par des êtres humains dans leur quête de survie et de confort. La lumière du jour était associée à de fortes significations symboliques dans la façon dont on l'a fait entrer dans un espace et projeter des ombres sur différentes surfaces. (O.Naseri., 2014)

Pile (1995) croit que la lumière est la principale chose sur laquelle la perception humaine est fondée. "Sans lumière, la race humaine ne pourrait pas exister" (Barker, 1997, p. 4) ; les civilisations antiques ont utilisé le ciel comme un outil pour être en vie. Le soleil, la lune et les étoiles étaient les seules sources de lumière de l'environnement ; ils ont orienté les premières sociétés à s'adapter au temps (Vaughn, 2008, p. 3). Le soleil comme source d'éclairage la plus importante a été utilisé pour pénétrer dans l'obscurité des grottes (Gill, A, 2006, p. 6); à travers l'histoire, il y avait plusieurs façons de faire pénétrer la lumière du soleil dans l'espace, les ouvertures sont la principale alternative pour l'amener dans l'espace (Coles, et House p. 122-123).

Pile mentionne que jusqu'à l'époque du modernisme, la lumière du jour était la principale source d'éclairage « *Jusqu'à l'époque moderne, la lumière du jour était la principale source partout ; la conception des bâtiments devait tenir compte de l'éclairage naturel par les fenêtres et d'autres solutions comme les puits de lumière* » Pile (1995).

Durant la période de l'expressionnisme (avant et après la Première Guerre mondiale), les architectes ont commencé à rechercher la lumière et son design comme thème central (Gill, 2006, p. 16). L'utilisation de l'éclairage électrique dans la conception était le résultat de l'abondance de l'énergie électrique. Pendant l'après-guerre, la plupart des architectes ont abusé de la flexibilité qu'offrait la lumière électrique, ils l'ont considérée comme un avantage important, mais malheureusement ils n'ont pas su rendre un espace sensible (Vaughn, 2008, p. 12). Beaucoup de bâtiments sans fenêtres sont le résultat de l'utilisation croissante de l'électricité dans les années 1960. Comme Robbins (1986) dit: "*Depuis 1973, l'intérêt pour l'éclairage naturel a augmenté en raison de l'embargo sur le pétrole et de la compréhension du fait que l'éclairage électrique représente une utilisation majeure de l'énergie dans de nombreux types de bâtiments commerciaux, institutionnels et industriels*". Par conséquent, les architectes ont commencé à réfléchir sur l'importance d'utiliser la lumière naturelle pour éclairer l'environnement intérieur (Gill, 2006, p. 8).

Barker, présente Gian Lorenzo Bernini, qui était un artiste italien et l'un des premiers architectes à utiliser la lumière naturelle dans l'espace. "*L'un des premiers architectes à orchestrer la lumière naturelle fut Gian Lorenzo Bernini (1598-1680) qui apporta au XVII^e siècle une passion pour une dynamique spatiale ; ses techniques étaient une masse de surface et de vide, qui s'appuyait sur la lumière du soleil pour exprimer la sensation de frontières texturales à l'intérieur de vastes espaces.*" (Barker, 1997, p.18). Gian Lorenzo Bernini n'était

pas le seul architecte, Barker souligne également que Frank Lloyd Wright, Walter Gropius et Antonio Gaudi sont des architectes qui se concentrent sur diverses solutions pour éclairer naturellement l'environnement intérieur. Cependant, Barker mentionne également que Schindler, Frank Lloyd Wright, Le Corbusier et Eero Saarinen ont exploré la beauté inhérente de la lumière naturelle. Barker (1997, p. 18).

Au milieu du 20^e siècle, l'invention de divers types d'éclairage électrique affecte le rôle essentiel que jouait la lumière du jour dans les bâtiments. Au cours des 30 dernières années, les architectes ont commencé à repenser la lumière naturelle et les avantages de l'utiliser dans l'aménagement intérieur. Ainsi, l'occupant pourra voir l'extérieur à travers une ouverture, en tenant compte des aspects psychologiques du bien-être humain, mais aussi des économies d'énergie (Philips, 2004).

De même, souligne Serra (1998), le rôle de la lumière est ignoré dans l'architecture contemporaine, comme elle le mentionne de cette façon, tout au long de ses mots: *"Pourtant, lorsque nous essayons d'analyser le rôle de la lumière dans l'architecture contemporaine, nous trouvons un vide énorme. Les bâtiments contemporains négligent presque totalement le rôle important que la lumière naturelle pourrait jouer dans leurs espaces intérieurs »*. (Serra ;1998)

C'était la quantité de lumière naturelle qui était considérée importante après le modernisme jusqu'aux années 1960. Puis, après les années 1970, à l'époque contemporaine, des designers contemporains tels que Zaha Hadid, Frank Gehry, Greg Lynn, Reiser Umemoto et de nombreux autres groupes d'architectes ont préféré l'approche paramétrique via des outils numériques. Le design d'ouverture et la façon dont ils apportent la lumière naturelle dans l'espace a été modifiée au cours de l'architecture contemporaine en fonction de cette évolution architecturale.

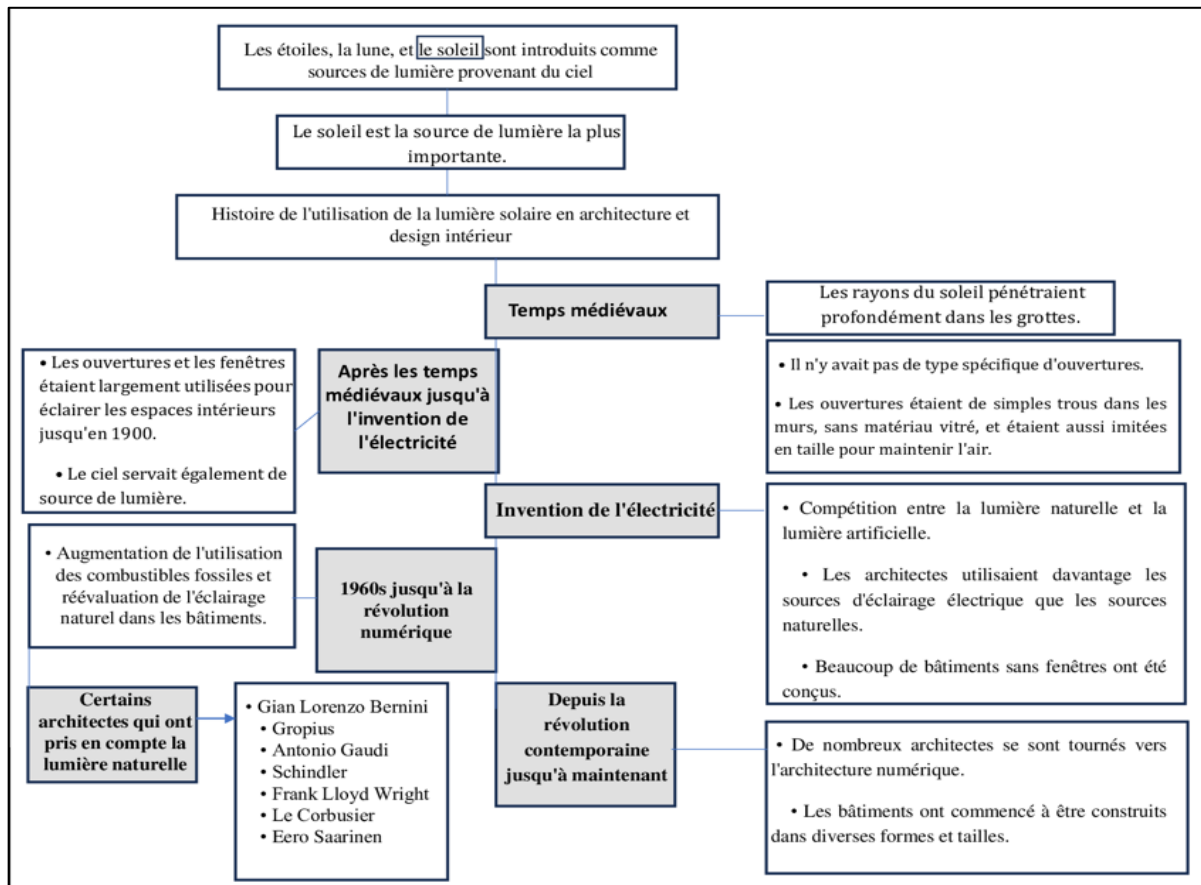


Fig I. 3: Eclairage naturel à travers l'histoire.
Source: O.Naseri ;2014 (traduit par l'auteur)

III. ORIGINE ET CARACTERISTIQUES DE LA LUMIERE NATURELLE

III.1. ORIGINE DE LA LUMIERE NATURELLE

La lumière naturelle est la partie visible du rayonnement lumineux provenant du soleil. Sa disponibilité dépend de nombreux paramètres dont la position du soleil et la couverture nuageuse. La distribution de la lumière naturelle provenant du soleil et de la voûte céleste peut être modélisée par différents types de ciel. L'éclairement est la grandeur la plus utilisée même si elle n'est pas toujours la plus adaptée pour caractériser les ambiances lumineuses. Les objets et matériaux absorbent, réfléchissent ou transmettent la lumière naturelle de manière plus ou moins sélective.

III.1.1. LE RAYONNEMENT SOLAIRE VISIBLE

La composition du rayonnement énergétique global est variable sur la planète et au cours de l'année, elle varie également selon les sources. En première approximation, on peut dire que la répartition est d'environ la moitié de rayonnement visible et l'autre moitié de non-visible.

Néanmoins, on peut trouver des données:

- 51 % de visible et 49 % de non-visible. (Association Française de l'Éclairage, 1983)
- 48 % de visible et 52 % de non-visible.

Le non-visible se décompose entre infra-rouge et ultra-violet. 6 % d'UV et 43 % d'IR pour l'AFE, 1 % d'UV et 51 % d'IR .

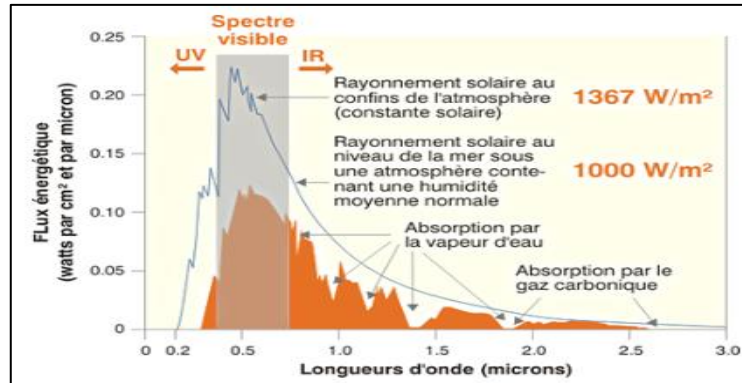


Fig I. 4: répartition du spectre solaire

Source: <https://energieplus-lesite.be/theories/climat8/ensoleillement-d8/> consulté le 24/01/2020

La source de lumière naturelle qui éclaire notre planète est le soleil. Toutefois, la voûte céleste, qui reçoit cette lumière, agit comme un filtre/diffuseur pour une part importante de ce flux direct du soleil.

III.1.2. FLUX DIRECT ET DIFFUS

Une partie des rayons du soleil est réfléchi dans l'espace. Une autre partie absorbée par l'atmosphère et les nuages ne parviendra pas jusqu'à la surface terrestre. Une dernière partie, après de nombreuses réflexions dans l'atmosphère, produira le flux diffus de lumière naturelle. Si la couverture nuageuse est faible, une partie du flux lumineux du soleil nous parviendra directement, ce rayonnement constitue le flux direct de la lumière naturelle.

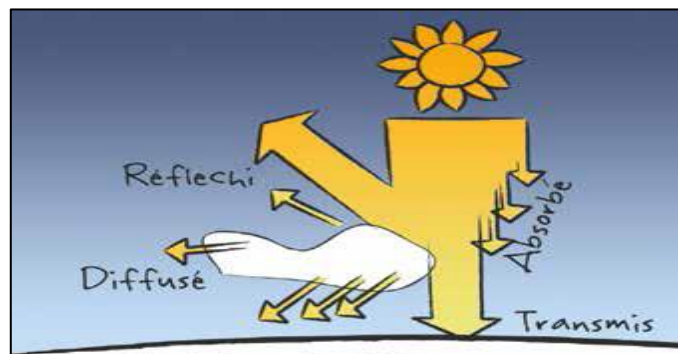


Fig I. 5: Le rayonnement solaire

Source: ICEB 2014

Ainsi la lumière naturelle perçue sur la Terre ne dépend pas seulement du soleil, mais également de la composition de l'atmosphère et de la couverture nuageuse. Le type de ciel peut être caractérisé en fonction des variations astronomiques et météorologiques. Une classification est développée pour représenter les différents types de ciel réels:

III.1.3. LES TYPES DE CIEL

Un type de ciel est caractérisé par la répartition des luminances sur la voûte céleste en fonction de la position du soleil et de la répartition des nuages. Deux grands types de ciel sont à distinguer: ceux où le soleil est visible et ceux où il ne l'est pas. On parle ainsi de ciels clairs et de ciels couverts. Lorsque le soleil est alternativement visible et non-visible, on parle de ciel intermédiaire. Il s'agit d'un ciel présentant une couverture nuageuse plus ou moins dense et éparse, des portions de voûte céleste sans nuage et le soleil visible par intermittence. Il existe des modèles de ciel qui permettent de reproduire analytiquement la répartition de ciels réels.

- **LES CIELS REELS**

Il existe une infinité de types de ciel, leur caractérisation est souvent complexe car aléatoire. Les mesures montrent que l'éclairement horizontal extérieur varie selon les types de ciel et selon le lieu: entre moins de 5 000 lux l'hiver et plus de 40 000 lux l'été sous ciel couvert. Au-delà de 100 000 lux en été sous ciel clair. La fréquence d'occurrence des différents types de ciel réel (clair, couvert ou intermédiaire) varie selon la couverture nuageuse, qui elle-même dépend de la localisation géographique ou encore des saisons.

Pour les espaces intérieurs d'un bâtiment un ciel clair et ensoleillé n'apportera pas nécessairement plus de lumière qu'un ciel couvert. En effet, si le soleil direct ne pénètre pas dans le local, comme pour une baie orientée au nord en hiver, un ciel clair apportera moins de lumière qu'un ciel couvert avec une couche uniforme de nuages.

- **LES CIELS MODELISES**

La CIE (Commission International de l'Éclairage) propose aujourd'hui 15 modélisations de types de ciels (Perez, 1993). Elles reprennent toujours le ciel couvert uniforme, le ciel couvert CIE et le ciel clair. Le tableau ci-dessous montre les 15 types de ciels ainsi que les indicatrices de diffusion et de gradation notons que: a, b, c, d et e sont des coefficients dont les valeurs sont définies dans la publication de la CIE (CIE S011, 2003) pour les 15 types de ciel

standard:

Tab I. 1: Tableau regroupant les quinze types de ciel standard
Source:CIE, 2003

Type	Caractérisation	Graduation		Indicatrices		
		a	b	c	d	e
1	Ciel CIE Standard Overcast Sky. Forte graduation de la luminance vers le zénith. uniformité azimuthale.	4	-0.7	0	-1	0
2	Ciel couvert. Forte graduation de la luminance vers le zénith. Luminosité légèrement supérieure vers le soleil.	4	-0.7	2	-1.5	0.15
3	Ciel couvert. Graduation zénithale modérée. uniformité azimuthale.	1.1	-0.8	0	-1	0
4	Ciel couvert. Graduation zénithale modérée. Graduation légère vers le soleil.	1.1	-0.8	2	-1.5	0.15
5	Ciel couvert. Uniformité totale.	0	-1	0	-1	0
6	Ciel partiellement nuageux. Graduation zénithale nulle. Graduation légère vers le soleil.	0	-1	2	-1.5	0.15
7	Ciel partiellement nuageux. Graduation zénithale nulle. Zone circumsolaire plus lumineuse.	0	-1	5	2.5	0.3
8	Ciel partiellement nuageux. Graduation zénithale nulle. Couronne solaire distincte.	0	-1	10	-3	0.45
9	Ciel partiellement nuageux. Le soleil est totalement masqué.	-1	-0.55	2	-1.5	0.15
10	Ciel partiellement nuageux. Zone circumsolaire plus lumineuse.	-1	-0.55	5	-2.5	0.3
11	Ciel bleu laiteux. Couronne solaire distincte.	-1	-0.55	10	-3	0.45
12	Ciel CIE Standard Clear Sky. Ciel bleu sans nuage faiblement pollué.	-1	-0.32	10	-3	0.45
13	Ciel CIE Standard Clear Sky. Ciel bleu sans nuage fortement pollué.	-1	-0.32	16	-3	0.3
14	Ciel sans nuage. Large couronne solaire.	-1	-0.15	16	-3	0.3
15	Ciel sans nuage bleu laiteux. Large couronne solaire.	-1	-0.15	24	-2.8	0.15

Un seizième ciel est repris dans la recommandation. Il s'agit en fait du modèle de Moon and Spencer, modifié par Fritz qui a été formulé pour des ciels couverts en tout point de la voûte céleste par des nuages denses dont le disque solaire ne doit pas être détectable. Les distributions de luminances sont symétriques par rapport au zénith et indépendantes de la position du soleil. Les luminances de l'horizon sont trois fois plus petites que celle au zénith (Moon, 1942).

Vu la multitude des conditions météorologiques, quatre types de ciels standards ont été établis pour les études d'éclairage. Chacun d'eux est caractérisé par sa répartition de la luminance sur la voûte céleste qui varie en fonction de la latitude, de l'altitude, de saison et de l'heure. Ce sont les plus anciens ciels normalisés par la CIE.(CIE 110, 1994).



Fig I. 6: Les quatre types de ciel.
Source:(CIE 110, 1994).

- **LE CIEL COUVERT UNIFORME:** Chaque point de la voûte céleste est caractérisé par la même luminance. Dans la pratique, cela correspond par exemple, à des conditions de brouillard dense. Il est caractérisé par $L(\theta) = L_z$ où L_z est la luminance au zénith et $L(\theta)$ est la luminance du ciel en un point présentant un angle θ avec la direction zénithale.
- **LE CIEL COUVERT CIE (ou Moon et Spencer):** ce modèle stipule que la luminance du zénith est trois fois supérieure à celle de l'horizon. Il est caractérisé par $L(\theta) = L_z (1 + 2\sin\theta)/3$. Cette modélisation est largement utilisée. C'est notamment la modélisation qui est utilisée pour les calculs de Facteur de Lumière du Jour (FLJ).
- **LE CIEL CLAIR:** le ciel clair peut être modélisé par le modèle de ciel tout temps de Pérez dont la formule complexe est fonction de multiples paramètres (Pérez, 93). Ce type est caractérisé par des valeurs de luminance qui varient en fonction de paramètres géométriques et de la position du soleil. Il émet un rayonnement diffus qui dépend de la variation de la position du soleil et exclu le rayonnement solaire direct.
- **CIEL CLAIR AVEC SOLEIL:** Il prend en compte le rayonnement global (direct+diffus) alors que les trois modèles précédents ne font intervenir que la composante diffuse de rayonnement solaire. Il correspond à un ciel serein ou le soleil brille. 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.
- **LES NUAGES:** Les nuages réfléchissent une partie de la lumière du soleil vers l'espace. Il y a donc moins d'énergie solaire arrivant sur le sol et une modification de la quantité de lumière solaire absorbée par la terre. Afin de caractériser la couverture nuageuse, il faut se référer à deux paramètres: d'une part leur type et d'autre part leur quantité. Les variétés de nuages sont définies à l'aide d'une classification internationale, qui catégorise les types de nuages d'après leur aspect, leur dimension et leur altitude alors que la quantité de

nuages couvrant la voute céleste est caractérisée par la nébulosité N qui égale à la fraction du ciel occupé par une couverture nuageuse visible. La nébulosité varie de $N=0$ (pas de nuages) à $N=8$ (ciel totalement couvert) et $N=9$ pour les cas de brouillard.

• LA POSITION DU SOLEIL

La position du soleil est caractérisée par les angles et paramètres suivants: la latitude, la hauteur solaire, l'angle d'inclinaison de la terre et l'azimut.

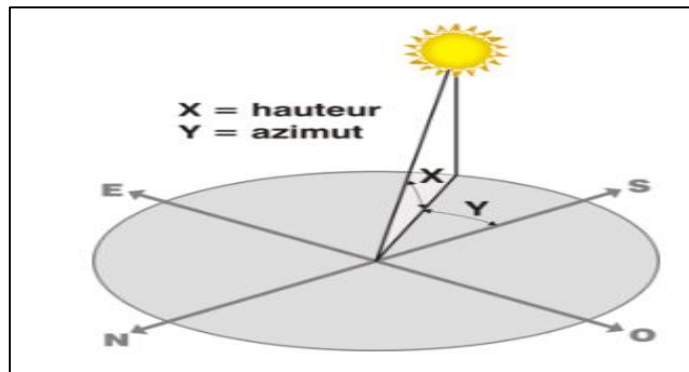


Fig I. 7: Position du soleil

Source: <https://energieplus-lesite.be/theories/climat8/ensoleillement-d8/> consulté le 24/01/2020

Pour une latitude LAT , la hauteur solaire H est définie par $\sin(H) = \sin(LAT) \cdot \sin(d) + \cos(LAT) \cdot \cos(d) \cdot \cos(AH)$. Où AH est l'angle horaire donné par $AH(^{\circ}) = 15(Ts-12)$ avec Ts le temps solaire vrai exprimé en heure. La déclinaison solaire, angle entre le plan de l'équateur et le soleil est donnée par $d(^{\circ}) = 23.45 \sin(0.986(284+N))$ où N est le nième jour de l'année. La valeur de l'azimut Az est donnée par $\sin(Az) = \cos(d) \cdot \sin(AH) / \cos(h)$.

Les conventions de l'Association Française de l'Éclairage et de la Commission Internationale de l'Éclairage sont différentes elles prennent pour référence le Nord à 0° et l'Est à 90° . Le schéma ci-dessous montre les différentes rotations que fait la terre sur elle-même et autour du soleil.

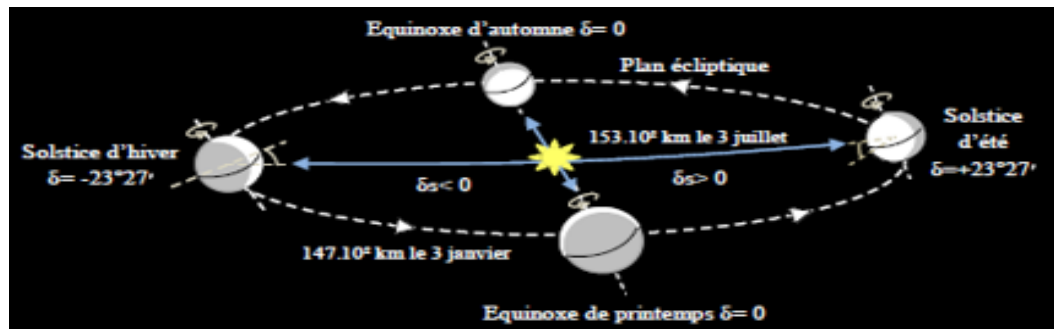


Fig I. 8: position géographique du soleil
Source: <http://pfz.free.fr/equinoxe.htm> consulté le 07/01/2019

III.2. LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DE LA LUMIERE NATURELLE

III.2.1. DEFINITIONS ET ORDRES DE GRANDEURS:

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

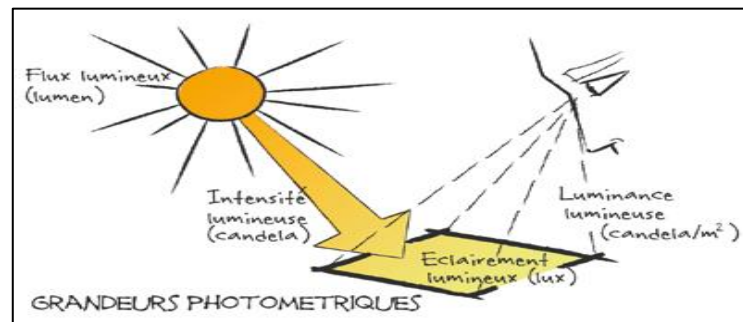


Fig I. 9: Grandeurs photométriques.
Source: ICEB 2014

Le flux lumineux est la puissance lumineuse émise par une source dans toutes les directions. L'unité de flux lumineux est le lumen, symbole lm.

Un flux d'1 lumen correspond à un flux lumineux d'un faisceau d'une radiation monochromatique de longueur d'onde 555nm pour un flux énergétique de 1/683 Watt.

Par ailleurs, l'efficacité lumineuse est une notion qui traduit le flux lumineux produit par une source par unité de puissance.

L'éclairement lumineux correspond à un flux lumineux reçu par unité de surface. L'unité d'éclairement lumineux est le lux, symbole lx. Un éclairement lumineux de 1 lux, correspond à un flux lumineux de 1 lumen couvrant uniformément une surface de 1 mètre carré (m²). En ciel clair à midi en été, l'éclairement horizontal peut atteindre 100 000 lux. L'éclairement se mesure avec un luxmètre. C'est un appareil muni d'une cellule photoélectrique qui convertit l'énergie lumineuse en signal électrique, qui est ensuite amplifié et offre une lecture facile sur une échelle étalonnée de lux. Il permet de mesurer simplement et rapidement l'intensité

lumineuse sur les lieux.

L'intensité lumineuse est le flux lumineux émis par une source lumineuse ponctuelle dans une direction donnée. L'unité de l'intensité lumineuse est la candela, symbole cd. Une intensité de 1 candela correspond à un flux lumineux d'1 lumen dans un angle solide d'1 stéradian, 1 candela correspond à l'intensité lumineuse produite par une bougie. La mesure de l'intensité lumineuse se fait par les récepteurs photométriques.

La luminance lumineuse est l'intensité lumineuse d'une source dans une direction donnée, divisée par l'aire apparente de cette source dans cette même direction. L'unité est la candela par mètre carré. La luminance lumineuse est la seule grandeur photométrique appréciable par le système visuel. Pour se repérer l'on peut indiquer que la luminance du soleil peut dépasser 109 cd/m^2 et qu'une source peut commencer à devenir éblouissante en éclairage naturel à partir de 2000 cd/m^2 .



Fig I. 10: L'appareil de mesure: luminance-mètre.
Source: M. Bodart (2002)

Une luminance mètre est utilisée pour mesurer la luminance et se présente comme une caméra. Cet appareil utilise un viseur, qui au moyen d'un jeu de miroirs et d'un photomultiplicateur permet de mesurer en continu les valeurs de luminance en tout point.

La température de couleur caractérise la couleur apparente de la lumière émise par une source. Elle est exprimée en KELVIN. Cette notion renseigne sur l'ambiance d'un espace éclairé et permet de classer une source lumineuse en: •« teinte chaude » $TK < 3300^\circ \text{ K}$ (lumière blanche, orangée, soleil à l'horizon), •« intermédiaire » TK entre 3300° et 5000° K (lumière blanche, neutre), •« teinte froide » $TK > 5000^\circ \text{ K}$ (lumière très blanche, bleutée, soleil au zénith).

III.2.2. LA PROPAGATION DE LA LUMIERE:

La lumière se propage dans un milieu homogène d'une façon rectiligne, appelée les rayons lumineux. En se diffusant dans un espace, quelque soit ses propriétés, la lumière éclaire des

objets, des lieux. Ces objets éclairés peuvent l'absorber, la réfléchir ou la transmettre, ces phénomènes dépendent de la longueur d'onde de la lumière.

a. Absorption: un objet éclairé par les rayons lumineux, absorbe les composantes de la lumière, chacun à un taux d'absorption lumineuse propre à lui. S'il absorbe toutes les composantes de la lumière naturelle, il apparaît donc noir, et dans le cas contraire, en renvoyant tous ces composants, alors il apparaît blanc.

b. Réflexion: il existe quatre modes de réflexion de la lumière sur une surface, dépendant de la brillance de la surface réfléchissante:

- ☐ La réflexion spéculaire: est une réflexion sur une surface plane permettant à la lumière de changer de direction sans modifier la trajectoire des rayons un par rapport à l'autre.
- ☐ 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. (A.Liebard, A. De Herde 2006;p.249).

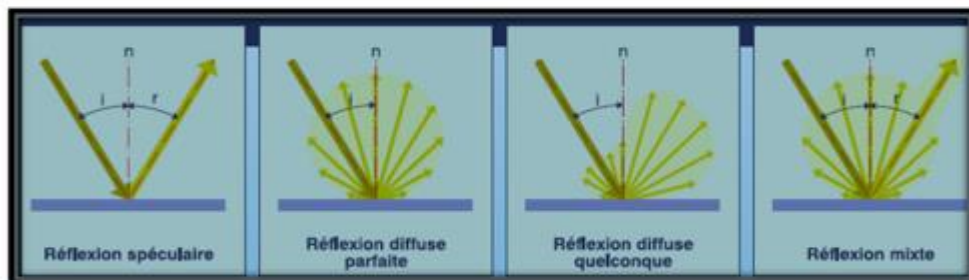


Fig I. 11: La réflexion

Source: Liebard A et De Herde A 2006

Le facteur de réflexion lumineuse d'une surface (ρ ou Rho) est la quantité d'énergie lumineuse qu'elle réfléchit par rapport à celle qu'elle reçoit. Ce facteur de réflexion, aussi appelé coefficient de réflexion hémisphérique, se décompose en facteur de réflexion spéculaire et facteur de réflexion diffuse. (Liebard A et De Herde A 2006, p307. p249).

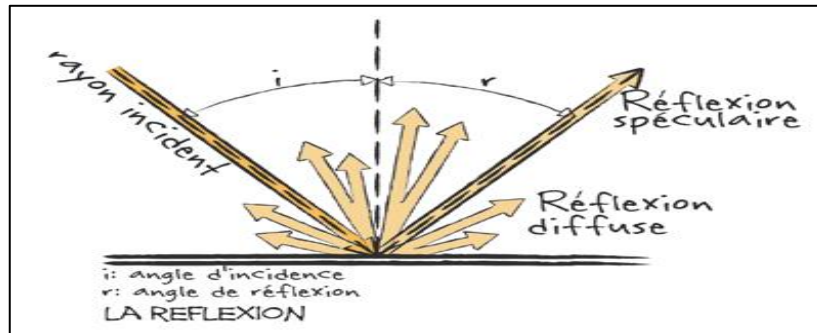


Fig I. 12: La réflexion

Source: ICEB 2014

Le tableau suivant donne des exemples de valeurs de coefficient de réflexion lumineuse:

Tab I. 2: Valeurs de coefficient de réflexion lumineuse

Source: https://www.guide-clea.fr/clea_projet/ecla/ consulté le 12/01/2020

Facteurs de réflexion			
Peintures :		Autres matériaux de construction :	
blanc	0,70 à 0,80	plâtre blanc	0,7 à 0,80
jaune	0,50 à 0,70	marbre blanc propre	0,80 à 0,85
vert	0,30 à 0,60	brique blanche propre	0,62
gris	0,35 à 0,60	brique rouge	0,10 à 0,20
brun	0,25 à 0,50	brique rouge usagée	0,05 à 0,15
bleu	0,20 à 0,50	ardoise	0,1 à 0,15
rouge	0,20 à 0,35	asphalte	0,08 à 0,12
noir	0,04	aluminium poli	0,65 à 0,75
Bois :		aluminium mat	0,55 à 0,60
bouleau clair, érable	0,55 à 0,65	zinc	0,08 à 0,20
chêne vernis clair	0,40 à 0,50	nickel	0,48 à 0,63
chêne vernis foncé	0,15 à 0,40	cuivre	0,48 à 0,50
acajou, noyer	0,15 à 0,40	chrome	0,52 à 0,70
Papiers peints :		émail blanc	0,65 à 0,75
très clairs (blanc, crème)	0,65 à 0,75	vitrages	0,08 à 0,40
clairs (gris, jaune, bleu)	0,45 à 0,60	crépis blanc neuf	0,70 à 0,80
foncés (noir, bleu, gris, vert, rouge)	0,05 à 0,36	crépis blanc usagé	0,30 à 0,60
		béton neuf	0,40 à 0,50
Sols :		béton ancien	0,05 à 0,15
Pelouse	0,18 à 0,23	plastique blanc	0,6
Sable	0,09 à 0,55	carrelage gris clair	0,3
Terre	0,26	linoléum gris foncé	0,2

c. transmission: la lumière est transmise par des corps ayant des caractéristiques propres à eux, se regroupent en trois catégories selon la quantité de la lumière transmise, des corps transparents, translucides, ou opaques à la lumière.

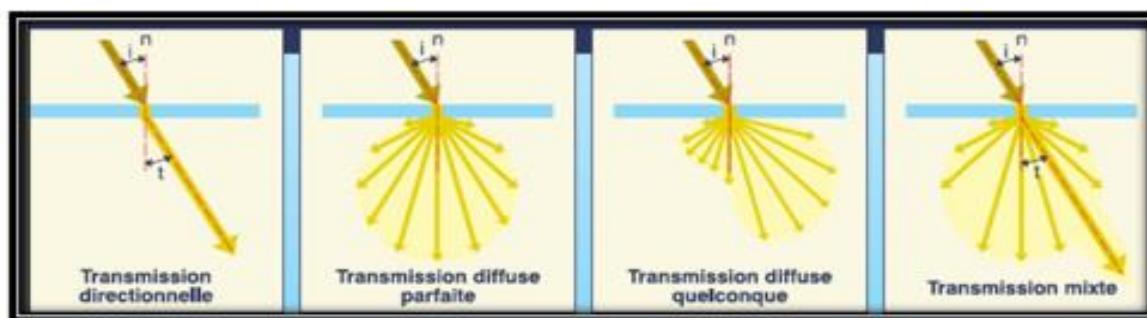


Fig I. 13: La transmission
Source: A.Liebard et De A.Herde 2006

Le coefficient de transmission lumineuse (τ ou TL) est le rapport du flux lumineux transmis au flux incident. Il définit la part de lumière visible que traverse un matériau. Cette transmission se décompose en une transmission directionnelle ou spéculaire et une transmission diffuse.

Tab I. 3: Exemple de transmissions lumineuses optimisée de divers types de vitrage
Source: <https://energieplus-lesite.be/donnees/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

IV. STRATEGIES DE BASE DE LA LUMIERE NATURELLE

La stratégie de l'éclairage naturel vise à mieux capter et faire pénétrer la lumière naturelle, puis à mieux la répartir et la focaliser. On veillera également à contrôler la lumière pour éviter

l'inconfort visuel. L'utilisation intelligente de la lumière naturelle permet de réduire la consommation électrique. (Liebard A et De Herde A 2006, p307. p249).

- **Capter:** Une partie de la lumière du jour est transmise par les vitrages à l'intérieur du bâtiment. La quantité de lumière captée dans un local dépend de la nature et du type de paroi vitrée, de sa rugosité, de son épaisseur et de son état de propreté. L'aménagement des abords peut aussi créer une barrière à la pénétration rasante du rayonnement d'hiver ou d'été, tout en laissant une large ouverture à la lumière du ciel.

- **Pénétrer:** La pénétration de la lumière dans un bâtiment produit des effets très différents non seulement suivant les conditions extérieures (type de ciel, trouble atmosphérique, saison, heure du jour et dégagement du site) mais aussi en fonction de l'emplacement, l'orientation, l'inclinaison, la taille et le type des vitrages. L'éclairage latéral fournit une lumière dirigée, qui souligne généralement le relief, mais limitée en profondeur, contrairement à l'éclairage zénithal qui est beaucoup plus uniforme, mais possible qu'au dernier niveau des bâtiments.

- **Répartir:** La lumière se réfléchit d'autant mieux sur l'ensemble des surfaces intérieures des locaux que le rayonnement ne rencontre pas d'obstacles dus à la géométrie du local ou au mobilier, et que les revêtements des surfaces sont mats et clairs. Elle peut également être diffusée par le type même du vitrage utilisé (translucide) ou par des systèmes de réflecteurs, qui permettent à la lumière de gagner le fond du local.

- **Protéger et contrôler:** La pénétration excessive de lumière naturelle peut être une cause de gêne visuelle (éblouissement, fatigue). Elle peut se contrôler par la construction d'éléments architecturaux fixes (surplombs, bandeaux lumineux ou lightshelves, débords de toiture, etc.) associés ou non à des écrans mobiles (marquises, volets, persiennes ou stores).

- **Focaliser:** Il est parfois nécessaire de focaliser l'apport de lumière naturelle pour mettre en valeur un lieu ou un objet particulier. Un éclairage zénithal ou latéral haut - crée un contraste lumineux important avec l'éclairage d'ambiance, moins puissant. Un atrium au centre d'un bâtiment permet aussi à la lumière du jour de mieux pénétrer tout en créant un espace de circulation et de repos attrayant.

V. LA LUMIERE EN ARCHITECTURE:

• LA LUMIERE ET LA FORME:

Distinguer la forme à travers la lumière permet de découvrir les parties d'un édifice et son

organisation. La forme répond à la lumière et, en retour, les dessins de la lumière sont déterminés par la forme. De plus la lumière naturelle n'accentue pas toujours les formes dans les mêmes proportions, Ceci dépend de l'orientation. Une orientation sud est la plus favorable au rendement des modelés, des avancées et des retraits sur une façade car ils provoquent un jeu d'ombres portées assez constantes vu que le soleil est haut sur l'horizon. Par contre, pour les orientations est ouest, les rayons du soleil sont assez bas au commencement comme en fin de journée. Les ombres portées seront donc très variables et par moment extrêmement allongées et déformées, proportionnellement à l'importance des retraits et des avancées. (L. Kahn, 1975).

- **LA LUMIERE ET LA MATIERE:**

La lumière est à la fois ombre et lumière, et l'opposition de ses deux constituants, si fondamentale en art comme en architecture, elle en est une valeur intrinsèque. De son côté, se laissant plus au moins traverser par les flux, la matière se situe sur une échelle de perméabilité qui déploie peu à peu ses degrés, depuis l'opacité totale jusqu'à la pure transparence. Plus la matière est opaque, plus elle oppose une résistance au flux. En revanche, plus elle est poreuse et donc, dans une certaine mesure transparente, moins elle résiste à leur passage. *« La lumière et la matière sont articulés dans une relation dynamique de dépendance, génératrice d'espace. C'est précisément à partir d'une combinaison de l'ensemble de ses paramètres – ombre, lumière, opacité, porosité, vue – que fonctionnent des dispositifs scientifiques, artistiques ou architecturaux »* (Bouchier M., op.cit. p, 70).

- **LA LUMIERE ET LA STRUCTURE:**

La structure influence d'une manière déterminante le caractère d'une ambiance lumineuse. Inversement, à une certaine qualité de la lumière recherchée correspond un type de structure offrant une ouverture particulière. Cette structure la laisse pénétrer dans l'espace avec générosité, selon l'appropriation et le rapport au contexte souhaité. Pour L.Kahn, la structure est créatrice de lumière, *« La structure est le donneur de lumière. Un ordre de structure qui implique la présence d'une autre colonne à côté d'une colonne offre un rythme de non-lumière, lumière, non-lumière, lumière, non- lumière. »* (Kahn L., 1996, p145).

- **LA LUMIERE ET LA DIRECTION:**

La lumière naturelle est le moyen pratique et poétique pour promouvoir une orientation à toutes les échelles de l'environnement bâti. Elle est aussi un moyen de communication: elle

peut définir un point d'attraction, souligner un axe, renforcer une organisation hiérarchique de l'espace ou encourager un mouvement. La caserne des pompiers conçue par Zaha Hadid à Vitra est un bâtiment directionnel, ses parois obliques assurant l'éclairage renforce son caractère centripète. (De Herde A., Reiter A, 2001).

- **LA LUMIERE ET LA COULEUR:**

Les couleurs peuvent modifier la perception de la dimension des surfaces et des volumes. L'effet spatial d'une couleur peut toutefois dépendre de diverses composantes, notamment les contrastes clair-obscur ou chaud-froid. En général, on considère que les couleurs chaudes sont préférentiellement employées dans de vastes espaces tandis que les couleurs froides donnent l'illusion que les parois sont plus éloignées. Les couleurs claires procurent toujours une sensation d'espace nettement plus grands que les couleurs foncées. La lumière est modifiée et fragmentée au travers de toute une gamme de verres translucides et colorés. Elle permet par le mouvement, La clarté des espaces, la transparence, le jeu des couleurs, et d'ombres la diversité des ambiances.

- **LA LUMIERE ET L'ESPACE:**

La lumière peut définir plusieurs zones à l'intérieur d'un volume simple. Le jeu subtil sur les variations d'intensités lumineuses offre une perception de l'espace. L'exemple du pavillon d'exposition de Barcelone de Mies Van Der Rohe montre comment la lumière différencie des espaces interpénétrés. Ainsi, on remarque une division de l'espace par la lumière. La couleur claire des parois favorise la réflexion de la lumière, qui très homogène unifie l'espace. La présence d'un sol ou d'un plafond très réfléchissant, sur lequel la lumière s'étend facilement, peut également jouer un rôle essentiel dans l'accentuation de l'unité du local.

V.1. IMPORTANCE DE LA LUMIERE NATURELLE DANS LE BATIMENT

Tout au long de l'histoire, la lumière du jour a été un facteur déterminant dans la conception des bâtiments. Il est difficile de trouver une définition parfaite d'une pièce bien éclairée par la lumière du jour, mais une citation de Louis Kahn, l'un des plus grands architectes du XXe siècle, contribue à indiquer son importance: *"Je ne peux pas vraiment définir un espace comme un espace, à moins d'avoir de la lumière naturelle.... la lumière donne une ambiance à l'espace par des nuances au moment de la journée et de la saison de l'année en pénétrant tout en modifiant l'espace"* (L.Kahn in CIBSE 1999p. 1)



Fig I. 14: Kimbell Art Gallery in Fort Worth, Texas, designed by Louis Kahn.
Source: CIBSE 1999

La lumière naturelle est une énergie durable. Son utilisation pour l'éclairage des espaces bâtis est rentable tout en ayant des effets bénéfiques multiples. En effet, la lumière naturelle se trouve à la croisée de différentes exigences: les économies d'énergie, l'ergonomie visuelle (confort, sécurité), l'esthétique et la mise en valeur. Ces aspects ont suscité l'intérêt de plusieurs chercheurs, notamment dans le cadre du développement durable.

V.2. IMPORTANCE DE LA LUMIERE NATURELLE DANS LES BATIMENTS RESIDENTIELS

Contrairement aux bâtiments non résidentiels où il existe de nombreux arguments en faveur des avantages énergétiques des bâtiments bien éclairés, il y a peu de recherches sur les avantages énergétiques des bâtiments résidentiels bien éclairés par la lumière du jour. L'argument principal en faveur de bâtiments domestiques bien éclairés par la lumière du jour vient des préférences des occupants. Un espace bien éclairé est perçu comme plus sain, permet un plus grand contact avec le monde extérieur, et donc beaucoup plus ouvert. Un espace bien éclairé a besoin à la fois de niveaux d'éclairement adéquats et d'une lumière bien répartie. Dans certaines pièces, le niveau d'éclairement au fond baisse dramatiquement, à tel point que les occupants se sentent gênés.

Si la distribution de la lumière dans la pièce est mauvaise, l'éclairage électrique est susceptible d'être utilisé chaque fois que l'espace est occupé. Des caractéristiques telles que des étagères lumineuses, des vitrages prismatiques et des réflecteurs (lights shelves) plus élevés au plafond assureront une certaine redistribution de la lumière du jour vers le fond de la pièce. Cependant, la géométrie des obstructions extérieures, la hauteur du linteau de la fenêtre et la profondeur de la pièce peuvent avoir un effet prépondérant.

Le contraste entre les différentes zones de la pièce sera encore trop grand. « *La performance*

de la lumière naturelle qui pénètre à travers différentes dimensions et positions de la fenêtre doivent être étudiées, afin de faire en sorte que quantité suffisante de lumière soit reçue sans créer d'effets indésirables dans l'espace occupé » (Syed Husin et Hanur Harith, 2012, p197).

D'un autre côté, Bean déclare que: *"Si vous voulez que les gens regardent quelque chose en particulier, vous l'illuminez ; car lorsque quelqu'un entre dans une pièce, son attention est d'abord attirée vers l'objet le plus lumineux de cette pièce "* (Bean 2004, p.9). Hue. et.al, (2012, p. 54) mentionnent que la lumière naturelle réduit la consommation d'énergie dans les bâtiments, Poldma, (2009) parle de l'augmentation de la qualité de l'environnement intérieur et croit que l'aménagement intérieur, ou qualité intérieure, dépend directement de la façon dont la lumière entre dans les espaces et de leur conception. La lumière et son design est très importante pour la vie, *"nous sommes nés de la lumière ; les saisons se ressentent à travers la lumière. Nous ne connaissons que le monde tel qu'il est évoqué par la lumière...."* (Kahn mentionné dans Lawson, 2003, p. 24).

D'autre part, Lawson (2003, p. 6) mentionne qu'il est essentiel de comprendre la fonction de l'espace pour une lumière adéquate et la quantité de lumière pour avoir des sens visuels. Afin d'avoir un bon éclairage de l'espace conçu "la relation entre la lumière et l'espace intérieur est une dépendance mutuelle les uns des autres. Sans lumière, la forme, la couleur, la texture et l'échelle sont méconnaissables. En retour, l'espace capte la lumière - la reçoit, la façonne, la plie, la cache et la modèle " (Beever, 2006, p. 1). De plus, le facteur le plus important est la distribution de la lumière (Lindh, 2012, p. 17).

VI. MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE L'ECLAIRAGE NATUREL

VI.1. METHODES SIMPLIFIEES

Avant la large diffusion des outils de calculs informatiques, 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. Pour des raisons évidentes de simplification, ce sont généralement des valeurs ponctuelles ou des valeurs moyennes de facteur de lumière du jour qui sont calculées. Des coefficients de correction sont parfois utilisés pour tenir compte de certains paramètres tels que la transparence et l'encrassement du vitrage ou l'influence des obstructions extérieures. Il est à noter qu'une approche basée sur une grandeur relative telle que le facteur de lumière du jour n'évalue l'apport d'éclairage naturel que sous une distribution théorique des luminances du ciel conforme au modèle du

ciel couvert. Par conséquent, il ne faut pas perdre de vue que lorsque l'on compare des exigences exprimées par un facteur de lumière du jour, ces dernières sont élaborées pour une région connaissant des conditions climatiques bien particulières. (Les Dossiers du CSTC 18/3/2011)

VI.2. MODELES REDUITS

L'étude de l'apport d'éclairage naturel sur modèles réduits nécessite des infrastructures spécifiques (ciels et soleils artificiels) pour simuler l'éclairage naturel. 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.

VI.3. MODELES NUMERIQUES

Les logiciels de simulation informatique de l'éclairage ont connu et connaissent encore une évolution très rapide. Ces outils de modélisation numérique permettent de réaliser une géométrie en 3D des espaces et des objets, d'introduire différentes sources et de calculer ensuite la distribution de la lumière. Les logiciels les plus performants offrent également la possibilité de rendre des impressions visuelles photo réalistes. Grâce à l'intégration du calcul de l'éclairage artificiel et naturel, il est possible de réaliser, dès la phase de conception d'un projet, une estimation assez précise du potentiel d'économie d'énergie pour différents systèmes de gestion de l'éclairage électrique. La qualité d'une modélisation numérique dépend de différents éléments:

- la modélisation du ciel
- la caractérisation photométrique des matériaux
- la méthode de calcul utilisée
- la maîtrise du logiciel par l'utilisateur.

• **Modélisation du ciel** Vu l'extrême variabilité de la brillance (luminance) du ciel et du soleil en fonction des conditions météorologiques locales, quinze ciels normalisés ont été définis. Pour chacun d'eux, la Commission internationale de l'éclairage (CIE) a caractérisé la répartition des luminances sur la voûte céleste. Les quatre types de ciel le plus couramment

utilisés pour des études d'éclairage naturel sont: • le ciel uniforme • le ciel couvert • le ciel clair (sans soleil) • le ciel clair avec soleil. Le ciel couvert est utilisé pour déterminer le facteur de lumière du jour et représente, en réalité, des conditions de ciel entièrement voilé par des nuages élevés. Les différents logiciels permettent au minimum de modéliser un ciel couvert CIE. La méthode de calcul utilisée détermine la manière dont le ciel est modélisé (comme une vaste source de lumière en forme de dôme).

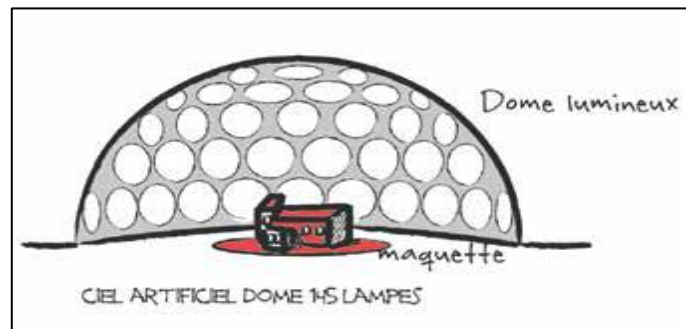


Fig I. 15: Ciel artificiel en forme de dôme
Source: ICEB 2014

La distribution des luminances est décrite soit par une relation mathématique en fonction de l'altitude et de l'angle d'orientation de chaque point, soit par un grand nombre de surfaces élémentaires ou 'disques' formant des sources de lumière à luminance constante. La modélisation du ciel ayant un impact considérable sur les résultats des simulations, il est important de bien comprendre et de bien contrôler ce paramètre.

- **Caractérisation photométrique des matériaux** La description précise des propriétés photométriques des surfaces est essentielle pour pouvoir déterminer correctement la distribution de la lumière dans un espace. La plupart des revêtements utilisés dans la construction se comportent comme des surfaces qui peuvent être considérées comme parfaitement diffuses. De telles surfaces réfléchissent la lumière dans toutes les directions et l'intensité du rayonnement réfléchi varie suivant le cosinus, de l'angle sortant mesuré par rapport à la direction normale (loi de Lambert). Pour ces surfaces, la distribution du rayonnement réfléchi est identique quelle que soit l'incidence du rayonnement. Les propriétés photométriques dépendent non seulement du matériau, mais aussi de la texture de sa surface. La rugosité d'une surface peut influencer fortement la distribution des rayons réfléchis. Il est bien connu qu'une pierre finement polie présente un aspect et une couleur différents qu'une même pierre dont la surface est brute. La plupart des logiciels considèrent toutes les surfaces du modèle comme parfaitement diffuses pour calculer la distribution de la lumière. Certains

intègrent toutefois la possibilité de définir la réflexion spéculaire de certains matériaux, ce qui permet, par exemple, de prendre en compte les effets de réflexion sur des surfaces très spéculaires (métaux).

- **Algorithmes de calcul pour la simulation informatique** En théorie, si on pouvait isoler un seul rayon de lumière, il serait parfaitement possible de ‘suivre’ son trajet depuis la source jusqu’à son atténuation totale due aux réflexions, transmissions et absorptions sur les différentes surfaces d’un environnement, et de simuler ainsi les phénomènes physiques en jeu. Cependant, la multitude de rayons lumineux rendent une parfaite simulation impossible à réaliser en pratique, car le temps et la puissance de calcul nécessaires pour évaluer les trajets individuels de chaque photon sont trop importants. C’est la raison pour laquelle des méthodes se basant sur des algorithmes de calcul spécifiques ont été développées afin d’obtenir des résultats dans des délais raisonnables. Les algorithmes les plus répandus utilisent la technique de radiosité ou du lancer de rayon. D’autres se basent sur la split flux formula. Il existe également des algorithmes combinés comme le photon mapping.

Méthode du Split flux formula Le premier algorithme, split flux formula, se base sur une méthode de calcul établie par le BRE (Building Research Establishment) initialement pour un calcul manuel. Cette méthode part du principe que l’éclairement global en un point défini résulte de trois composantes distinctes: la composante directe (sky component ou SC), la composante des réflexions sur les surfaces extérieures (externally reflected component ou ERC) et la composante des réflexions sur les surfaces intérieures (internally reflected component ou IRC). Chacune de ces composantes est calculée séparément. Elles sont ensuite additionnées pour obtenir l’éclairement global pour chaque point identifié.

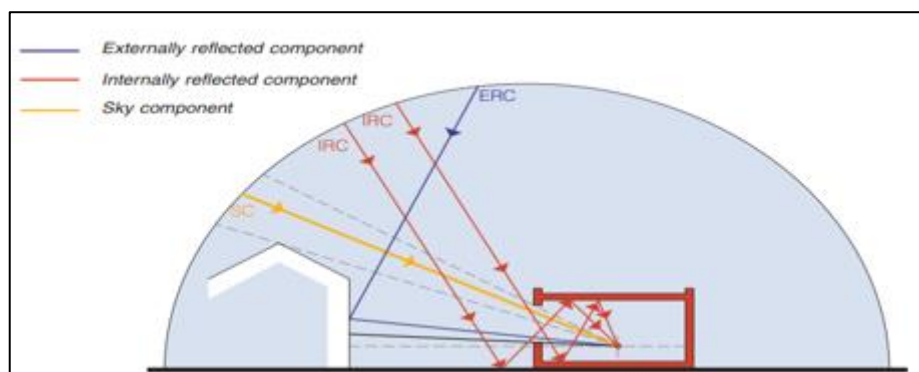


Fig I. 16: Composantes de la méthode split flux

Source: <https://www.researchgate.net/figure/4-de-lumiere-du-jour-a-lespace-interieur-par-lauteur-dapresconsulté le 2020.>

La composante des réflexions sur les surfaces intérieures est déterminée sur la base d’une

équation prenant en compte le coefficient moyen de réflexion des surfaces intérieures, la surface totale de vitrage et un coefficient de correction pour les obstructions extérieures. Vu ces approximations, les logiciels utilisant cette méthode de calcul surestiment ou sous-estiment (selon le cas) l'apport d'éclairage naturel. Il est d'ailleurs conseillé de n'utiliser cette méthode que pour des configurations d'espaces pour lesquelles les ouvertures sont parallèles aux surfaces des parois.

Méthode de Radiosité Les algorithmes de radiosité se basent sur une méthode de simulation par éléments finis développée à l'origine pour l'étude des transferts thermiques et fondée sur la loi de la conservation de l'énergie. Cette méthode implique la discrétisation par un maillage de toutes les surfaces d'une scène en surfaces élémentaires ou 'facettes'. Le bilan des flux de rayonnement émis et reçus depuis toutes les surfaces visibles dans l'environnement est établi pour chaque surface élémentaire. L'éclairement de chaque point du maillage est déterminé en additionnant les flux lumineux reçus depuis toutes les surfaces environnantes et la lumière émise par la surface élémentaire.

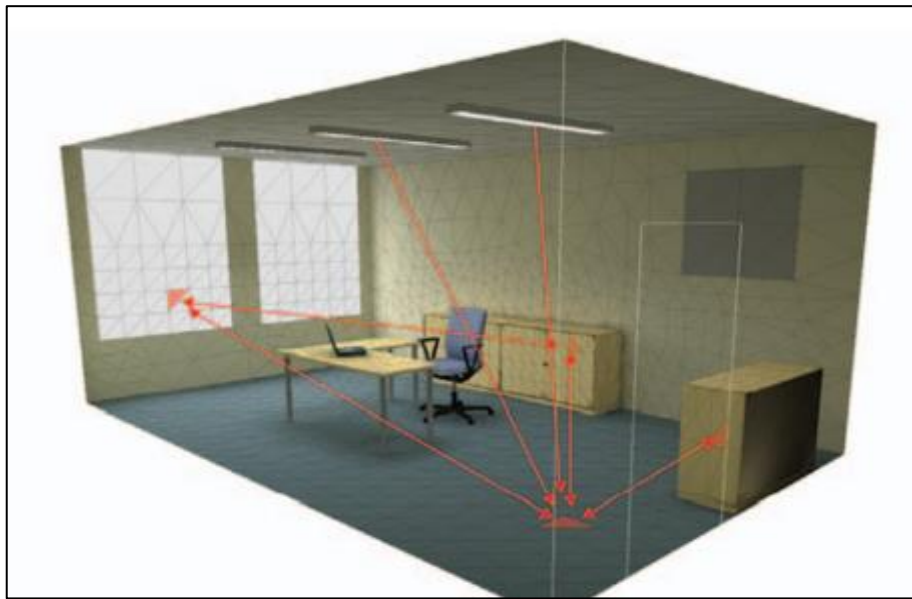


Fig I. 17: Principe de l'algorithme de radiosité
Source: (B. Deroisy, A. Deneyer 2011).

Les logiciels les plus avancés intègrent un module qui affine automatiquement le maillage autour des discontinuités pour optimiser les résultats. Dans la pratique, cette méthode de simulation est principalement utilisée par les logiciels développés pour la conception et le calcul de l'éclairage artificiel (Dialux, Relux, p. ex.). Ces applications informatiques intègrent, dans leurs versions récentes, la possibilité d'évaluer l'apport d'éclairage naturel,

indépendamment ou en combinaison avec un système d'éclairage électrique. (B. Deroisy, A.Deneyer 2011).

Méthode de Lancer de rayon (raytracing) Les algorithmes de lancer de rayon se basent sur une méthode de calcul des trajectoires d'un nombre important de rayons lumineux dans une scène. Chaque rayon interagit par réflexions, transmissions ou réfractions avec les différentes surfaces du modèle.

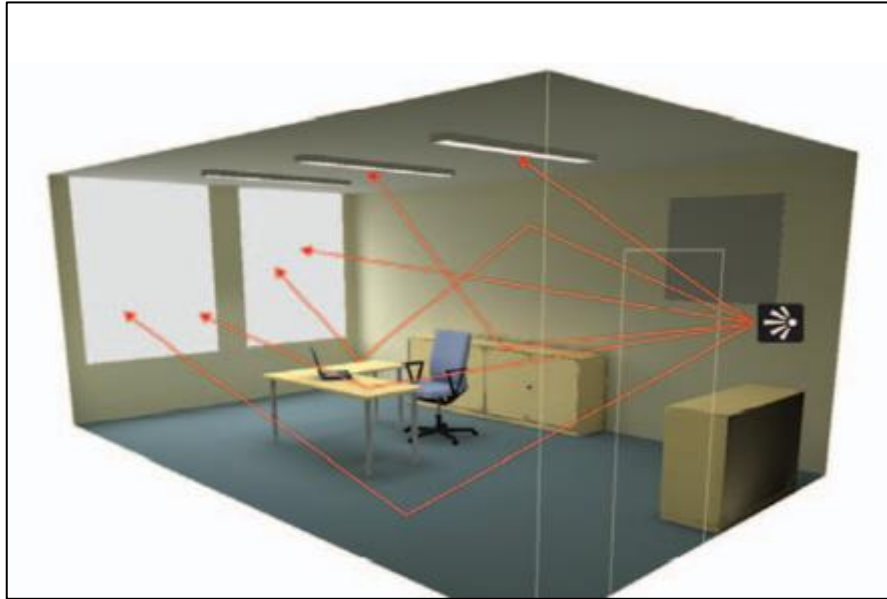


Fig I. 18: Principe de la méthode du lancer de rayon
Source:(B. Deroisy, A.Deneyer 2011).

Deux approches sont possibles: • le rayon est suivi depuis la source de lumière jusqu'à ce qu'il atteigne le point d'observation ou qu'il soit atténué (forward raytracing ou lancer de rayon direct) • le rayon de lumière est tracé depuis le point d'observation et suivi jusqu'à ce qu'il atteigne une source de lumière (backward raytracing ou lancer de rayon inverse). Le lancer de rayon inverse offre l'avantage de réduire le nombre de rayons à tracer puisque seuls ceux qui atteignent le point d'observation sont calculés. Par conséquent, un nombre limité des rayons de lumière réfléchis de manière diffuse entre les surfaces du modèle est calculé. Ainsi, en fonction des paramétrages utilisés, ces inter réflexions diffuses (composantes indirectes) ne sont pas toujours évaluées avec autant de précision. (B. Deroisy, A.Deneyer 2011).

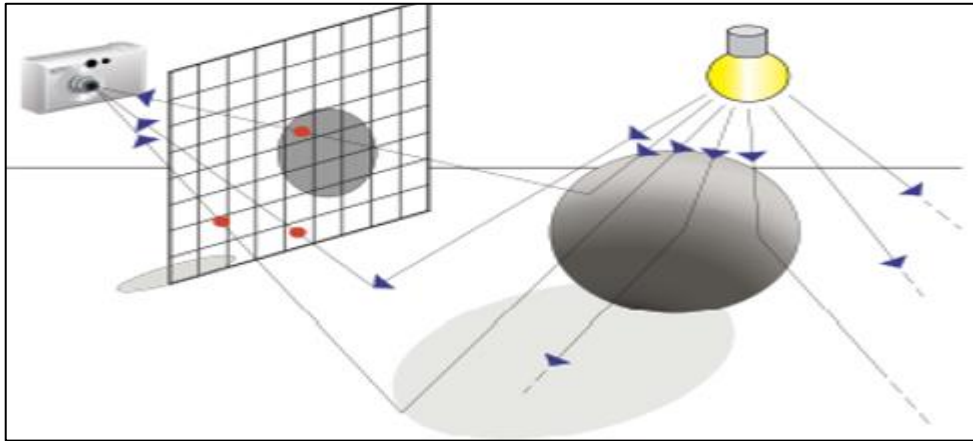


Fig I. 19 Principe de la méthode du lancer de rayon direct

Source: <https://www.researchgate.net/figure/Qualitative-illustration-of-the-ray-tracing-method-based-on-55> consulté le 20/04/2020

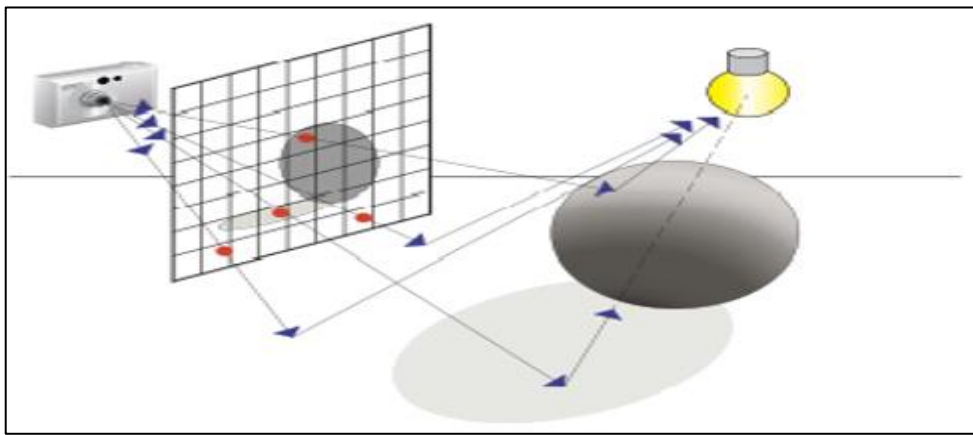


Fig I. 20: Principe de la méthode du lancer de rayon inverse

Source: <https://www.researchgate.net/figure/Qualitative-illustration-of-the-ray-tracing-method-based-on-55> consulté le 20/04/2020

Cette méthode est moins performante lorsque des sources lumineuses fortement masquées sont utilisées (puits de lumière étroit, p. ex.). A l'origine, les méthodes de simulation par lancer de rayon ont été développées pour la création d'images de synthèse. Si l'interface du logiciel le permet, cette technique autorise des simulations pour des configurations géométriques complexes incluant des composants modélisés avec beaucoup de détails. La complexité des paramétrages et le temps de calcul relativement long sont les principaux désavantages de la méthode du lancer de rayon.

Méthode de Photon mapping

Les développements les plus récents en matière de logiciels informatiques tentent d'atténuer les désavantages de chaque méthode de simulation en utilisant des algorithmes combinés. Les

algorithmes utilisant la technique du photon mapping sont des méthodes de simulation optimisées qui réalisent le calcul en deux phases. Un lancer de rayon direct combiné à une structure de stockage des données (photon map) est utilisé lors de la première étape. La seconde étape consiste en un lancer de rayon inverse. Un photon map est comme une cartographie mémorisant l'apport de lumière de premier ordre reçu par toutes les surfaces d'un espace et sert à affiner la prise en compte des multiples inter réflexions de lumière dans une scène lors de la seconde étape du calcul.

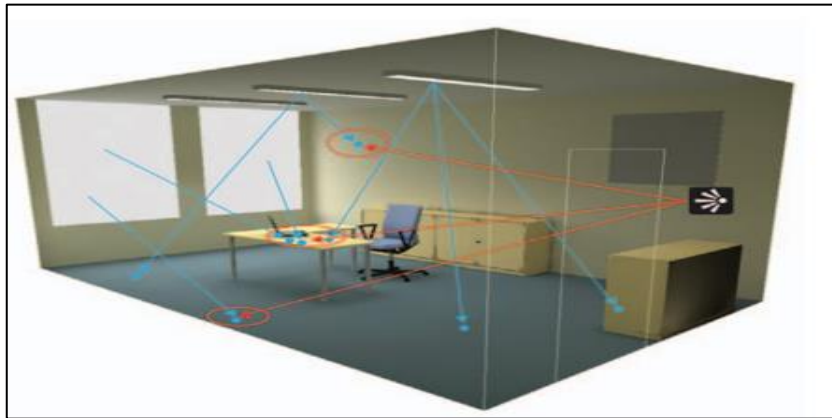


Fig I. 21: Principe de la méthode du photo mapping

Source: (B. Deroisy, A.Deneyer 2011).

Cette méthode, en fonction des paramétrages utilisés ainsi que du type configuration, donne généralement les résultats les plus satisfaisants. Elle permet également de calculer et de visualiser des effets optiques complexes tels que la réfraction par des surfaces courbes ou la diffusion à travers des matériaux translucides minces. Le photon mapping, comme d'autres méthodes de simulations combinées, est un moyen d'évaluer l'éclairage naturel dans un espace avec un bon degré de précision et dans un temps de calcul raisonnable. (B. Deroisy, A.Deneyer 2011).



Fig I. 22: Différentes techniques du lancer de rayons

Source: Per H Christensen

VII. EXIGENCES ET DIRECTIVES (REGLEMENTATION) DE LA LUMIERE DU JOUR DANS LES IMMEUBLES RESIDENTIELS.

Les exigences et directives concernant la lumière du jour dans les bâtiments varient beaucoup d'un pays à l'autre. Une exigence couramment utilisée est qu'un niveau minimum de facteur de lumière du jour soit contrôlé en utilisant une méthode qui compare souvent la surface vitrée de la fenêtre avec la surface au sol. Une autre exigence qui est commune mais qui n'existe pas dans tous les pays sont les exigences sur la vue à l'extérieur. Quelques exigences et directives concernant la lumière du jour dans les bâtiments résidentiels en Algérie, Grande-Bretagne, USA, et en Allemagne, sont présentées ci- dessous:

VII.1. EN ALGERIE:

Selon le Journal Officiel, dans les immeubles d'habitation, la moitié au moins des façades percées de baies servant à l'éclairage des pièces principales, doit bénéficier d'un ensoleillement de deux heures par jour pendant au moins deux cents jours par année. Lorsque plus de la moitié des façades percées de baies est mal exposée, l'ensemble de l'immeuble doit être classé très mauvais.

La réglementation Algérienne ne donne pas de valeurs en matière d'éclairage dans pour les bâtiments à usage résidentiels, les documents sont rares et se résument dans ce texte législatif: 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.)

Le décret 91/175 du 28 mai 1991 stipule que:

- Dans une même propriété, les bâtiments projetés doivent être implantés dans des conditions telles que les baies éclairant les pièces d'habitation ne soient masquées par aucune partie d'immeuble vue sous l'angle de plus de 45° au-dessus du plan horizontal considéré à l'appui de ces baies. Cet angle peut être porté à 60° pour la façade la moins éclairée à condition que la moitié au plus, des pièces habitables prennent jour sur cette façade.

VII.2. AU ROYAUME-UNI:

Les recommandations concernant la lumière du jour dans les bâtiments domestiques se trouvent dans les British Standards on Lighting, en particulier la partie sur l'éclairage naturel, dans les publications de la CIBSE et dans les publications du BRE.

- La hauteur du plan de travail fixée à (0, 85 m). Si la zone au-delà de la ligne sans ciel est supérieure à 50 %, la pièce aura l'air sombre ;

- Pour mettre la première recommandation en contexte, une pièce avec un facteur de lumière du jour moyen FLJ_{moy} de plus de 5% est considérée comme éclairée par la lumière du jour, c'est-à-dire que l'éclairage électrique serait rarement utilisé pendant les matinées, mais en dessous de 2% l'éclairage électrique serait fréquemment utilisé. Les exigences sont donc minimales. (M.P. Wilson ; L. Brotas. 2001). L'orientation n'est pas considérée. Les facteurs d'orientation peuvent cependant être utilisés pour refléter les niveaux d'éclairement plus élevés sur la façade sud. Au Royaume-Uni, les droits de lumière protègent légalement les individus contre les opérations de construire ou d'agrandissement des propriétés voisines pouvant affecter leur éclairage naturel.

VII.3. EN ALLEMAGNE:

En Allemagne, le facteur de lumière du jour dans les bâtiments résidentiels est mesuré dans les pièces où les utilisateurs passent plus de temps. Le facteur de lumière du jour est mesuré en deux points situés à la moitié de la profondeur de la pièce, à un mètre des parois latérales et à 0, 85 mètre du sol. La valeur moyenne de ces points doit être d'au moins 0, 9 % et le point le moins favorable doit avoir un facteur de lumière du jour minimum de 0, 75 %. Selon les normes DIN ; les quantités de lumière nécessaires dans les bâtiments résidentiels sont les

suivantes:

Tab I. 4: Exigences d'éclairage pour les normes DIN logement
Source: E. Neufert, 1983

Espace: l'activité réalisée	Escalier	Salle à manger	Salon	Bureau	Chambre d'enfant	Cuisine
Eclairage: Emoy (Lux)	60	120-250	120-250	120-250	120-250	250

VII.4. AUX ETATS UNIS:

L'Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) fournit des recommandations claires pour des niveaux d'éclairage adéquats en fonction des types d'espaces résidentiels et des activités. Par conséquent, l'utilisation de la lumière du jour dans l'architecture résidentielle doit être stratégique pour maximiser ses potentiels positifs, comme l'humeur et la productivité des occupants. (M.P. Wilson and L. Brotas. 2001, p 27-32, 13 15).

Tab I. 5: Eclairage recommandés pour l'architecture résidentielle selon la société des ingénieurs en éclairage d'Amérique du nord
Source: IESNA (2000)

Type d'activité	Eclairage
Espaces publics	30 Lux
Simple orientation pour courtes visites	50 Lux
Espaces de travail pour tâches visuelles simples	100 Lux
Réalisation de tâches visuelles à contraste élevé et de grandes tailles	300 Lux
Réalisation de tâches visuelles à contraste élevé et de petites tailles	500 Lux
Réalisation de tâches visuelles à faible contraste et de petites tailles	1000 Lux

Mardaljevic et ses collaborateurs ont proposé une plage d'éclairage utile en lumière du jour de 100 à 2000 lux qui vise à définir les limites des conditions d'éclairage dans lesquelles un espace sera perçu comme ni trop sombre ni trop lumineux. Dans une publication ultérieure, le seuil supérieur a été modifié à 3000lux. Cependant, une définition claire d'un seuil d'éclairage supérieur comme indicateur d'éblouissement reste difficile, car la perception de l'éblouissement dépend largement de la taille, de l'emplacement et la luminance des sources lumineuses dans le champ de vision de l'occupant ainsi que la subjectivité de l'utilisateur. (Mardaljevic, J. ; Andersen M. ; Roy, N. 2011).

CONCLUSION

La lumière naturelle s'impose comme un levier essentiel pour optimiser à la fois l'efficacité énergétique et le confort des espaces résidentiels. Plus qu'un simple apport lumineux, elle structure l'espace et améliore la qualité de vie des occupants. Comme l'ont précisé S.Husin et H.Harith (2012), son intégration nécessite une réflexion fine sur l'orientation et les matériaux.

Les solutions proposées dans ce contexte, telles que l'orientation stratégique des fenêtres, l'utilisation de puits de lumière, et l'application de matériaux réfléchissants, révèlent qu'une optimisation soignée de la lumière naturelle peut transformer les espaces résidentiels. En ajustant ces paramètres, il est possible d'améliorer considérablement la performance lumineuse des pièces, d'accroître le bien-être des occupants et de réduire l'empreinte énergétique du bâtiment. Par exemple, une étude menée par Heschong (2002) montre que l'exposition à la lumière naturelle améliore la productivité et réduit la consommation énergétique liée à l'éclairage artificiel.

De plus, cette approche s'inscrit dans une démarche durable, car elle permet d'exploiter une ressource gratuite et renouvelable, tout en limitant la dépendance aux sources d'énergie non renouvelables (Boyce, 2014). L'optimisation de la lumière naturelle, en tant qu'outil de conception, permet ainsi d'offrir un cadre de vie plus confortable, en favorisant la santé physique et mentale des résidents. Cela inclut la réduction des risques liés à la dépression saisonnière et l'amélioration de la qualité de vie, comme le souligne la recherche de Witmer et al. (2016) sur l'impact psychologique de l'exposition à la lumière du jour.

Chapitre II
Les fenêtres dans les espaces domestiques

INTRODUCTION

La fenêtre, objet central de cette étude, joue un rôle clé dans la composition et la conception architecturale d'un bâtiment résidentiel. Essentielle au bon fonctionnement de l'édifice, elle contribue également à la qualité de l'espace intérieur. Les ouvertures façonnent les interactions entre les occupants d'un bâtiment et leur environnement. C'est l'un des éléments clef de l'architecture bioclimatique et solaire.

Les premières utilisations de la lumière naturelle remontent à des temps primitifs, lorsque les rayons du soleil pénétraient l'obscurité des grottes. Depuis, la lumière naturelle a été la principale source d'éclairage, avec des degrés de contrôle divers, dans différents types d'abris créés par l'homme pour améliorer ses conditions de vie. Le positionnement intuitif et artistique des ouvertures, permettant à la lumière de sculpter les espaces, a conféré à ces derniers un caractère unique. La lumière du jour, chargée de significations symboliques, joue un rôle important dans la manière dont elle pénètre et transforme les espaces, projetant ombres et contrastes sur les surfaces.

I. ÉVOLUTION HISTORIQUE DE LA FENETRE A L'INTERIEUR DES BATIMENTS.

L'évolution des fenêtres à l'intérieur des bâtiments a progressé depuis les petites ouvertures médiévales à des structures plus larges et lumineuses à partir de la Renaissance, grâce à l'amélioration du verre. L'industrialisation du XIXe siècle a permis des fenêtres plus grandes et légères, intégrant de nouveaux matériaux comme l'acier. Au XXe siècle, elles deviennent des éléments centraux du design moderne, favorisant lumière et vue extérieure (Frampton, 2007).

I.1. LA FENETRE DANS L'ARCHITECTURE OCCIDENTALE.

La fenêtre est une ouverture dans un mur ou un côté d'un bâtiment qui laisse passer la lumière et souvent de l'air à l'intérieur. Les premières fenêtres ont été développées avant l'introduction du verre, de sorte qu'au départ, les fenêtres étaient laissées ouvertes à l'atmosphère extérieure ou remplies d'une forme de fermeture pour minimiser la perte de chaleur la nuit. Les bâtiments les plus sophistiqués auraient eu des plaques minces de marbre, de mica ou de papier huilé à cette fin. (P, Derek. 2004).

A l'époque médiévale, des volets en bois étaient installés à l'intérieur, et ceux-ci étaient laissés

ouverts ou fermés pour réguler la lumière et l'air. Avec l'introduction du verre, d'abord utilisé dans les petites vitres de l'architecture romaine, la fenêtre telle que nous la connaissons aujourd'hui a eu ses débuts. Le concept de petites vitres de verre, divisées par des divisions en bronze ou plus tard en plomb, tel qu'il est utilisé dans les premiers bâtiments, meurt et les fabricants de fenêtres offrent encore ces dernières comme alternatives aux fenêtres entièrement vitrées dans les nouveaux travaux domestiques, aussi inappropriées qu'elles puissent paraître.

Les fenêtres peuvent être divisées en deux types principaux, d'abord l'ensemble de fenêtres dans les murs latéraux d'un bâtiment, et ensuite l'ensemble d'ouverture dans le toit, généralement connu sous le nom de lanterneau. La pénétration de la lumière du jour par les fenêtres latérales dépendra de la hauteur du plafond, et dans les premiers bâtiments où la hauteur du plafond était faible, la pénétration de la lumière du jour dans le bâtiment était sévèrement limitée. Avec la conception des maisons importantes des XVII^e et XVIII^e siècles, la hauteur du plafond a été augmentée et la lumière du jour a pu pénétrer davantage dans les espaces intérieurs.

Les illustrations de certains types de fenêtres indiquent la variété des formes de fenêtres qui ont évolué au fil des siècles et qui se sont installées sur les côtés verticaux des bâtiments. La fenêtre horizontale est peut-être la plus connue de toutes, en commençant comme à l'époque médiévale, limitée par les méthodes de construction de l'époque. Elle est encore très utilisée dans l'architecture domestique d'aujourd'hui. (P, Derek. 2004).

Un développement logique de la fenêtre horizontale étendue est la fenêtre du sol au plafond ; à mesure que les techniques structurelles se sont perfectionnées, ce type de fenêtre est devenu presque universel dans certains types de programmes architecturaux comme les bureaux. Les années 1930 ont vu l'innovation de la fenêtre d'angle enveloppante à mesure que d'autres techniques structurelles étaient rendues possibles. Enfin et sans ordre chronologique vient la fenêtre verticale.

Les fenêtres verticales étaient populaires à partir du XIV^e siècle, connaissant peut-être leur période la plus glorieuse au XVIII^e siècle, lorsque la fenêtre géorgienne avec ses détails sophistiqués était presque universelle. De hautes fenêtres, séparées par la maçonnerie à intervalles réguliers, constituaient une solution structurelle simple et constituèrent le modèle de développement des bâtiments résidentiels et autres pendant plusieurs siècles.



Fig II. 1: illustrant trois approches de fenestration
Source:P, Derek. 2004.

Les illustrations de ces bâtiments (figure n°II.1) indiquent trois approches différentes de la fenestration. Tous les bâtiments sont du XXe siècle. La première, à gauche, montre les fenêtres séparées plus traditionnelles, tandis que celle du milieu est un exemple de fenêtre horizontale continue, où les différents étages sont exprimés sous forme de bandes horizontales importantes. Le bâtiment de droite est le développement ultérieur où la fenêtre devient une partie secondaire du revêtement extérieur, pour une façade entièrement vitrée.

Au début du 20e siècle, les architectes tentent de manière différente, mais avec un objectif commun, de créer une nouvelle architecture ouverte qui offre à l'homme la lumière, l'air et le soleil. « *Belle est une maison qui respecte notre joie de vivre, celle-ci exige lumière, air mouvement, ouverture* » (G.Staib, C.Schittich, D.Balkow, W.Sobek, M.Kuttrerr, M.Schuler, 2001, p 31.). La notion même d'architecture s'était profondément modifiée ; elle n'était plus l'art de bâtir tel défini primitivement, elle était devenue un exercice plastique ou encore, pour reprendre une célèbre citation de Le Corbusier « *c'est le jeu savant, correct et magnifique des formes sous la lumière* » (Le Corbusier, 1977). On voit dès lors la fenêtre s'allonger en forme de ruban, occuper toute la façade et envelopper complètement l'édifice, pour réaliser l'idéal de l'architecture en verre rêvé dans les années 1920.

Le groupe De Stijl de son côté a développé ses idées sur l'unité de la maison et l'interpénétration des surfaces verticales et horizontales. La maison Schröder construite par Gerrit Rietveld en 1924 est l'illustration de ces idées d'une manière éclatante. Mies van der Rohe, pour sa part a exploité toutes les possibilités structurelles du béton armé en faveur de la

libération des espaces intérieurs extérieurs, notamment dans son projet de gratte-ciel transparent en 1922.

Désormais les nouvelles possibilités de l'acier et béton armé permettent de construire des linteaux de grandes portées, Les fenêtres pourront alors s'allonger horizontalement pour devenir des grandes « *baies panoramiques* » (M. FOURA, 2005, p186.).

Libérée des liens de la forme par les nouvelles techniques et encore plus par la conception des nouveaux modèles de vie, la fenêtre peut devenir aujourd'hui ce qu'elle est réellement: l'ouverture de la maison sur le soleil, l'air et le reste du monde.



Fig II. 2: La villa savoye
Source: Gérard Monnier, 1991

La villa Savoye: construite en 1931, au sommet d'une colline, à Poissy, à l'ouest de Paris. L'architecte y applique les « cinq points d'une architecture nouvelle », énoncés en 1927.



Fig II. 3: La maison de verre.
Source: (G.Staib, C.Schittich, D.Balkow, W.Sobek, M.Kuttrerr, M.Schuler, 2001)

La maison de verre ou maison de Johnson, construite en 1949 à New Canaan, dans le Connecticut aux Etats-Unis, a été conçu par Philip Johnson et son collaborateur Richard

Foster, comme sa résidence principale.

Dans les années 70, la crise pétrolière, induit une augmentation du prix des énergies, la nécessité d'une nouvelle architecture devient incontournable. Cette architecture devra réapprendre les leçons du passé, qui prônent l'utilisation de ressources disponibles sur site et ceci de façon rationnelle» (G.Staib, C.Schittich, D.Balkow, W.Sobek, M.Kuttermann, M.Schuler, 2001, p55).

A la fin des années 70, Mike Davies mène conjointement avec Richard Rogers une étude sur le verre. Ils y développent l'idée d'un mur dynamique (mur intelligent) qui, selon les besoins de son utilisateur, peut être tout à la fois protection solaire et obstacle à la déperdition de chaleur, réfléchit la chaleur ou la laisse pénétrer, s'ouvre ou se ferme (Id, p56).

- Le mur polyvalent: qui est tour à tour opaque ou transparent. Doit envoyer de manière dynamique le flux énergétique vers l'intérieur ou l'extérieur en fonction des conditions présentes et régler la luminosité à l'intérieur de la maison selon les besoins.

Richard Rogers fait appel pour le bâtiment de Lloyds de Londres à une autre conception, la façade à double paroi en éléments préfabriqués de la hauteur d'un étage fait également office de système de ventilation: l'air.

- Façade à double paroi: les murs à réaction dynamique sont le plus souvent des façades à double paroi qui peuvent, sans faire appel à des technologies supplémentaires, faire fonction d'espaces tampons atténuant les déperditions de chaleur. Ils permettent également l'intégration aisée et à l'abri du vent, d'une protection solaire efficace.

I.2. LA FENETRE DANS L'ARCHITECTURE ISLAMIQUE

Le monde musulman s'étend sur une importante étendue de terre, et comporte de ce fait des cultures et des climats divers ; malgré toutes ces dissemblances, il reste une constante dans cette architecture: l'absence ou quasi absence de la façade extérieure, Henri Stierlin souligne à ce sujet: « nous verrons qu'il s'agit là d'une caractéristique de l'art islamique: il n'est pas fait pour la « galerie », pour l'apparat » (H. Stierlin, 1979, p 48).

Pour des raisons sociales, mais surtout climatiques, l'ouverture devait être discrète et indirecte, le soleil qui règne dans ces pays, impose un parti pris, où l'ombre et la lumière se distribuent d'une façon étudiée. Les architectes n'ont pas manqué de génie dans l'étude de la protection du soleil et les innovations proliférèrent parmi elles: le moucharabieh.

❖ Dans l'époque Omeyyade, l'ouverture était imprégnée par l'architecture gréco-romaine.

Cela n'a pas empêché la façade de rester interne et donner sur cour.



Fig II. 4: Vue intérieure de la mosquée de Damas.
Source: H. Stierlin, 1979

Le portique reçoit une lumière réfractée par la cour, qui ne cause aucune gêne pour la visibilité, favorisant le phénomène d'adaptation.

❖ **L'architecture Abbaside** marque le déclin de l'influence occidentale gréco-romaine, au profit de pensées issues de la Mésopotamie. Elle se veut spirituelle et opte donc pour une pureté et simplicité des formes. Une des mosquées les plus représentatives de cette période est la mosquée d'Ibn Touloun, l'étude de la lumière est assez novatrice, en effet la salle de prière reçoit la lumière par deux types de fenêtres chamsiyat et kamariyat (solaire et lunaire), le but étant de mieux répartir la lumière à l'intérieur.



Fig II. 5: Chamsiyat de la Mosquée « Ibn Touloun »
Source: El-Ahram Hebdo (03/12/2003).

La période **Ottomane** était riche d'enseignement dans le domaine de la lumière, en effet pour Sinan l'architecte emblématique de cette période) l'église de la Sainte Sophie fut une source d'inspiration, qu'il a reproduit et perfectionné. Il y a cependant des différences dans le traitement de la lumière, Henri Stierlin avance: « *Sur le plan de l'éclairage, là où les*

byzantins recherchaient une clarté mystique tombant de la coupole..., Sinan préfère une lumière égale, baignant tout l'espace de manière unie, nette et cristalline »(H. Stierlin, 1979, p220). D'ailleurs dans la Suleymanié, Sinan multiplie les ouvertures et perce la coque à tous les niveaux.

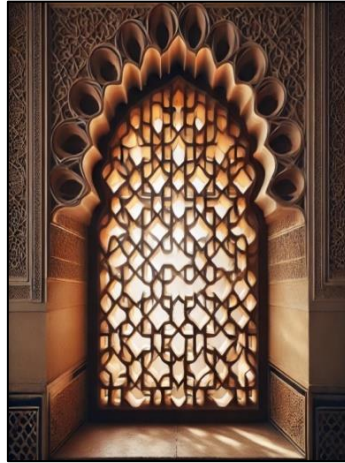


Fig II. 6: Fenêtre à claustra du palais de l'Aljaferia
Source: H.Stierlin, 1979

L'Andalousie: L'Espagne musulmane, elle aussi n'a pas manqué d'imagination dans le domaine de la maîtrise de la lumière, les exemples ci-dessous l'illustrent bien: Cette fenêtre jumelée de l'Aljaferia de Saragosse orne ses deux baies à arcs outrepassés d'un fin réseau qui tamise la lumière.

Ici les bains arabes de Grenade: pour éviter toute déperdition de chaleur et donner aux salles un éclairage tamisé, les voûtes que supportent des arcades sur colonnettes sont pourvues de jours que ferment des lames de verre ou des culs- de-bouteilles.

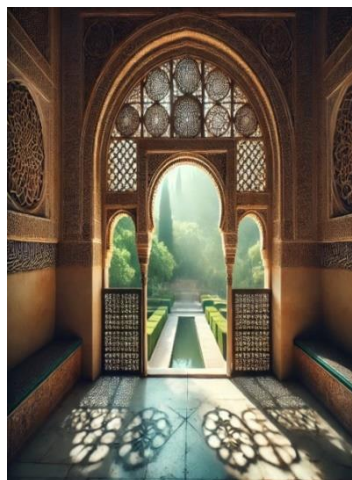


Fig II. 7: Vue intérieure sur les bains de Grenade.
Source: H.Stierlin, 1979

L'architecture yéménite comporte des exemples de percement parmi les plus sophistiqués. Un type largement répandu se compose d'une fenêtre, relativement vaste et basse, s'ouvrant au ras des banquettes placées tout autour de la pièce de séjour, ce qui permet aux occupants de jouir assis de la lumière et de la vue: cette fenêtre est munie traditionnellement d'un volet-auvent de bois (et parfois, depuis ces dernières années, de battants vitrés).

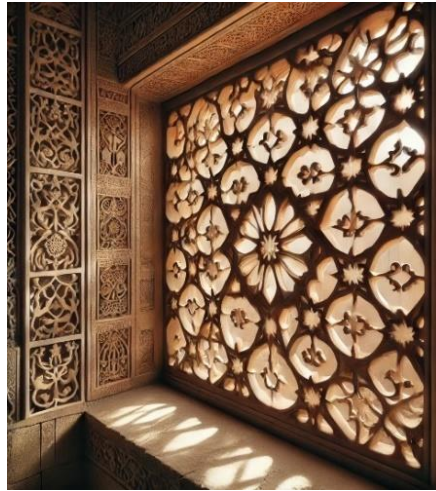


Fig II. 8: Le percement yéménite
Source: G et J-M. Alexandroff, 1982.

Au-dessus de cette ouverture majeure, des vitraux colorés sertis dans un double écran de plâtre, assurent à la pièce une pénombre gaie lorsque les volets sont clos ; enfin, d'étroites fentes verticales pratiquées entre les fenêtres, ou parfois en partie haute, assurent à volonté un supplément d'aération. Les variantes sont innombrables dans cette architecture: les ventilations se différencient selon l'orientation des pièces et même de chaque mur d'une même pièce. Des dispositions exceptionnelles, poétiques ou fonctionnelles, enrichissent encore ces admirables gammes et portent au suprême degré l'association de l'invention pratique et de la perfection architecturale (G et J-M. Alexandroff, 1982, p49).

Le moucharabieh:

C'est l'une des créations architecturales musulmanes les plus connues, mais aussi la plus en corrélation avec le climat. Les moucharabiehs sont des grillages en bois, elles assurent la ventilation, l'intimité, tamisent et adoucissent la lumière. Elles combinent donc protection solaire avec aération, en effet le jour elles laissent pénétrer la lumière et l'air, mais pas le soleil.

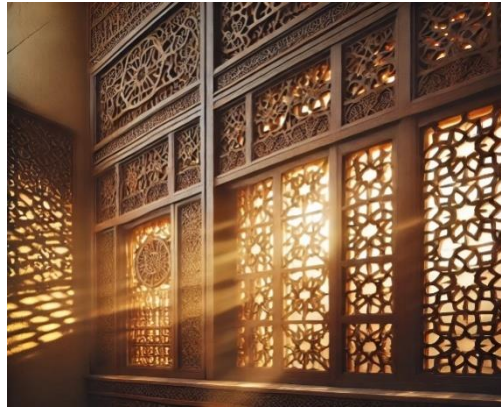


Fig II. 9: Les différents types de protection du soleil.
Source: G et J-M. Alexandroff, 1982.

Les fenêtres des habitations traditionnelles des Émirats arabes unis diffèrent des fenêtres contemporaines dans la mesure où elles n'ont pas de vitrage ; mais sont toujours ouvertes sur l'environnement extérieur. En raison de la température élevée de la région, cette caractéristique a bien contribué à favoriser la ventilation naturelle à travers l'espace.

Par conséquent, toutes les ouvertures dans les habitations traditionnelles avaient une double fonction de ventilation et d'éclairage naturel de l'espace. Au lieu du vitrage, les gens utilisaient des barreaudages de fer, des ornements en plâtre et des volets en bois pour couvrir la fenêtre, pour plus d'intimité, de sécurité et pour réduire la quantité de lumière naturelle entrant dans l'espace. Les fenêtres peuvent être classées en quatre groupes principaux:

- **Type de fenêtre** appelé dreeshah dans le dialecte local des Émirats arabes unis. Ce type est utilisé pour l'espace de rassemblement pour hommes (majlis). Elle est généralement plus grande que la taille normale de la fenêtre. Elle est couverte de l'extérieur par des rails en fer pour des raisons de sécurité et fermée de l'intérieur par des volets en bois. On les retrouve aussi bien dans les murs extérieurs que dans les murs intérieurs ouvrant sur la cour.

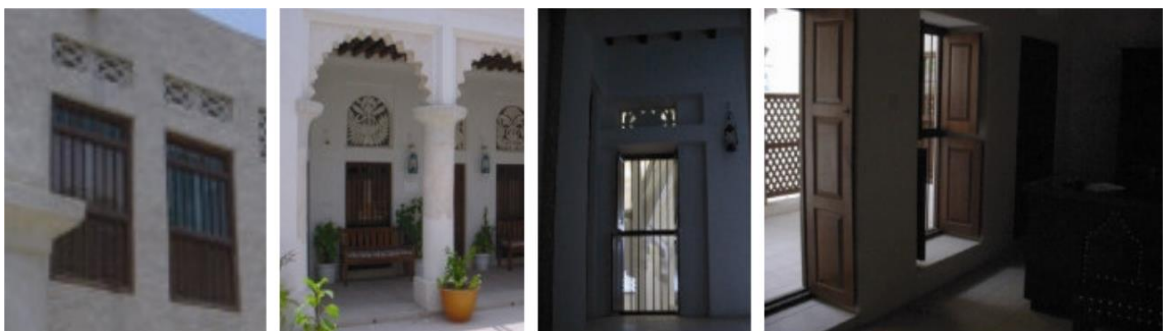


Fig II. 10: Type de fenêtre ; Dreeshah
Source: M. M. Alnuaimi ;2007

- **Type de fenêtre** appelé mesbah qui est utilisée à la fois pour les pièces communes et les chambres. Ils sont principalement situés dans la partie supérieure du mur et sont plus petits que la taille habituelle des fenêtres. Ce type d'ouverture de fenêtre est soit recouverte d'ornementations en gypse, soit de barres de fer comme on peut le voir sur la Fig n°II.11 La taille varie en fonction de la superficie de la pièce et de son emplacement.



Fig II. 11: type de fenêtre Mesbah
Source: M. M. Alnuaimi ;2007

- **La tour éolienne** ; appelé barjeel est l'élément architectural le plus distinctif. Il se compose de quatre côtés ouverts, chacun creusé en forme de V concave qui dévie le vent vers le bas, refroidissant ainsi les pièces situées en dessous. L'eau jetée sur le sol sous la tour refroidit la maison en s'évaporant. Principalement pour des raisons d'intimité, les chambres ont tendance à avoir un nombre minimal de fenêtres. La lumière entre par le barjeel et les fenêtres situées au niveau supérieur de la pièce (Fig.n°II.12).

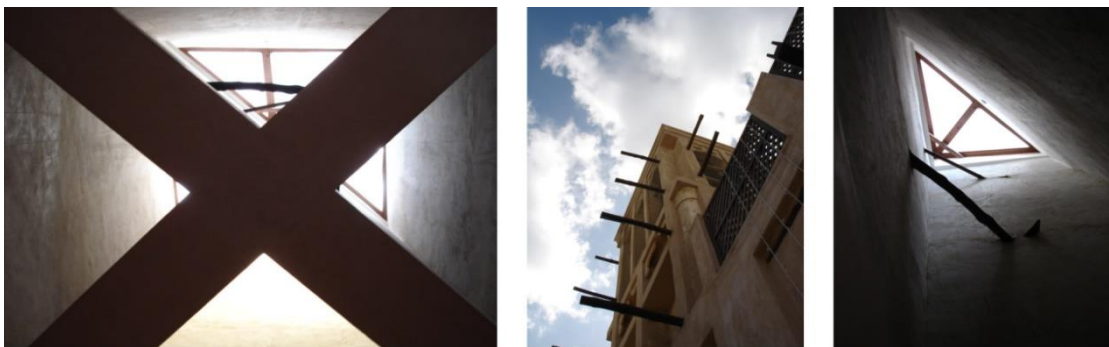


Fig II. 12: la tour éolienne; Barje
Source: M. M. Alnuaimi ;2007

- **L'extracteur d'air** (masgat) illustré à la Fig.n°II.13 est un type d'ouverture principalement utilisé pour les zones de circulation ainsi que pour les salles communes ; le majlis et la zone de rassemblement familial. Il est encastré dans le mur depuis l'extérieur, de sorte que des ombres sont projetées dans la partie encastrée, provoquant une réduction de la température à proximité, provoquant ainsi un courant d'air dans la pièce.



Fig II. 13: l'extracteur d'air; Masga
Source: M. M. Alnuaimi ;2007

I.3. LA FENÊTRE DANS L'ARCHITECTURE MAGHREBINE

L'architecture maghrébine a subi l'influence considérable de l'école ottomane, ses innovations sont restreintes, dans ces pays où la lumière est vive, le portique sert à réfracter la lumière, les fenêtres ajourées renforcent cela, ainsi la lumière qui pénètre est douce.

Afin de cerner au mieux les caractéristiques de la fenêtre dans la culture islamique nord-africaine, focalisons-nous sur la structure intérieure de la maison et son organisation spatiale.

Les maisons des villes islamiques sont enclavées, percées d'un seul côté par une porte, donnant sur un espace semi-privé clos. (I.Didi, 2013).

De l'intérieur, la maison s'organise selon un « système introverti » (D.Grandet cité dans I.Didi, 2013; p 35): les espaces s'ouvrent sur un patio « *westeddar* » et non sur l'extérieur. Cela est sans doute dû à la notion d'intimité, présente dans les sociétés orientales musulmanes. Le patio est l'élément autour duquel s'organisent tous les espaces de la maison. Il est entouré de galeries qui permettent d'accéder aux pièces, définissant ainsi une hiérarchie des espaces.

De ce fait, le mur qui sépare entre les pièces du patio devient une façade, percée d'ouvertures (porte et fenêtres) et portant parfois des motifs décoratifs.

Ainsi la fenêtre s'ouvre sur un espace collectif privé, et non sur un espace public. Du coup, elle n'exprime pas les mêmes dualités que dans la culture occidentale: à l'opposé de cette dernière, la fenêtre dans la maison arabo-musulmane s'ouvre toujours sur un espace intérieur calme. Et même lorsqu'il s'agit d'observer les scènes du quotidien à travers la fenêtre, on ne voit que les scènes de ménage au sein du cadre familial restreint...

« Toutefois, une autre fonction lui est accordée outre l'éclairage et l'aération: grâce à l'épaisseur des murs Des maisons « dû au matériau de construction » et à la hauteur faible des fenêtres, celle-ci deviennent une sorte de sièges, faisant office d'un meuble supplémentaire. Elles sont également dotées de barreaux de fer à l'extérieur, pour empêcher

les personnes assises au bord de la fenêtre, notamment les enfants, de tomber » (Ministère des Affaires Culturelles. (2011). *L'architecture algérienne/Série Art et Culture*. Société Nationale de l'Édition et de la Distribution.)

« A l'époque turque, dans certains cas, elles sont entourées de faïence qui, non seulement servait de décor, mais avait également un rôle hygiénique: il rendait le nettoyage des fenêtres plus facile et pratique. Du fait de leur ouverture sur le patio, on pouvait s'asseoir par terre près des fenêtres, sur des tapis ou des fauteuils » (Ministère des Affaires Culturelles. (2011). *L'architecture algérienne/Série Art et Culture*. Société Nationale de l'Édition et de la Distribution.).

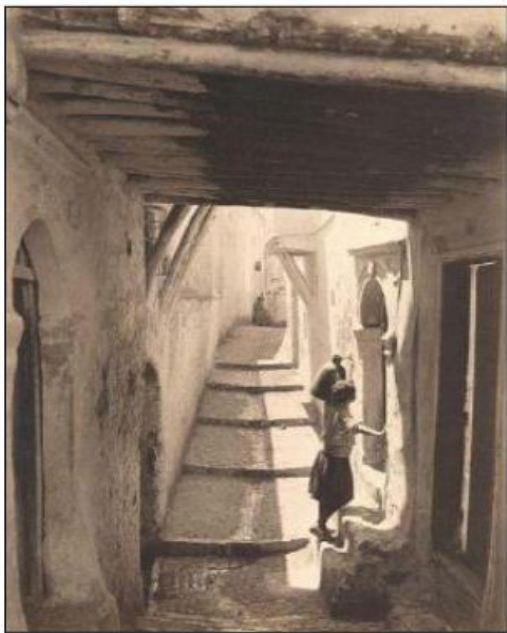


Fig II. 14: Une ruelle de Casbah d'Alger, Algérie
Source: I.Didi, 2013



Fig II. 15: Fenêtre de l'époque turque, entourée de faïence
Source: I.Didi, 2013

I.4. LA FENETRE EN ALGERIE

Dans le paysage architectural algérien, les fenêtres occupent une place prépondérante, tant par leur fonction que par leur esthétique, reflétant les adaptations culturelles et climatiques spécifiques à la région. Les types de fenêtres les plus couramment rencontrés dans les habitations comprennent les fenêtres à battants et les fenêtres à persiennes. Les fenêtres à battants, généralement fabriquées en verre, se distinguent par leur capacité à assurer une ventilation efficace tout en permettant une pénétration optimale de la lumière naturelle. Cette caractéristique est particulièrement importante dans les climats chauds, où la circulation d'air est essentielle pour le confort intérieur. En parallèle, les fenêtres à persiennes, avec leurs lamelles réglables, offrent une flexibilité inégalée, permettant aux occupants de moduler

l'entrée de la lumière et de l'air, tout en réduisant l'éblouissement. Ce mécanisme de contrôle est important pour s'adapter aux variations climatiques et aux besoins des utilisateurs.

L'orientation des fenêtres est également soigneusement étudiée dans de nombreuses maisons traditionnelles, elles sont tournées vers l'intérieur, donnant sur des cours ombragées, ce qui préserve l'intimité des habitants tout en maximisant l'éclairage naturel. Les ouvertures, souvent ornées de motifs en stuc ou de moucharabieh, ne se limitent pas à leur fonction pratique ; elles constituent également des éléments décoratifs qui enrichissent l'esthétique des façades. Ces ornements témoignent d'un savoir-faire artisanal, traduisant des valeurs culturelles profondes et un héritage architectural.

Au M'Zabpar exemple, les ouvertures sur l'extérieur sont réduites au maximum, tant pour protéger l'intimité que pour se protéger du soleil, elles mesurent jusqu'à sept centimètres de largeur, de trente à soixante centimètres de haut. Les fenêtres ne sont que des fentes du genre meurtrière sans châssis. Lorsqu'il fait froid, les trous sont obstrués par un bouchon de chiffons (H et J-M. Didillon, C et P. Donnadieu, 1977, p103). Cette petite fente selon sa hauteur assumera les différentes fonctions de l'ouverture ; elle servira dans le haut de la pièce à ventiler et à voir lorsque l'on est debout, ou au niveau de l'œil dans les murs de terrasses (A. Ravereau, 1981, p177).

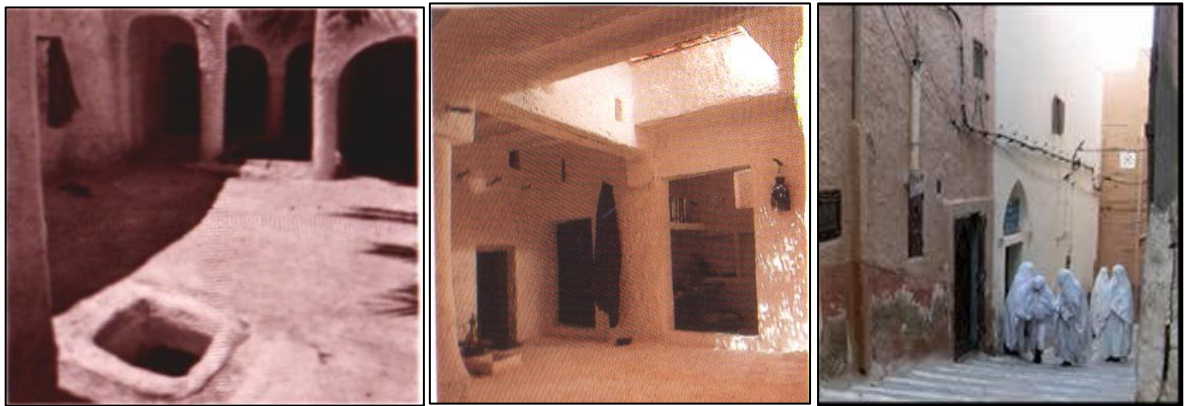


Fig II. 16:Utilisation du Chebaq et les petites ouvertures(fentes)dans l'architecture mozabite.
Source: A. Ravereau, 1981

Par ailleurs, la durabilité des fenêtres en Algérie est un aspect fondamental. Les matériaux utilisés, qu'il s'agisse de bois ou de métal, sont choisis pour résister aux conditions climatiques extrêmes, telles que la chaleur intense, l'humidité et les tempêtes de sable. L'entretien régulier des fenêtres est donc essentiel pour préserver leur intégrité structurelle et leur esthétique. En somme, les fenêtres en Algérie ne sont pas de simples éléments architecturaux ; elles constituent des interfaces entre l'intérieur et l'extérieur, alliant fonctionnalité, esthétique et respect des traditions culturelles. Cette complexité dans leur conception et leur utilisation fait

des fenêtres un sujet d'étude riche et révélateur de l'identité architecturale algérienne

II. CARACTERISTIQUES DE LA FENETRE:(ASPECT PHYSIOLOGIQUE).

Le mot fenêtre ou baie peut désigner un ensemble d'ouvertures translucides allant d'une fenêtre traditionnelle jusqu'à un mur rideau.

Faisant partie de l'enveloppe d'un bâtiment, la fenêtre est l'un des plus importants et incontestables composants d'une construction, dû au grand nombre de rôles qu'elle joue face aux différentes conditions de l'environnement (extérieur et intérieur). La transparence, c'est la particularité de ces parois, un aspect avantageux pour la transmission de la lumière naturelle et d'autres fonctions essentielles pour un confort optimal.

II.1. ROLES ET FONCTIONS DE LA FENETRE DANS LA CONCEPTION DES BATIMENTS:

Les ouvertures d'un bâtiment doivent répondre à des fonctions parfois contradictoires. Les performances à atteindre varient au cours de la journée et d'une saison climatique à l'autre. Les ouvertures, et les fenêtres qui s'y nichent, jouent un rôle important dans les relations du bâtiment et de l'occupant avec son environnement. En effet, les échanges de chaleur, les déperditions thermiques et les apports de chaleur ainsi que les apports solaires proviennent principalement des ouvertures. Celles-ci établissent le contact entre l'extérieur et l'intérieur et permettent ainsi d'améliorer le bien-être de l'occupant.

Les ouvertures, et particulièrement les fenêtres, sont donc un élément majeur de tout édifice et ont toujours bénéficié de la plus grande attention des architectes dans le but d'assurer une qualité de vie agréable aux personnes occupantes un espace éclairé par le biais de cette source.

En plus des qualités techniques, qui la caractérisent, afin de garantir le confort idéal au sein des logements, la baie doit déterminer l'organisation de l'espace intérieur et mettre en place la lumière du jour au cœur de l'habitat.

Pour qu'une fenêtre réussisse à accomplir ses différents rôles et tâches, elle doit être la plus performante possible, garantie par un certain nombre d'exigences techniques de conception dont il faut prendre en compte et qui sont les suivantes:

- **Besoins humains:** désir psychologique et besoin physique de fenêtres, éclairage approprié en fonction de l'usage prévu des locaux, du confort et de l'acceptation de l'occupant ;

- **Exigences architecturales:** options architecturales d'utilisation de l'espace en fonction de l'aspect intérieur et extérieur ; différentes options de conception des fenêtres, leur efficacité énergétique et leur capacité de fournir l'éclairage naturel ;

- **Exigences thermiques:** pertes et apports de chaleur, y compris les températures superficielles sur la face intérieure des fenêtres pour assurer le confort des occupants et un bon rendement énergétique ;

- **Exigences économiques:** coût initial et coûts globaux sur toute la durée de vie utile des différents modèles de fenêtre (Morofsky. Ed. 1991. p.05)

La fenêtre offre un ensemble de fonctions aux occupants du bâtiment entre éclairage et occultation, vues vers l'extérieur et préservation de l'intimité, pénétration de la chaleur solaire et protection du soleil et entre étanchéité et ventilation, etc.

- **Eclairage naturel,** une source de lumière nécessaire à l'homme pour percevoir un environnement proche et lointain. De même que pour ses divers besoins et activités, l'homme peut contribuer à son propre inconfort par certaines pratiques sur l'espace occupé et éclairé par une source naturelle, car cela influe sur l'éclairage et la répartition de la lumière au sein du local.

La disposition et le type du mobilier dans une pièce, ont un impact direct sur la bonne propagation des rayonnements lumineux, donc sur le confort de l'occupant. Le choix des couleurs sombres, influe sur la bonne réflectivité de la lumière, surtout les faces situées à proximité des ouvertures.

La forte et la faible luminosité ainsi sa mauvaise répartition peuvent nuire au confort des occupants. Ce qui provoque une visibilité réduite. Due aussi à la mauvaise conception, ou orientation du bâtiment donc un problème en amont du projet.

- **Chaleur:** Lorsque le verre intercepte les rayons solaires, ceux-ci se transforment en chaleur. Ils vont se propager, dans le local occupé en le chauffant d'où l'action de l'effet de serre due au rapport direct des rayonnements solaires à travers des parois transparentes. Le flux de chaleur continue sa trajectoire rectiligne, sans changer sa direction, vers les parois internes de la pièce. Ce qui nous procure la chaleur dans l'espace.

Le choix des vitrages ; dans ces conditions devient prépondérant car leur complément solaire, thermique et lumineux dépend de leurs caractéristiques d'absorption, de réflexion et de transmission solaires et lumineux (Ed.Mazria., R.Ball. et P.Bazan. ; 2005).

- **Vue vers l'extérieur ;** La vision représente pour l'homme une modalité sensorielle utile et importante pour apprendre à l'environnement où qu'il soit. Cette communication

physique partielle nous permet d'être de temps en temps dedans et en dehors d'une pièce. Mais dans certain cas, et avec les principes sociaux et culturels de notre société, cette relation extérieure et intérieure est supprimée partiellement ou totalement en dépit de la préservation de l'intimité par la mise en place d'objets de protections et de dissimulation de tous éléments qui nuisent à l'intimité de la famille.

- **Acoustique:** de plus la fenêtre doit assurer l'isolation phonique de la pièce du fait qu'elle représente le point faible de cette dernière par sa fonction acoustique. Un vitrage faiblement isolant, augmente par là-même, la déperdition des ondes sonores depuis la pièce et augmente la transmission des bruits de l'extérieur.

Généralement, le vitrage est étroitement lié à la situation de l'habitation. En tenant compte, de ce fait, d'une voie routière, d'un trafic urbain ou ferroviaire rapide.

De l'intensité du bruit émis dans chacun de ces cas, une protection adéquate est à envisager

- **Ventilation:** l'ouverture des fenêtres permet une ventilation naturelle de la pièce par la pénétration de l'air frais au sein de l'espace sans recourir à une ventilation mécanique, consommatrice d'énergie. Le recours à la ventilation naturelle est le recours à l'architecture bioclimatique, un geste vert, écologique, permettant à l'air vicié de s'évacuer et contribuant ainsi au confort respiratoire, olfactif et thermique des occupants.

Cependant avec ce mode de ventilation, le débit d'air et sa qualité ne sont pas contrôlés. Cela peut provoquer des courants d'air inconfortables et incontrôlables d'où la fermeture des fenêtres. Pour éviter ces problèmes, mais créant en contrepartie une mauvaise qualité de l'air au sein des logements mais pour éviter cela il faut toujours juste savoir ouvrir les fenêtres sans causées de déperditions importantes.

II.2. TERMINOLOGIE ET COMPOSANTES D'UNE FENETRE:

La fenêtre est une ouverture munie d'une fermeture vitrée et donnant de la lumière et de l'air à l'intérieur d'un bâtiment. Elle comporte une partie fixe appelée dormant et des parties ouvrantes vitrées appelée châssis (L.Yamani, 1994, p 284). « *Elles sont pratiquées dans l'épaisseur du mur extérieur, dans le but d'éclairer et d'aérer les pièces d'un immeuble et de donner aux personnes qui se trouvent à l'intérieur la possibilité de jouir de la vue extérieure environnante* » (M. CORRADO, 1999, p 10)

Une fenêtre se compose de plusieurs parties, (figure II.17):

- Le cadre dormant (1): la structure généralement en bois ou en métal, est fixée dans le mur et accueille la menuiserie.

- Le cadre ouvrant (2): il est fixé à la paroi ou au cadre dormant et sur lequel sont montés les battants.
- Le battant (3): élément ouvrable de la fenêtre, composé d'un ou de plusieurs cadres mobiles ou en bois ou en verre.
- Les couvre-joints (chambranles) (4): ils protègent la jonction entre le cadre ouvrant et la paroi ou le cadre dormant.
- La gueule-de-loup (5): assemblage de fermeture du battant et du cadre ouvrant qui permet de réduire les pertes de chaleur et de monter les garnitures.
- L'égouttoir (6): élément qui permet à l'eau de pluie de s'écouler, appliqué sur la traverse inférieure ou à la base du battant
- La fixation du vitrage (7): elle permet de fixer la vitre au cadre du battant.
- Les accessoires (8): éléments qui complètent la fenêtre, tels les systèmes d'ouverture, les joints de tenue, le vitrage.

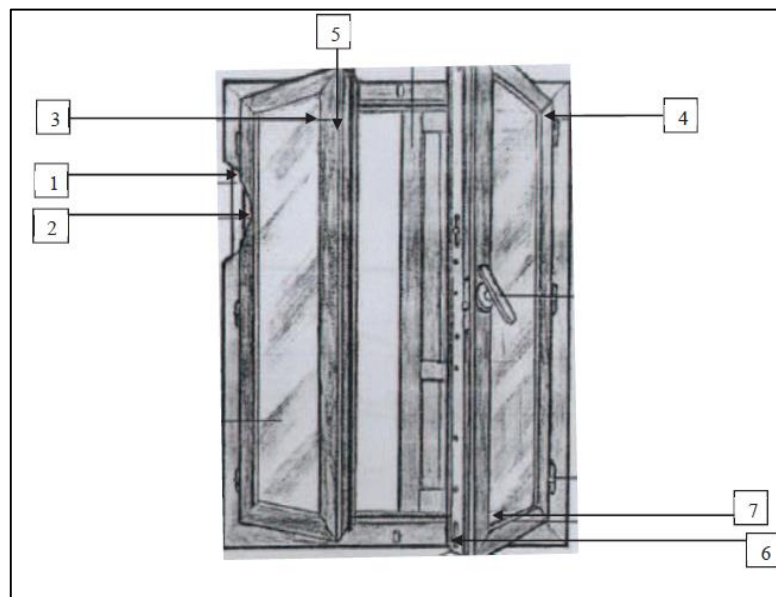


Fig II. 17: Terminologie de la fenêtre.

Source: Conseils et projets d'architecture pour les fenêtres, 1999.

III. CARACTERISTIQUE DE LA FENETRE (ASPECTS PSYCHOLOGIQUES)

Généralement, les gens préfèrent l'espace avec fenêtre que les environnements sans fenêtre (Collins, 1976). Ils ont également tendance à préférer la lumière du jour à la lumière électrique. Dans une enquête auprès de 1800 employés de bureau danois dans 20 bâtiments, les trois aspects les plus positifs des fenêtres étaient: la capacité de voir, la capacité de suivre les changements du temps et la capacité d'aérer une pièce (Christoffersen et al, 1999). D'autres avantages peuvent également être attribués aux fenêtres ; « *les avantages évidents des fenêtres*

sont l'opportunité d'avoir une vue sur le monde extérieur, un large sentiment de contact avec le plein air, les effets positifs sur l'humeur de voir le soleil et le désir de la chaleur et l'atmosphère fournies par la lumière du soleil dans les espaces intérieurs à certains moments du jour ».(Rusak et al. 1996). Heerwagen (1990) suggère qu'il y a quatre avantages généraux des fenêtres:

- (1) l'accès aux informations environnementales ;
- (2) l'accès au changement sensoriel ;
- (3) un sentiment de relation avec le monde extérieur et
- (4) la restauration et récupération.

Heerwagen suppose que le premier avantage peut avoir lien avec notre passé évolutif, ce qui était fondamental pour la survie et la santé pour suivre l'heure de la journée, la météo et les autres changements environnementaux.

En revanche, l'espace intérieur est délibérément maintenu à des températures constantes, les taux de ventilation, les niveaux d'éclairement, etc. Le changement sensoriel peut également donner une agréable expérience indépendante des données fournies et, pour de nombreuses personnes, des fenêtres sont la seule source de changement de niveau de sensation. Le troisième point déclaré par Heerwagen est que l'espace sans fenêtre fait que les gens se sentent enfermés et coupé du monde extérieur. « *Les fenêtres donnent accès aux événements et des situations dans le monde au-delà de nos frontières fortifiées* ». Le quatrième point, restauration et récupération, est basé sur des preuves que la nature, et en particulier les arbres, ont des effets réparateurs. (Ulrich 1984).

Heerwagen souligne également que les fenêtres ne sont pas toujours bénéfiques. La vue vers l'extérieure offre également la possibilité d'être vu. Pour certaines personnes, l'intimité est extrêmement importante et les fenêtres créent la possibilité d'une exposition visuelle indésirable.

III.1. LA VUE

Markus (1967) divise la vue en trois éléments ; (1) vers le haut, le ciel comme principale source de lumière ; (2) vers la partie horizontale permettant de voir le paysage ou la ville ; (3) ou vers le bas, la vue du sol et les activités qui se déroulent dessus. Presque toutes les vues ont une stratification horizontale, c'est-à-dire ils contiennent une couche de sol, une couche de ville ou de paysage et une couche de ciel.

Selon Markus, au moins une petite partie de toutes les couches devrait être présente dans une

vue, plutôt qu'une seule couche. Il a suggéré que les fenêtres verticales permettraient cela. Mais, la division en lignes entre les couches fait que ces fenêtres qui obstruent ces lignes de division perdent beaucoup de leur effet d'orientation. Il affirme que si la vue est limitée, au moins une certaine partie de chaque couche devrait être visible plutôt qu'une seule, car ces couches et les lignes de démarcations permettent à l'occupant de s'orienter.

Markus(1967) a également constaté que les gens qui étaient assis loin de la fenêtre ont exprimé un plus grand désir de s'asseoir près des fenêtres, mais que leurs réponses étaient complexes conditionnées en partie par un sentiment de privation de vue réelle, et en partie par des conditions thermiques ou d'éclairage.

La vue à travers une fenêtre, ou la façon dont nous percevons le monde extérieur, est une expérience dynamique associée aux changements de lanterneau, de lumière du soleil. À son niveau le plus bas, une vue satisfait les besoins physiologiques de l'œil pour un changement d'orientation, et permet de prendre conscience de l'environnement au-delà du bâtiment.

La qualité de la vue est clairement importante. Certaines vues sont de beauté exceptionnelle et procurent du plaisir en soi. Cependant, toute l'expérience du monde au-delà de la fenêtre qui élargit notre perception de l'espace est bonne, même s'il est banal. La recherche en Pennsylvanie a suggéré que les patients à l'hôpital se rétablissent plus rapidement lorsqu'ils ont accès à une vue attrayante sur les arbres et les plantations.

Le développement des techniques de fabrication de plusieurs types de vitrage, a créé une révolution dans les conceptions avec l'éclairage naturel où le mur peut pratiquement disparaître, la fenêtre occupant toute la façade et qui s'enroulent autour des coins. Les maisons d'architectes tels que MaxwellFry (la figureII.18), Connell Ward et Lucas, et d'autres ont généré un nouveau concept de lumière du jour et de vue sur le monde extérieur.



Fig II. 18: Maison conçue par MaxwellFry à Chipperfield, Hertfordshire.

Une nouvelle expérience de la notion de lumière du jour et de la vue.

Source:CIBSE 1999

La vue vers l'extérieur doit toutefois être contrebalancée par la vie privée, ou la vue de l'intérieur. Les attitudes à l'égard de la vie privée diffèrent: au Royaume-Uni, la tendance est d'empêcher les gens se trouvant à l'extérieur de lancer un regard vers les bâtiments domestiques ; aux Pays-Bas, ils accueillent ça. La question de la vie privée peut être abordée en utilisant des rideaux et des stores qui ont l'avantage d'éviter l'apparence de " trou noir " de la fenêtre la nuit. Ils permettent également de réfléchir la lumière électrique dans la pièce plutôt que de la perdre à l'extérieur, mais cela exige une réflexion modérément élevée de la surface intérieure.

III.2. DIMENSIONS DE LA FENETRE

Il est démontré que les grandes fenêtres peuvent entraîner des problèmes de confort thermique et coûts énergétiques élevés en hiver comme en été. Par conséquent, la taille de la fenêtre peut être limitée afin de répondre aux demandes d'efficacité énergétique.

Keighley (dans Collins, 1976) a constaté que les gens préféraient de larges plutôt que de grandes fenêtres. Il a aussi constaté que les rapports de fenêtre de 10% ou moins de la surface du mur de fenêtre étaient très insatisfaisants. Satisfaction accrue pour les fenêtres occupant 20% du mur de la fenêtre, et était le plus élevé pour 30% ou plus.

L'une des questions récurrentes est de savoir qu'elle est la taille acceptable du moins minimale d'une fenêtre, comme on l'a souligné auparavant la fenêtre relève de deux catégories de considérations les premières sont d'ordres objectives et les secondes subjectives, la taille de la fenêtre peut être régit par les deux types de considérations.

Keighley (H E Beckett, J A Godfrey, 1974, p 22) a étudié la question de la dimension adéquate d'une fenêtre. Les résultats de l'étude sont résumés dans le tableau ici-bas:

Tab II. 1: Effet des surfaces vitrées sur la satisfaction des occupants.

Source: Keighley H E Beckett, J A Godfrey, , 1974.

Surface Vitrée / Surface Murale	Pourcentage des personnes très satisfaites	Pourcentage des personnes partiellement satisfaites
20%	5%	45% et 40% neutre
30%	50%	40%
45%	65%	28%

Il semble clair que plus le rapport surface vitrée/surface murale est important, ainsi plus ce rapport croît, plus le nombre de personnes très satisfaites augmente, parallèlement le nombre de personnes partiellement satisfaites décroît. (Les données concernent des fenêtres horizontales de dimensions semblables. La distance entre les observateurs et la fenêtre est la même.)

Si les fenêtres horizontales nous permettent une vue panoramique, les fenêtres verticales quant à elles offrent une vue plus ponctuelle « moins large », mais ne permettent pas de distinguer les différentes stratifications du champ visuel. Dès lors la question posée est: quel type de fenêtre les occupants préfèrent-ils ?

La BRS « Building Research Station » a tenté d'y répondre, leurs études ne soutiennent pas entièrement l'idée d'une préférence marquée pour les fenêtres horizontales.

Par contre, elles ont démontré que plus la taille de la fenêtre augmente, moins la préférence pour les fenêtres horizontales s'affirme.

III.3. FENETRES ET EFFET DE BIEN-ETRE DANS LES ESPACES DOMESTIQUES

Rachel Kaplan, a mené une enquête auprès des résidents (à Ann Arbor, Michigan) pour établir un lien entre les vues sur l'environnement qu'offrent les maisons et la satisfaction et le bien-être des résidents, en constatant que le fait d'avoir des éléments naturels dans les vues était important pour les deux, mais plus prédictif des mesures de satisfaction (Kaplan, 2001). Ces avantages ne se limitent pas aux adultes d'âge moyen (population étudiée par Kaplan) ; c'est peut-être le seul sujet de cette étude pour lequel il existe une littérature abondante pour divers groupes d'âge et populations géographiques.

Talbot et Kaplan (1991) avaient précédemment constaté que les résidents âgés d'appartements dont la maison ne tenait pas compte des paysages (environnement) naturels étaient plus satisfaits de leur logement (un résultat affectif) (Talbot, J. F.; Kaplan, Rachel 1991). Tang et Brown (2006) ont évalué les résultats cardiovasculaires chez des femmes âgées vivant dans une maison de retraite, en observant des pièces sans fenêtre, une vue sur l'environnement bâti ou un paysage naturel. Les deux vues sur l'extérieur ont fait baisser la pression artérielle et le rythme cardiaque (par rapport à la chambre sans fenêtre), mais la vue sur la nature a eu un effet plus important.

Une étude américaine sur les enfants vivant dans un grand immeuble a montré que les filles qui vivaient dans un appartement avec vue sur la nature avaient une meilleure concentration,

une capacité à retarder et l'inhibition des impulsions que ceux dont la maison n'incluait pas la vue sur la nature (Taylor, Kuo et Sullivan, 2002), bien que la nature proche n'ait eu aucun effet sur ces scores pour les garçons. (Taylor, A. F., Kuo, F. E., & Sullivan, W. C. 2002. 22(1-2), 49, 63)

Il est clair que tous les bâtiments résidentiels ne peuvent pas avoir une vue sur la nature, et probablement pas tous les bâtiments peuvent avoir une vue attrayante (naturelle ou non) ; cependant, dans la mesure où ces possibilités existent, des choix spécifiques au site en matière d'emplacement et de taille des fenêtres peuvent révéler des vues qui contribueront au bien-être des habitants.

Evans et McCoy (1998) ont apporté un autre point de vue sur la question, en observant qu'être insuffisamment stimulé peut également être stressant, entraînant l'ennui. Ainsi, les environnements qui manquent de vue sur l'extérieur, quel qu'en soit le contenu, peuvent être stressants pour cette raison. Une vue sur l'extérieur, même si elle n'est pas principalement naturelle, offre une variété de changements de lumière, à la fois des modèles prévisibles de couleur et de direction, quotidiens et saisonniers, et des changements moins prévisibles liés au temps. Dans ce contexte, les fenêtres agissent comme des outils de prévention du stress et offrent des possibilités de restauration. (Evans et McCoy.1998)

Kaye et Murray (1982) ont examiné les cotes d'aspect de dessins en perspective à l'aquarelle d'une salle de séjour résidentielle, présentés sous forme de diapositives en couleur. Lorsque l'image montrait le salon comme ayant une fenêtre, la pièce était perçue plus favorablement sur des échelles impliquant des jugements socio-esthétiques (plus accueillant, amical, beau, lumineux), l'ambiance (moins fermé, terne, mort) et la taille (plus grand, plus spacieux). ((Kaye et Murray 1982)

Il est évident qu'une fenêtre est un élément souhaitable dans une salle de séjour ; cependant, elle n'est pas uniformément souhaitée dans tous les types de pièces. Les étudiants américains de premier cycle ont déclaré préférer soit l'absence de fenêtre, soit une petite fenêtre (claire ou translucide) pour une salle de bain à domicile, mais une grande ou deux fenêtres claires de taille moyenne dans une salle familiale ou un salon (Butler, D. L., & Biner, P. M. 1989).

Lau, Gou et Li (2010) ont constaté que dans l'environnement à forte densité de Hong Kong, les souhaits d'éclairage naturel étaient moins importants pour les préférences des résidents en matière de configuration des fenêtres que le besoin de préserver l'intimité pour manger,

dormir et utiliser la salle de bain (Lau, Gou et Li, 2010).

Les fenêtres créent des limites plus rugueuses et plus transparentes ; on peut voir plus loin à travers les fenêtres qu'à travers les murs opaques. L'augmentation de la rugosité des limites dans les pièces simulées contribue à l'augmentation de l'espace jugé (Stamps & Krishnan, 2006).

Ainsi, pour les environnements où moins d'espace et plus d'intimité sont les caractéristiques souhaitables, les fenêtres et les puits de lumière contribueront favorablement. Le degré de transparence souhaité, ou la taille de fenêtre souhaitée, n'est pas précisément compris pour les environnements résidentiels. La plupart des documents sur la taille de fenêtre préférée sont basés sur les environnements de bureau (Butler & Steuerwald, 1991 ; Inui & Miyata, 1973 ; Keighley, 1973 ; Markus, 1967 ; Ne'eman & Hopkinson, 1970).

Une expérience ultérieure dans un modèle réduit décrit comme un salon a permis d'observer que les facteurs les plus importants contribuant à l'appréciation de l'espace étant l'éclairage et la taille de la fenêtre (Inui & Miyata, 1982, Pages 313-321) ; l'espace était fortement corrélé à la satisfaction.

Si l'on accepte que les résultats se généralisent des bureaux aux salons résidentiels, la meilleure orientation spécifique disponible vient de Keighley (1973), qui a observé que les dimensions préférées des fenêtres se situaient entre 1, 8 et 2, 4 m de hauteur et légèrement plus larges que hautes. Butler et Steuerwald. (1991) ont observé que la forme préférée des fenêtres varie en fonction de la taille de l'espace, étant moins horizontale dans un lieu plus petit ; la taille préférée des fenêtres était plus grande lorsque la vue était plus désirable (Butler D.L., Steuerwald B.L. 1991). Ces résultats sont conformes à ceux de Ne'eman et Hopkinson (1970), qui ont également fait varier la forme des pièces. Il est probable que les dimensions des fenêtres préférées pour les résidences varient également en fonction de la vue sur l'extérieur, les fenêtres plus grandes étant préférées lorsque la vue est plus attrayante ou moins obstruée (Ne'eman et Hopkinson 1970)

IV. FENETRES ET PERFORMANCE VISUELLE DANS LES ESPACES DOMESTIQUES

Le meilleur des processus déclenchés par la lumière admise par les fenêtres et la lumière du jour est la performance visuelle. En effet, permettre aux gens de voir des objets et des tâches est le but premier de la lumière du jour, et le soutien que cela apporte aux activités

quotidiennes est une contribution importante au bien-être. Indépendamment de la source de lumière, le modèle de performance visuelle relative (RVP) prédit que la performance de la composante visuelle d'une tâche est fonction de la luminance d'adaptation ainsi que de la taille et du contraste de la tâche visuelle (Rea & Ouellette, 1991).

La figure II.19 illustre le modèle pour quatre tailles de tâches. Il est évident que la performance visuelle pour la plupart des tâches est plus fortement affectée par la taille de la tâche et le contraste que par la quantité de lumière, du moins pour les jeunes adultes sur lesquels le modèle est basé. À l'exception de tâches très petites et très peu contrastées, la performance visuelle relative est élevée sur une large gamme de niveaux de lumière.

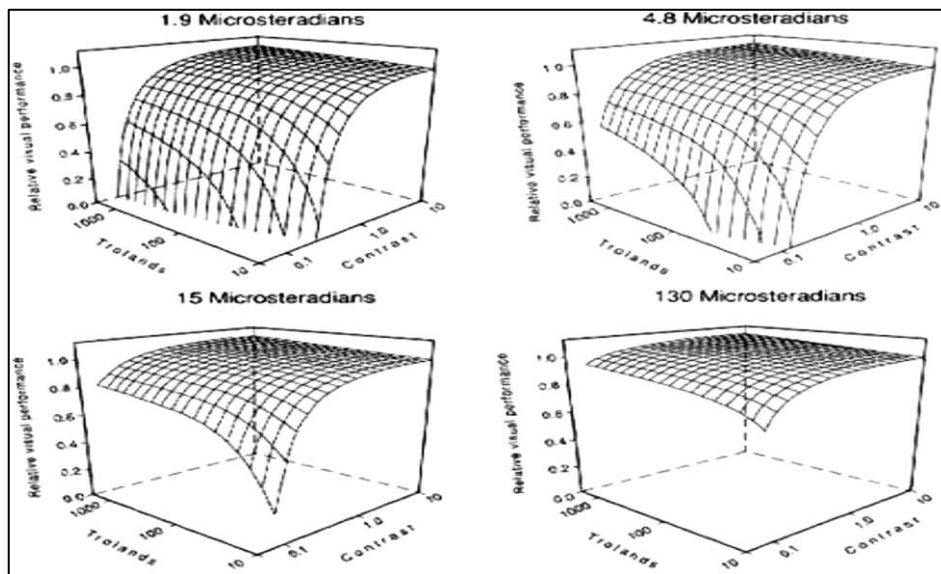


Fig II. 19: Modèle de performance visuelle relative (RVP)

Source ; D'après (Rea et Ouellette, 1991).

Chaque graphe montre l'effet du niveau de lumière (éclairement rétinien dans les (axe x) et du contraste de la tâche (axe z) sur la performance visuelle relative (axe y) pour une tâche d'une taille donnée).

Il est intéressant de noter que la perception de la luminosité est également plus grande pour un éclairement donné lorsque la contribution relative de la lumière de courte longueur d'onde est plus importante (Berman, S. M., Jewett, D. L., Fein, G., Saika, G., et Ashford, F. (1990), 22(1), 37-41.). Cet effet pourrait conduire à la prédiction que la performance visuelle sera plus grande à la lumière du jour (qui est généralement plus riche en lumière de courte longueur d'onde) que sous des sources de lumière électrique intérieures communes.

Il n'en reste pas moins vrai que la lumière du jour est la source de lumière la plus économe en

énergie pendant les heures de clarté. Notre compréhension des performances visuelles montre que si le système d'éclairage naturel admet ne serait-ce qu'une quantité modeste de lumière du jour, les besoins visuels de nombreux occupants pour voir les détails les plus fins seront pris en charge. La prévision de la lumière du jour disponible pour les fonctions visuelles est réalisée à l'aide de diverses méthodes de modélisation ; la modélisation de la lumière du jour basée sur le climat permet de calculer la durée de l'année pendant laquelle un niveau de lumière donné sera atteint dans une conception spécifique à un endroit géographique donné (Mardaljevic, J. (2008).

Des mesures sur le terrain des niveaux d'éclairement dans les résidences aux États-Unis et aux Pays-Bas ont montré que les personnes âgées vivant à domicile estiment que leurs niveaux d'éclairement sont adéquats même lorsqu'ils sont considérablement inférieurs en moyenne aux recommandations basées sur la visibilité (Aarts et Westerlaken, 2005 ; Bakker, Iofel, et Lachs, 2004 ; Charness et Dijkstra, 1999).

Cette constatation est poignante si l'on considère que deux enquêtes de terrain ont démontré une amélioration de la qualité de vie en réponse à l'augmentation des niveaux de lumière dans les maisons de personnes âgées ou malvoyantes (Brunnström, Sörensen, Alsterstad, et Sjöstrand, 2004 ;p274-280) (Sorensen et Brunnstrom, 1995 ;p113-118).

V./FENETRES ET DISPOSITIFS DE PROTECTION POUR LES ESPACES DOMESTIQUES

Les grandes fenêtres peuvent fournir de la lumière du jour, mais créent une forte demande de systèmes de refroidissement en raison de la chaleur. Elles peuvent également créer un éblouissement ou une lumière du jour intense dans les espaces intérieurs. En revanche, les petites fenêtres réduisent la chaleur ; en même temps, elles réduisent les niveaux d'éclairement dans les espaces intérieurs (B.Meleki, . 2012, p 191-196)

Par conséquent, les stores de fenêtre sont une solution de conception permettant d'intercepter les rayons du soleil avant qu'ils n'atteignent les espaces intérieurs par les fenêtres et de réduire la chaleur. Les dispositifs d'ombrage offrent un confort thermique et visuel (H.S.Lim, ;et G. Kim. 2010.p19, 486-496.). Certains auteurs qui ont étudié la lumière du jour dans les espaces intérieurs suggèrent l'idée de systèmes d'ombrage pour permettre à la lumière du jour de pénétrer tout en empêchant la chaleur et l'éblouissement à l'intérieur (H.H Alzoubi, et A.HAL-zoubi, . 2010., p51, 1592-1599.). Il n'est pas simple de fournir la quantité de lumière du jour

nécessaire pour différentes activités avec des fenêtres uniquement. C'est pourquoi les dispositifs d'ombrage sont une solution pour fournir la lumière du jour nécessaire tout en empêchant la chaleur et l'éblouissement (H.S.Lim, ;et G. Kim. 2010.p19, 486-496.).

Certains auteurs s'interrogent sur le meilleur type d'ombrage. Par exemple (H.M ;Taleb, . 2011) préfère un ombrage horizontal parce qu'il augmente les niveaux de ventilation. D'autre part, Edmonds et Greenup (2002) constatent que les dispositifs d'ombrage peuvent constituer un obstacle à la lumière du jour pour atteindre l'espace intérieur dans certaines régions comme la région subtropicale de Brisbane, en Australie (I. Edmonds, et P.Greenup, . 2002., p73, 111-121).

Une étagère lumineuse est un système d'ombrage horizontal et exposé. Elle peut être utilisée à l'intérieur, à l'extérieur ou dans les deux parties de la fenêtre, et elle est placée dans la partie supérieure de la fenêtre. Elle présente de nombreux avantages, tels que l'occultation de la lumière directe du soleil et la réduction de l'air chaud entrant dans la pièce, ainsi que la réduction de l'éblouissement (Freewan, A. A. 2010, p 51, 1600-1604.). (Figure II.20)



Fig II. 20: Une pièce avec une grande fenêtre, équipée d'un système d'étagère lumineuse à l'horizontale.

Source: www.shedstore.co.uk consulté le 15/05/2020

Une étude de Hegazy et al. (2013) sur la lumière du jour dans le climat chaud du Caire a montré que la lumière naturelle provenant d'une façade sud dans les espaces intérieurs est affectée par le rapport S.fenêtre/S.mur, le vitrage et l'ombrage dans les immeubles résidentiels du Caire. Les auteurs ont constaté que les différences de vitrage et d'ombrage dans la plupart des apports fenêtre/mur ne permettaient pas d'obtenir la lumière naturelle requise au premier étage. La lumière du jour n'atteignait pas 300 lux, ce qui est l'éclairement cible pour l'étude.

Une fenêtre de base sans ombrage fournissait le plus haut niveau de lumière du jour par rapport aux autres ; cependant, elle n'atteignait même pas le niveau de lumière du jour requis.

De plus, une fenêtre de base sans ombrage fournissait le plus haut niveau de lumière naturelle à l'étage le plus élevé, à 12 m de la rue. Cependant, cela a un effet négatif sur la température thermique à l'intérieur de la pièce. Les ombrages et les vitrages utilisés ont montré de faibles niveaux de lumière du jour dans l'espace intérieur, mais ils ont réduit la consommation d'énergie car ils empêchent une chaleur importante.

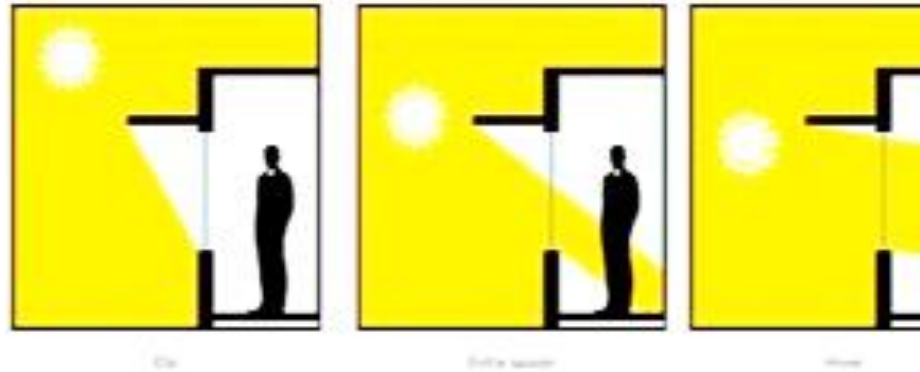


Fig II. 21: Utilisation de dispositifs d'ombrage pour contrôler la chaleur et l'éblouissement dans un espace intérieur.

Source: www.architectureecologique.fr consulté le 15/05/2020

Lu et al. (2016) affirment qu'une grande obstruction intérieure affecte la quantité de lumière naturelle dans un espace intérieur. Les auteurs ont étudié l'effet des obstructions intérieures sur 51 petits espaces résidentiels orientés au sud en Chine. Ils ont découvert que « *dans la conception des façades, l'emplacement suggéré des murs massifs larges est au moins 600 mm plus haut que le plan de travail requis, de sorte que le niveau de lumière du jour sur le plan de travail peut atteindre 800 lux, et que la lumière du jour à 500 lux peut pénétrer 350 mm ou plus profondément dans la pièce. En outre, il convient d'éviter de placer les larges murs pleins à une hauteur de 1500 mm, ce qui a l'effet le plus négatif sur une exigence d'éclairage plus faible. Il est suggéré de placer un mur massif haut à une distance d'au moins 900 mm du bord de la fenêtre pour un plan de travail plus élevé afin de s'assurer que le niveau de lumière du jour devant le mur atteint 300 lux* » (Y, Lu, T, Wolf, et J, Kang, 2016).

CONCLUSION

Ce chapitre a permis d'explorer l'évolution des fenêtres dans les milieux résidentiels, en soulignant leur importance non seulement fonctionnelle mais aussi symbolique et esthétique. Historiquement, la quête de lumière naturelle et d'ouverture vers l'extérieur a guidé l'architecture, transformant la fenêtre en un élément clé pour la qualité de vie dans les espaces intérieurs. Aujourd'hui, grâce aux avancées technologiques, les fenêtres permettent d'allier

confort, esthétisme et performance énergétique. Cependant, la conception des ouvertures dans un bâtiment doit répondre à des besoins souvent contradictoires: laisser entrer la lumière tout en contrôlant l'éblouissement, offrir des vues tout en préservant l'intimité, et permettre une ventilation naturelle tout en garantissant le confort thermique.

L'étude a également révélé que la perception de l'espace et de la lumière dans les résidences diffère de celle des espaces de travail, et que la relation entre les fenêtres et l'architecture résidentielle nécessite encore des recherches approfondies. De plus, la dimension culturelle influence la manière dont les fenêtres sont perçues et utilisées dans différents contextes géographiques et sociaux.

En conclusion, la fenêtre ne se limite pas à une simple ouverture, elle constitue un lien vital entre l'intérieur et l'extérieur, apportant lumière, vue et ventilation, tout en restant un sujet complexe de recherche pour l'avenir de l'architecture durable et bioclimatique. Elle influence d'une manière spécifique le confort lumineux, thermique et l'efficacité énergétique, en réponse aux défis environnementaux (Lechner, N. 2014). Le défi pour les concepteurs est d'équilibrer ces divers aspects afin de créer des espaces qui répondent aux besoins des occupants tout en respectant les contraintes environnementales.

Chapitre III
performance lumineuse et efficacité
énergétique

INTRODUCTION

L'optimisation des performances lumineuses dans les espaces bâtis est devenue un enjeu majeur, tant du point de vue du confort des usagers que de l'efficacité énergétique. L'éclairage naturel, en particulier, joue un rôle central dans la création d'environnements visuels agréables et sains, tout en contribuant à la réduction de la consommation énergétique. Selon l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE), l'éclairage représente environ 15 % de la consommation totale d'électricité dans le secteur résidentiel.

La performance lumineuse d'un bâtiment se réfère à sa capacité à fournir une qualité d'éclairage optimale, répondant aux besoins des occupants tout en minimisant le recours à l'éclairage électrique (IESNA, 2000). Elle est directement liée à l'efficacité énergétique, qui vise à maximiser l'utilisation de la lumière naturelle grâce à des stratégies architecturales telles que l'orientation des fenêtres, l'utilisation de matériaux réfléchissants et l'intégration de systèmes de contrôle de la lumière (J. Mardaljevic ; 2013.p 1-3).

Cependant, la réalisation de ces objectifs nécessite une compréhension fine des interactions entre les dispositifs d'éclairage, les caractéristiques architecturales et les comportements des utilisateurs. Ce chapitre explore ces dynamiques en se focalisant sur les méthodes d'évaluation des performances lumineuses et leur corrélation avec l'efficacité énergétique. Il s'agit de proposer des approches innovantes pour concevoir des environnements lumineux qui soient à la fois fonctionnels, confortables et durables.

I. DEFINITION DU CONCEPT DE LA PERFORMANCE.

Dans la documentation sur la performance, on peut trouver plusieurs notions qui apparaissent, à priori, synonymes telles que l'efficacité, le rendement, la productivité, et l'économie. Si les écrits sont nombreux dans ce domaine de recherche il faut constater qu'il n'y a pas de consensus ni sur la définition du concept ni sur la manière de l'évaluation.

Cette situation pourrait s'expliquer par le fait que le concept de performance intéresse et touche plusieurs disciplines à commencer par l'économie, la comptabilité, les systèmes d'information, le management, les sciences de comportement. Cette multitude de langages et d'interprétations entraîne souvent un manque de compréhension interdisciplinaire.

La question de la performance peut être appréhendée dans des termes très différents. En effet, ce concept recouvre un vaste corpus de définitions et de pratiques diverses, dans différents champs de l'activité socio-économique. La définition du concept de la performance se confond en général avec le concept d'efficacité et d'efficience. Elle se différencie de

l'efficacité qui est la capacité d'atteindre des objectifs ainsi que l'efficience qui rend compte de la capacité d'être efficace. (P. Turcotte.1997, p. 22- 658)

La performance fait le plus souvent référence à la notion d'évaluation. Il s'agit de mettre en place des critères déterminés par rapport à des normes, qui peuvent s'exprimer quantitativement sous la forme d'indicateurs quantitatifs. Comme elle peut être, également appréciée de manière qualitative sous la forme d'un jugement de valeur. Elle est alors, évaluée à travers la construction d'outils de mesure et tableaux de mesures adaptés aux spécificités du contexte.

Il en résulte que la performance, comme le disait C. Marmuse « *revêt des aspects multiples, sans doute convergents, mais qui méritent d'être abordés dans une logique plus globale* » (C. Marmuse 1989 p 2194-2207).

I.1. LA CONCEPTION BASEE SUR LA NOTION DE PERFORMANCE

La conception basée sur la performance est une approche qui met l'accent sur la demande, les exigences requises dans le processus de conception, afin d'obtenir des résultats au lieu de l'approche de prescription dans une pratique traditionnelle qui régit la manière et la méthode d'obtenir des résultats. L'approche de la performance dans la construction n'est pas nouvelle, ce concept basé sur la performance se retrouve dans l'essai sur l'architecture écrit par Vitruvius il y a plus de 2000 ans (R Becker, G Foliente 2005).

Cependant, au fur et à mesure que la connaissance des spécifications des propriétés des matériaux, des structures et d'autres détails technologiques connus pour fournir des performances adéquates a été développée, la littérature professionnelle liée au bâtiment s'est accumulée. Par conséquent, l'approche adoptée à l'époque, et jusqu'à il y a moins d'un demi-siècle, était que le processus de construction continuait à s'appuyer sur des procédures liées uniquement à un savoir-faire basé sur l'expérience et intégré dans des prescriptions claires et strictes prescrites par des lois, des règlements, des codes et des normes. Ainsi, l'évaluation des solutions de conception et des détails de construction s'est transformée en une simple procédure technique consistant à comparer la conception proposée et les détails exécutés avec leurs prescriptions normalisées, ce qui a étouffé les innovations et les changements.

Contrairement à l'approche traditionnelle de prescription, l'approche basée sur la performance pour le processus de construction a recommencé à émerger au cours des 50 dernières années. Avec la demande de l'industrie pour des procédures de construction plus flexibles, l'approche réintroduite de la conception des bâtiments se concentre sur la performance pour le processus

de construction et les besoins des utilisateurs. Il s'agit de définir dès le début, les exigences et l'aptitude à l'usage d'un bâtiment, d'une installation, d'un produit de construction, ou d'un service, qui s'oppose à l'approche prescriptive traditionnelle, qui consiste à décrire le type et la qualité des matériaux, la méthode de construction, l'exécution, etc.(F.Szigeti et G.Davis, 2005) Gibson a donné la définition la plus claire de la conception des bâtiments basée sur la performance, Il a déclaré que *« l'approche de la performance est la pratique de penser et de travailler en termes de fins plutôt qu'en termes de moyens. Il s'agit de ce qu'un bâtiment ou un produit de construction est tenu de faire, et non pas de prescrire comment il doit être construit »* (E. J, Gibson.1982).

La conception basée sur la performance est essentiellement une façon de penser axée sur l'utilisateur. Par conséquent, les demandes des utilisateurs doivent être soigneusement identifiées. En premier lieu, leurs besoins comprennent un ensemble dynamique d'exigences établies par les occupants, les investisseurs, l'équipe de conception, les entrepreneurs, ainsi que les lois, les règlements, les codes et les normes.

Cependant, certaines exigences peuvent nécessiter des solutions trop coûteuses ou même rendre la conception impossible à mettre en œuvre. Par conséquent, les besoins des utilisateurs doivent être analysés et soigneusement identifiées, sélectionnés et traités en fonction de chaque tâche de conception.

Dans la deuxième étape, les besoins des utilisateurs doivent être traduits en exigences de performance claires qui sont quantifiables pour l'évaluation de la conception ou des facteurs physiques qui pourraient être suivis en tant qu'indicateurs de performance.

Les exigences de performance et les indicateurs de performance doivent être conformes à la réglementation, bien compris et, de préférence, se prêter à l'analyse computationnelle afin de pouvoir prédire la performance des solutions de conception générées. Une fois la conception est mise en œuvre avec des outils de conception acceptés, ils doivent être testés avec des méthodes d'évaluation vérifiées de leur performance.

La rétroaction issue de l'évaluation de la performance pourrait guider le processus de mise en œuvre de la conception en vue d'une amélioration supplémentaire jusqu'à ce que les critères exigés soient pleinement établis. Les puits de lumière dans le cadre de l'ingénierie de service (conditions d'éclairage) offrent une occasion parfaite de conception pour mettre en œuvre le concept de conception basé sur la performance.

II. DEFINITION DE LA PERFORMANCE LUMINEUSE

La maximisation de la lumière du jour est reconnue comme l'un des objectifs clés de la

conception à basse consommation, car l'utilisation de la lumière naturelle peut non seulement réduire les coûts énergétiques jusqu'à 30 %, mais elle améliore également le confort visuel et le bien-être des occupants. En réduisant la dépendance à l'éclairage électrique, on diminue aussi la demande en climatisation en limitant le gain de chaleur interne généré par les systèmes d'éclairage. L'intégration de la lumière naturelle dans les bâtiments favorise un environnement plus sain et dynamique, en influençant les cycles circadiens et en améliorant la productivité (N. Lechner, 2015).

La transmission du rayonnement solaire à travers le vitrage dépend de plusieurs facteurs, notamment de l'angle d'incidence. Plus l'angle d'incidence est perpendiculaire au vitrage, plus la lumière du jour est efficacement transmise dans l'espace intérieur. En revanche, lorsque la lumière frappe le vitrage à un angle presque parallèle, la transmission diminue, car une grande partie des rayons est réfléchi. Par conséquent, les conceptions architecturales doivent tenir compte de ces variations pour maximiser l'apport lumineux tout en minimisant la surchauffe et l'éblouissement.

Les angles d'incidence jouent également un rôle important dans la conception des dispositifs d'ombrage, qui permettent de gérer la quantité de lumière directe et indirecte pénétrant dans un bâtiment. Des stratégies telles que les brise-soleils, les auvents et les stores sont conçues pour contrôler l'angle d'entrée de la lumière solaire, réduisant ainsi les gains thermiques en été tout en laissant entrer un maximum de lumière en hiver. En outre, ces dispositifs peuvent être automatisés ou ajustables pour répondre aux changements saisonniers et quotidiens de la position du soleil, optimisant ainsi l'efficacité énergétique et le confort intérieur (N. Lechner, 2015)

De plus, l'utilisation de vitrages à haute performance, tels que les vitrages à faible émissivité ou les vitrages électrochromes, peut encore améliorer la gestion de la lumière naturelle. Ces technologies permettent de réguler dynamiquement la transmission lumineuse et thermique, en ajustant leurs propriétés en fonction des conditions extérieures. Cela contribue à maximiser le confort lumineux et thermique et à réduire la consommation d'énergie tout au long de l'année.

II.1. FACTEURS AFFECTANT LA PERFORMANCE DE LA LUMIERE DU JOUR

La lumière naturelle est ni fixe ni toujours égale dans sa qualité et son intensité, elle dépend du type du ciel, le moment de l'année, l'heure, l'orientation et l'inclinaison de l'ouverture et de l'environnement. B. Fanchiotti et Steemers (1993) ont classé les paramètres et variables de

conception qui ont un impact sur l'éclairage naturel à trois niveaux, du niveau du contexte urbain, au bâtiment et de la pièce. Cependant, il est à noter que le niveau de rayonnement solaire visible est le principal paramètre lié à l'environnement extérieur. D'autre part, les caractéristiques des ouvertures transparentes, par lesquelles la lumière pénètre dans le bâtiment, sont les principales variables de conception associées à l'éclairage naturel. Ainsi, les éléments opaques de l'enveloppe du bâtiment ont une influence limitée sur la performance visuelle du bâtiment.

Chaque niveau présente un certain nombre d'éléments de conception qui doivent être pris en compte dans la sélection et l'analyse des études de cas. Toutefois, la partie sur le contexte urbain sera brève, car l'impact de l'urbanisme sur les conditions d'éclairage naturel dans les bâtiments n'est pas l'objectif principal de cette étude. Les paramètres de cette étude sont classés selon les niveaux suivants:

- Le climat (niveau I).
- L'environnement bâti (niveau II).
- Le bâtiment (niveau III).
- La pièce (niveau IV).

II.1.1. FACTEURS CLIMATIQUES

II.1.1.1. LE CLIMAT

Les conditions climatiques jouent un rôle déterminant dans la performance de la lumière du jour à l'intérieur des bâtiments. Le climat influence la quantité et la qualité de la lumière naturelle disponible, variant selon les saisons et les régions. Par exemple, les zones à climat ensoleillé bénéficient d'un éclairage plus intense et constant, tandis que les régions souvent couvertes ou pluvieuses peuvent voir une réduction significative de la lumière du jour. De plus, des éléments tels que l'humidité, la pollution de l'air et la nébulosité peuvent atténuer la transmission de la lumière, créant ainsi des variations d'éclairage intérieur. Ces facteurs doivent être pris en compte lors de la conception architecturale pour maximiser l'apport de lumière naturelle et assurer un confort optimal pour les occupants.

II.1.1.2. RAYONNEMENT SOLAIRE

La lumière naturelle traduit les fluctuations de l'état du ciel. Elle est composée de la lumière directe du soleil et de la lumière diffuse du ciel.

La quantité de la lumière du jour reçue à l'intérieur est directement liée aux conditions

climatiques d'un endroit ou d'une région et à la position du soleil par rapport à un site.

La latitude, la longitude, la date et l'heure peuvent être utilisées pour calculer la position exacte du soleil dans le ciel pour un endroit donné (Littlefair, 2011). Comme le rayonnement solaire atteint la surface de la terre dans des conditions atmosphériques différentes, la quantité de gain solaire et la lumière du jour disponible varient considérablement au cours de la journée. Des conditions telles que la masse d'air, la teneur en vapeur d'eau atmosphérique, la transparence et la distribution de la couverture nuageuse peuvent toutes réduire le rayonnement solaire reçu sur la surface de la Terre (Okogbue et al. 2009). Au niveau local, certaines conditions, comme la pollution gazeuse, la lumière réfléchie par le sol et les bâtiments, ont également un impact sur la quantité et la qualité de la lumière du jour disponible dans un endroit (N. Baker, et K. Steemers, 2002). La meilleure orientation des bâtiments peut être déterminée avec l'angle d'ensoleillement, la journée devient alors plus lumineuse lorsque cet angle sera plus élevé.

II.1.1.3. CONDITIONS DU CIEL

La prédiction de l'état du ciel est très importante pour estimer la quantité de lumière naturelle disponible à un endroit et à un moment précis. La lumière disponible est déterminée par les conditions du ciel, qui sont difficiles à modéliser avec précision. Néanmoins, pour l'éclairage naturel, la Commission internationale de l'éclairage (CIE) recommande l'utilisation de modèles du ciel, qui incluent un large éventail de conditions partiellement définies par les fonctions associées à l'altitude solaire, même lorsque la majeure partie de la lumière du soleil est diffuse. Parmi les différents types de ciel, les ciels clairs, partiellement nuageux et les ciels nuageux sont souvent définis comme les principales conditions de ciel couramment utilisées pour la modélisation (Szokolay, 2014). Dans des conditions de ciel clair, la lumière directe du soleil peut fournir un éclairage d'environ 100klux, mais si la lumière du soleil est exclue, le niveau d'éclairage se situe entre 40klux et 50klux. Un ciel partiellement nuageux ou intermédiaire est une variante plus nuageuse du ciel clair, qui peut être modélisée avec ou sans lumière solaire directe. Dans un ciel nuageux, la composante diffuse de la lumière est beaucoup plus importante que la composante directe. Ainsi, un ciel entièrement couvert agit habituellement comme une source de lumière diffuse (Szokolay, 2014).

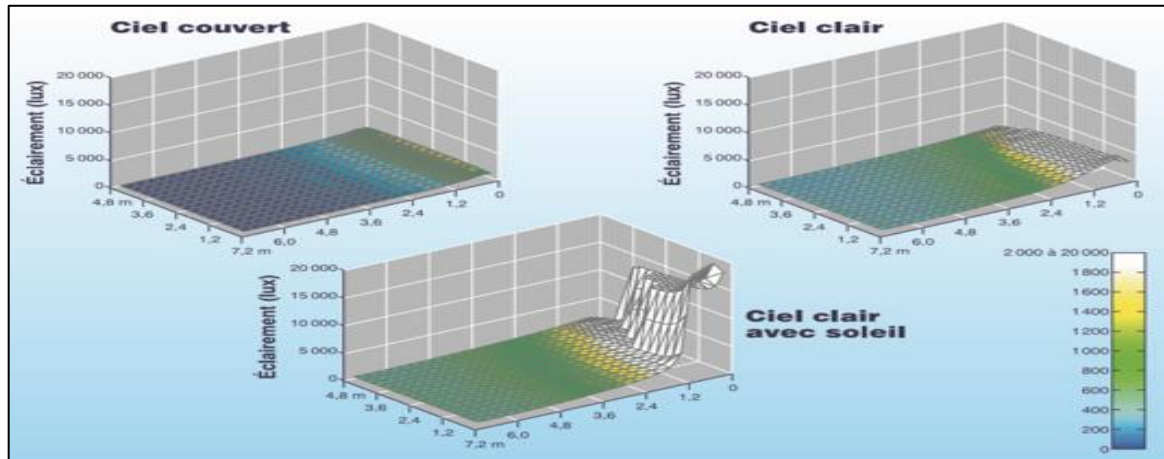


Fig III. 1: Influence du type de ciel sur l'éclairage intérieur

Source: <https://energieplus-lesite.be/theories/eclairage12/physique-lumiere/eclairage-naturel-et-ses-variations/> consulté le 12/01/2020

Pour les simulations de conception de l'éclairage, les conditions du ciel peuvent être largement délimitées en déterminant le niveau de couverture nuageuse. Un ciel clair a une couverture nuageuse inférieure à 30 %, un ciel partiellement nuageux a une couverture nuageuse comprise entre 30 % et 70 % et un ciel nuageux a une couverture nuageuse supérieure à 70 %, avec une couverture nuageuse complète (100 %) sous un ciel couvert (Larson, 1998) ;(Mischler, 2004).

II.1.1.4. INFLUENCE DU MOMENT DE L'ANNEE:

Il est connu que pour une même heure de l'année, l'azimut et la hauteur du soleil varient en fonction du jour de cette année. Cette variation de position du soleil a une influence directe sur l'éclairage disponible dans un local. Par exemple, pour des conditions de ciel clair avec le soleil, le 15 juin à 13 heures universelles, le niveau d'éclairage simulé dans un cas de base atteint 55 000 lux à proximité de la fenêtre. Mais ces valeurs d'éclairage très élevées ne concernent qu'une bande étroite le long de la façade, ce qui est lié à la hauteur du soleil qui atteint 62° le 15 juin à 13 heures. Par contre, le 15 décembre, l'éclairage est compris entre 14 000 et 11 000 lux sur plus de la moitié du local. Au fond de l'espace, les valeurs atteintes sont de 750 lux le 15 juin et 1 600 lux le 15 décembre. De l'été à l'hiver, le rayonnement solaire direct pénètre plus en profondeur dans le local mais le niveau d'éclairage à proximité de la fenêtre diminue progressivement. La variation de l'Azimut du soleil au cours de l'année est très importante. Certains locaux qui ne profitent pas ou peu du soleil direct en hiver, peuvent recevoir des apports importants lors du solstice d'été ; ce sont particulièrement ceux orientés au nord.

II.1.1.5. INFLUENCE DU MOMENT DE LA JOURNEE:

Par ciel clair avec le soleil, la répartition lumineuse varie fortement d'une heure à l'autre et d'un point à l'autre du local. La lumière disponible augmente jusqu'à la mi-journée, puis diminue. Pour la journée du 15 décembre, par exemple, les valeurs d'éclairement obtenues à 9h universelles, sont comprises entre 2 600 lux près de la fenêtre et 400 lux au fond du local ; tandis qu'à 13h universelle, l'éclairement vaut 11 000 lux sur plus de la moitié du local et 1 600 lux au fond. Le rayonnement solaire direct induit une tache de lumière qui évolue, au cours de la journée, depuis le mur Ouest du local vers le mur Est.

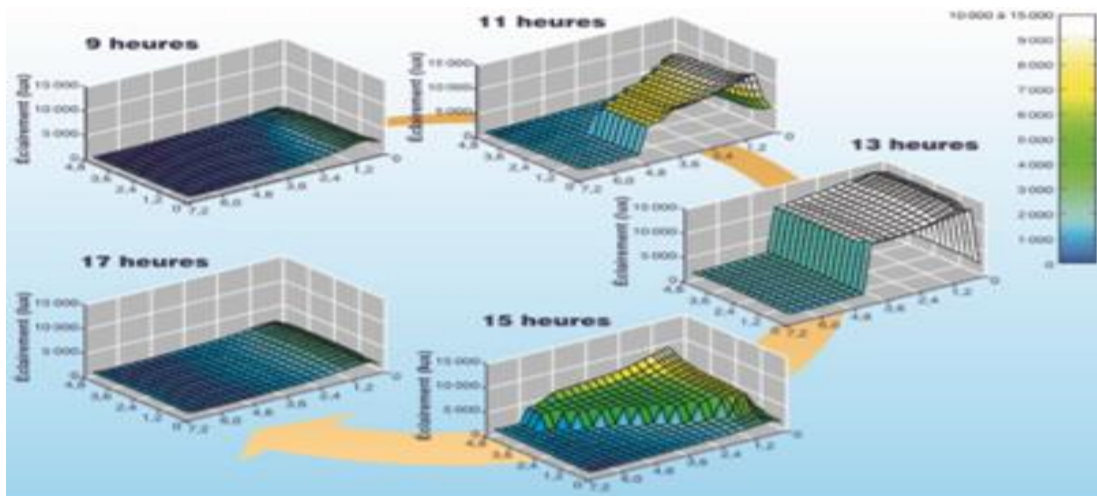


Fig III. 2: Influence de l'heure sur l'éclairement intérieur d'un local

Source: A. Liebard A. De Herde 2006

II.1.2. L'ENVIRONNEMENT BATI (LE SITE).

Le site est également un facteur important affectant la disponibilité de la lumière du soleil à l'intérieur d'un bâtiment. En effet, la conception efficace de la lumière du jour doit commencer à l'étape des caractéristiques du site, avant que les fenêtres ne soient examinées en détail. De gros obstacles peuvent avoir un impact à la fois sur la quantité de lumière qui atteint les fenêtres et sur la répartition de la lumière à l'intérieur d'une pièce.

Chaque lieu spécifique développe sa propre identité vis-à-vis de sa région et de son climat général. La topographie, la végétation, la nature du sol et l'urbanisme influencent entre autres les données météorologiques d'un lieu, chaque site est caractérisé par un microclimat. La lumière disponible dépend donc de l'environnement direct du bâtiment par le jeu de différents paramètres: le relief du terrain, les constructions voisines, le coefficient de réflexion du sol, la végétation, Ces éléments ne doivent pas être négligés. Lors de la conception d'un bâtiment, il est donc important de mesurer l'impact de l'environnement existant sur le nouvel édifice afin

de profiter au mieux des possibilités offertes par le terrain pour capter la lumière.

Le relief du terrain peut provoquer de l'ombre sur un bâtiment ou au contraire favoriser son ensoleillement. L'éclairement d'un site en pente dépend de la géométrie solaire ainsi que de l'orientation et de l'inclinaison du terrain. Les pentes Sud jouissent d'une meilleure insolation que les terrains plats.

II.1.2.1. LA PRESENCE DE MASQUES SOLAIRES.

On appelle masque solaire tout corps empêchant le rayonnement solaire d'atteindre une surface que l'on désire ensoleiller. En ville et en hiver, il est parfois difficile de capter quelques rayons solaires à cause des bâtiments voisins qui leur font écran.

II.1.2.1.1. LES MASQUES LOINTAINS

Les masques lointains sont occasionnés par le relief, les bâtiments voisins ou encore la végétation.

La quantité d'énergie solaire reçue en un endroit dépend souvent de l'ombrage des bâtiments voisins. Même s'il est difficile de modifier les masques lointains, il est important de mesurer leur impact sur le bâtiment étudié. Il est également important de tenir compte de l'impact de la végétation qui peut aussi réduire l'exposition d'un bâtiment au soleil.

Lors de la conception d'un bâtiment en site non dégagé, il importe de mesurer l'impact de l'effet de masquage produit par les bâtiments et les autres obstructions voisines. Il existe plusieurs méthodes pour déterminer précisément les périodes pendant lesquelles le rayonnement solaire se trouve intercepté par un obstacle avant d'atteindre le bâtiment.

S'il est essentiel de tenir compte des ombrages provoqués par les obstacles avoisinant le terrain considéré, il faut également prendre en considération l'évolution de ce site dans l'avenir (bâtiments futurs...). La méthode des projections solaires cylindriques détermine les masques solaires que subit un bâtiment particulier, par la transcription de son panorama sud sur le diagramme solaire relatif à la latitude du lieu considéré.

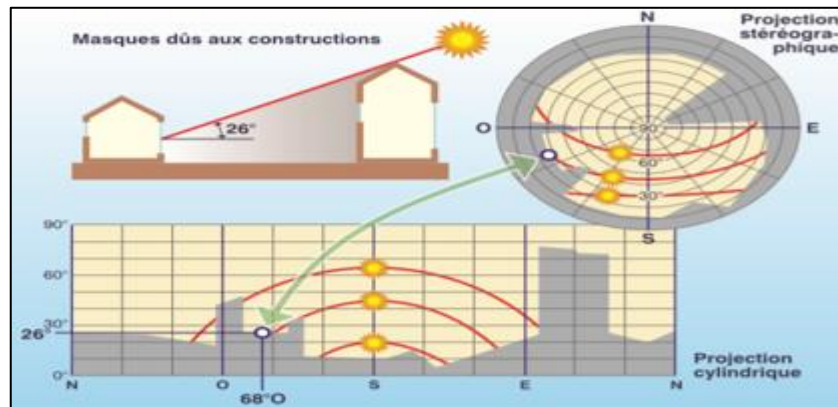


Fig III. 3: Mesure de l'impact des masques lointains.

Source: A.Liebard et A. De Herde 2006

Les arbres à feuilles caduques sont particulièrement intéressants sur le plan du contrôle solaire puisqu'ils perdent leurs feuilles en automne et qu'elles repoussent au printemps, ce qui permet de profiter de la lumière naturelle en hiver tout en créant un ombrage en été. Les paramètres influençant les facteurs de transmission et d'absorption lumineuse d'un arbre sont sa hauteur à maturité, sa vitesse de croissance, l'apparence de ses feuilles et leur mode de chute, ainsi que la distance des branches au sol.

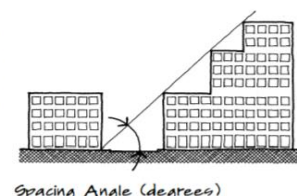
Le tableau III.1 Angles d'espacement de la lumière du jour pour différentes latitudes indique les angles d'espacement de la lumière du jour recommandés pour différentes latitudes. Le tableau suppose des conditions de ciel couvert typiques des latitudes indiquées et des rangées de bâtiments continues.

Tab III. 1: Angles d'espacement de la lumière du jour pour différentes latitudes

Source: Mark DeKay R.A., G. Z.Brown. 2014

Latitude N. or S.	Required Daylight Factor	H/W range	Min. Spacing Angle			% ann. hours 9AM-5PM	COMMENTS
			Low	Medium	High		
0-8	1.0	1.7-2.0	60	70	NR	95	large windows NR
12-16	1.0	1.7-2.0	60	70	NR	90	large windows NR
28-32	1.5	1.5-2.0	50	65	70	85	
34-38	2.0	0.8-2.0	39	60	65	85	
40-44	2.5	0.5-1.8	24	52	61	85	
46-48	3.0	0.4-1.5	22	45	56	85	
52	4.0	0.2-1.0	11	31	45	85	low reflect walls NR
56	4.0-5.5	0.3-1.0	NR	23	37	80-85	low reflect walls NR
60	4.0-6.0	0.2-1.0	NR	21	35	70-80	low reflect walls NR
64	4.5-6.0	0.2-0.8	NR	18	32	60-70	low reflect walls NR
68	5.0-6.0	0.2-0.7	NR	15	30	60-70	low reflect walls NR
70	6.0	0.2-0.5		11	24	60	low reflect walls NR

Daylight Spacing Angles for Different Latitudes
(for 20 fc interior illuminance & overcast sky) NR = not recommended



Les relations entre l'état du ciel, la latitude, la réflectivité des surfaces, l'espacement et la continuité des bâtiments, la forme et la hauteur des bâtiments sont complexes et les angles

d'espacement du tableau n° III.1 peuvent être plus restrictifs que nécessaire dans certaines circonstances.

II.1.2.1.2. LES MASQUES PROCHES

Les masques proches sont des éléments architecturaux liés au bâtiment lui-même, tels que des murs de refends, des surplombs, des light-shelves... pouvant provoquer un ombrage qui dépend de leur taille, de leur réflectivité et de leur orientation.

Ces masques proches, qui font partie intégrante du bâtiment, sont en général intégrés à celui-ci pour lutter contre les problèmes de surchauffe et d'éblouissement. Ils appartiennent donc à la grande famille des protections solaires.

La mise en place d'auvents ou de surplombs fixes destinés à réduire les problèmes d'éblouissement et de surchauffe pénalisera la quantité de lumière reçue par le bâtiment.

Le grand avantage de ce type de protection solaire est que, par ciel serein, elles protègent principalement des rayons directs du soleil, qui sont toujours les plus importants, alors que le rayonnement diffus n'en est que très peu affecté.

II.1.2.2. LE COEFFICIENT DE REFLEXION DU SOL EXTERIEUR (L'albédo).

Pour profiter au maximum de la lumière naturelle, il importe de ne pas négliger le facteur de réflexion des surfaces extérieures environnant le bâtiment. En effet, des surfaces claires et réfléchissantes augmentent la quantité de lumière qui peut pénétrer dans le bâtiment.

Le tableau suivant énumère quelques surfaces et leur albédo:

Tab III. 2: Coefficients de réflexion de quelques sols extérieurs
Source: NBN L13-002 (1972)

Matériau	Albédo (%)
Prés, pelouse	0.18 à 0.23
Herbe sèche	0.28 à 0.32
Prairies au premier plan	0.14 à 0.18
Prairies à l'horizon	0.35
Neige fraîche	0.80 à 0.90
Neige ancienne	0.45 à 0.70
Champs non cultivés	0.26
Ciment – béton	0.55
Macadam	0.18
Gravier	0.15 à 0.35
Eau de mer	0.04

L'albédo est une grandeur sans dimension, il représente le rapport de la quantité de lumière

réfléchi par un objet sur la quantité de lumière qu'il reçoit. L'albédo est exprimé par un nombre qui va de 0 (aucune lumière réfléchi) à 1 (toutes les ondes électromagnétiques sont réfléchies), ou bien est exprimé en pourcentage. Généralement, les surfaces claires ont un fort albédo (réfléchissent l'énergie solaire) et que les surfaces foncées ont un faible albédo (absorbent l'énergie solaire).

Les graphes présentés à la figure montrent la variation de la lumière naturelle dans un bâtiment en fonction du coefficient de réflexion du sol qui entoure le bâtiment, le 15 juin à 13 heures universelles sous ciel couvert. Trois matériaux différents ont été modélisés: la terre ($p = 22\%$), le béton neuf ($p = 35\%$) et la neige ($p = 90\%$). Le local est d'autant mieux éclairé que le coefficient de réflexion est élevé.

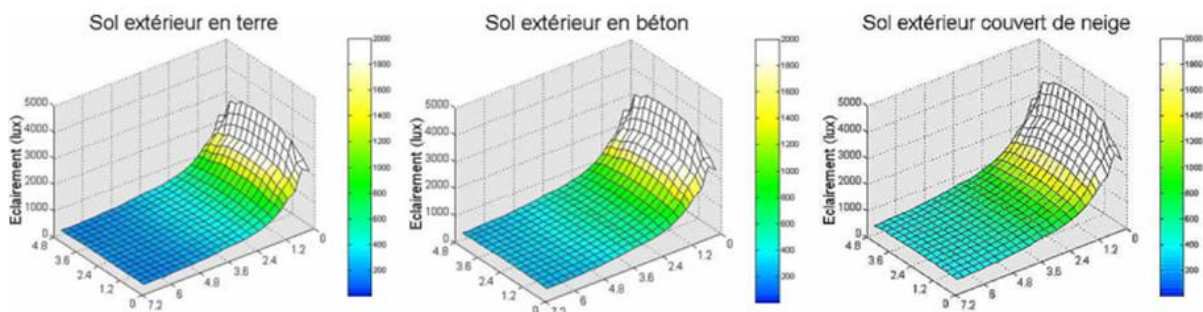


Fig III. 4: Influence de l'albédo sur l'éclairage intérieur d'un local

Source: <https://energieplus-lesite.be/theories/eclairage12/physique-lumiere/eclairage-naturel-et-ses-variations/> consulté le 20/01/2020

II.1.3. LE BÂTIMENT

La profondeur de pénétration de la lumière du jour à l'intérieur est liée à la profondeur du plan du bâtiment, à la hauteur du plancher et à la surface extérieure de la façade. Ainsi, les dimensions du bâtiment, tant sur le plan que sur la coupe, ont des implications fondamentales sur la manière avec laquelle le bâtiment peut être éclairé (N.Baker et K.Steemers, 2002).

II.1.3.1. FORME DU BÂTIMENT

Un paramètre clé de l'éclairage naturel est la forme du bâtiment. Elle détermine la surface exposée à l'environnement extérieur. Elle peut être déterminée à l'aide du rapport de compacité. Les formes de construction compactes permettent de réaliser des économies de matériaux et d'énergie, tout en limitant le gain ou la perte de chaleur (A.Gratia, De Herde 2003). Cependant, les bâtiments à plan allongé se caractérisent par un rapport surface/volume plus faible, ce qui peut faire en sorte qu'une grande partie de la surface de plancher reçoit peu d'éclairage naturel latéral. Une forme de bâtiment allongée, permet d'optimiser l'éclairage

naturel et la ventilation. Bien que cela puisse compromettre la performance thermique du bâtiment, les économies réalisées grâce à l'éclairage naturel dans un bâtiment moins profond peuvent compenser le facteur de gain/perte de chaleur (N.Lechner, 2014).

Un certain nombre de solutions, comme les cours intérieures, les galeries, les atriums et les puits de lumière, qui sont des dispositifs architecturaux courants, peuvent être utilisés pour fournir de la lumière du jour aux bâtiments allongés (profonds) (N.Baker, et K.Steemers, 2002). Ces espaces intérieurs tirent parti de la composante ciel et de la lumière réfléchie pour bénéficier de l'éclairage (Du et Sharples, 2011). Les espaces avec cour sont entourés par les murs d'un ou de plusieurs bâtiments et sont ouverts vers le haut, parfois dans une direction vers l'extérieur. Les atriums sont des espaces clos par les murs et recouverts au sommet par un matériau translucide ou transparent. Les espaces avec puits de lumière sont éclairés par le haut, semblables aux atriums. Les galeries sont des espaces recouverts d'un matériau translucide ou transparent au sommet qui sont ouverts des deux côtés vers l'extérieur (N.Baker et al, 1993).

II.1.3.2. ORIENTATION DU BATIMENT

Une orientation correcte du bâtiment est le principal facteur qui affecte la performance de la pénétration de la lumière du jour. La disponibilité de la lumière du jour dépend non seulement de la latitude, mais aussi de l'orientation du bâtiment, car chaque orientation nécessitera une touche de conception différente. Indépendamment du climat, il est plus avantageux pour les façades principales d'être orientées nord et sud, plutôt qu'est ou ouest, parce que le soleil est à un angle bas dans le ciel à l'est et à l'ouest au lever et au coucher du soleil. Bien que l'orientation des façades Est et Ouest puisse conduire à une plus grande pénétration de la lumière du jour dans le bâtiment vers le début de la matinée et la fin de l'après-midi, il est difficile de faire de l'ombre et presque impossible si une vue doit être maintenue (N.Baker, et K.Steemers, 2002).

L'orientation d'un bâtiment est généralement déterminée en identifiant la direction de la ou des façades principales. La plupart des fenêtres sont généralement placées dans les façades principales. Par conséquent, l'orientation des façades principales est aussi importante pour l'éclairage naturel que pour le confort thermique (N.Baker et K.Steemers, 2002).

II.1.4. LA PIECE:

II.1.4.1. PROPORTIONS ET DIMENSIONS DE LA PIECE:

Au-delà des exigences d'éclairement sur un plan de travail, la profondeur d'un espace a une influence significative sur la répartition de la lumière ainsi que sur le confort visuel.

La relation entre la lumière reçue par une surface près de la fenêtre et celle du mur opposé est particulièrement importante. L'œil humain ne peut s'ajuster qu'aux surfaces les plus lumineuses de son champ visuel ; ainsi, un espace qui est lumineux au premier rang et sensiblement plus sombre au fond peut ressembler à une grotte, même lorsqu'il est éclairé électriquement à des niveaux de lumière intérieure communs. Cet effet psychologique du contraste extrême est fréquent dans les bâtiments allongés (Fontoynt, 2002).

Profondeur du local Il existe une règle de bonne pratique selon laquelle la profondeur de pénétration de l'éclairage naturel dans un local vaut 1, 5 fois la hauteur du linteau de la fenêtre, par rapport au sol, pour une fenêtre classique. Dans le cas d'une fenêtre orientée au sud et équipée d'un lightshelf, cette valeur peut atteindre 2 fois la hauteur du linteau de la fenêtre, par rapport au sol.

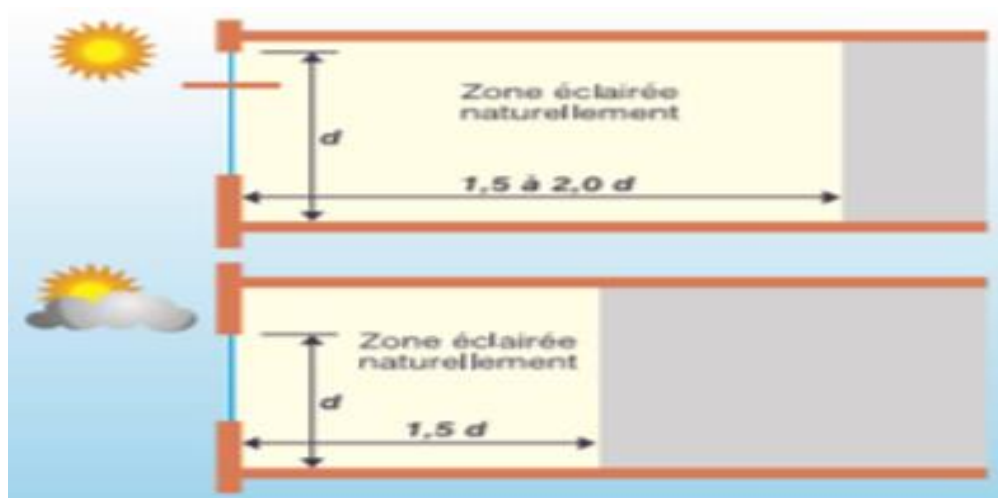


Fig III. 5: profondeur d'une zone éclairée naturellement

Source: Liebard A et De Herde A 2006

Pour un local éclairé unilatéralement, les niveaux d'éclairement chutent au-delà d'une certaine profondeur. On conseille dès lors de placer au moins 80% des surfaces de travail en deçà de cette limite. Pour éclairer naturellement toute la surface d'un local, il est donc préférable de limiter sa profondeur.

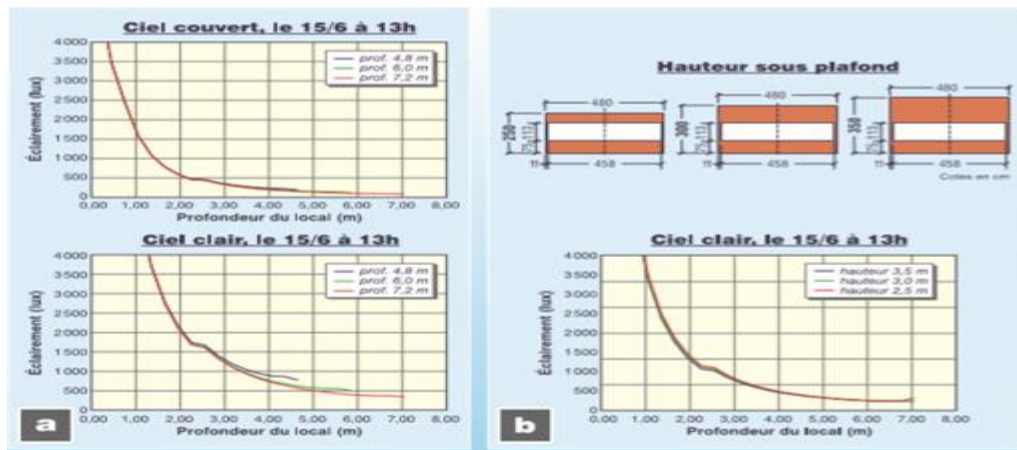


Fig III. 6: influence de la profondeur du local
Source: Liebard A et De Herde A 2006

II.1.4.2. REFLEXION DES SURFACES DE LA PIÈCE (parois et mobiliers)

La réflexion des surfaces d'une pièce (murs, sol, plafond, meubles, etc.) influence la façon dont les occupants perçoivent et vivent l'espace. Lorsque la lumière se répartie sur une surface, elle peut être réfléchie, transmise et/ou absorbée. Le rapport entre la lumière réfléchie et la lumière absorbée est appelé coefficient de réflexion (ρ) et est souvent exprimé en pourcentage ou en rapport. Le rapport entre la lumière transmise et l'énergie incidente est appelé facteur de transmission, (T). Dans les deux cas, une partie de l'énergie de la lumière est absorbée. Le rapport entre l'énergie absorbée par la surface et l'énergie incidente est appelé facteur d'absorption (a). La surface interne peut être éclairée soit par la lumière réfléchie par les surfaces externes, soit par un puits de lumière direct. En plus de la composante externe réfléchie, la lumière réfléchie par les surfaces à l'intérieur de la pièce contribue également à la valeur d'éclairage globale. Une caractéristique importante des composants réfléchis à l'intérieur est qu'ils sont souvent assez uniformes dans toutes les parties de la pièce (N.Baker et K. Steemers, 2002). La façon dont la lumière réfléchie par les surfaces opaques illumine une pièce dépend de la réflexion et de la texture de la surface finie, ainsi que de l'angle d'incidence de la lumière sur la surface.

Réflexion de la surface: Le rapport entre la lumière absorbée par une surface et la lumière réfléchie par la surface détermine l'intensité de la lumière réfléchie. Dans une pièce à fenêtre unique, le mur opposé à la fenêtre contribue à la quantité de lumière du jour dans la pièce en fonction de sa réflexion. L'inter réflexion entre les surfaces se produit généralement dans une pièce et contribue à l'éclairage global de l'espace. Selon (P.Tregenza et M.Wilson, 2011p.48), lorsqu'il y a inter réflexion entre les surfaces, l'éclairage final augmente à mesure que les valeurs de réflexion des surfaces augmentent et que la distribution de la

lumière devient plus uniforme dans un espace.

Texture de la surface: La façon dont une surface diffuse la lumière influence la distribution de la lumière dans une pièce. Trois paramètres peuvent être utilisés pour décrire la plupart des surfaces courantes:

- La réflexion diffuse permet à la lumière d'être réfléchie sous de nombreux angles.
- La réflexion spéculaire permet à la lumière d'être réfléchie sous un seul angle, ce qui permet d'obtenir l'image exacte de l'objet. La source peut être vue.
- Réflexion dispersée ou diffusée (étroite ou large), avec une dispersion étroite (faible dispersion) qui crée la perception d'un point lumineux correspondant aux proportions de la source lumineuse, et d'un large champ d'éclairage réfléchissant la lumière de manière non uniforme et sans tâche lumineuse. (N.Baker et al, 1993).

Angle d'incidence de la lumière: L'aspect des finitions lisses devient plus brillant à mesure que l'angle d'incidence augmente et que le faisceau lumineux devient presque parallèle au plan de surface. L'effet inverse se produit avec une surface mate. (P. Tregenza, et M.Wilson, 2011)

Le sol et le mobilier d'un espace quelconque constituent donc des plans et des surfaces très éclairés, notamment à proximité des ouvertures. Pour cette raison, toute variation de photométrie de ces surfaces entraîne des répercussions importantes sur la distribution des éclairagements intérieurs. Dès lors, si l'on désire favoriser la pénétration de la lumière en profondeur dans un local, il vaut mieux préconiser un revêtement du sol et du mobilier relativement clair, possédant donc un facteur de réflexion élevé.

Les meubles sont parfois de réels obstacles qui empêchent la transmission de la lumière vers certaines parties de la pièce. Il est donc essentiel de réfléchir aux types de meubles à choisir ainsi qu'à leur emplacement de manière à favoriser la pénétration de la lumière naturelle.

II.1.5. LES OUVERTURES

II.1.5.1. INFLUENCE DE L'ORIENTATION DE LA FENÊTRE.

L'orientation des fenêtres a un impact sur la quantité de lumière du soleil et de lumière du jour qui pénètre dans un espace. La trajectoire du soleil à un endroit donné peut avoir une grande influence sur l'éclairage naturel, et l'orientation des fenêtres peut avoir un effet sur le confort visuel des occupants d'un espace. En général, une fenêtre orientée vers le sud reçoit plus de lumière du soleil qu'une fenêtre orientée vers le nord. Les fenêtres orientées vers l'est et vers l'ouest ne recevront la lumière du soleil que pendant quelques heures de la journée (Littlefair,

Paul 2011).

L'organisation spatiale d'un bâtiment devrait toujours être faite en fonction du moment d'occupation des locaux, de l'activité qui s'y déroule et de la course du soleil. Il est préférable de placer les fenêtres de telle façon que le soleil puisse pénétrer à l'intérieur d'un local au moment où il est le plus utilisé. Ainsi, les locaux essentiellement occupés le matin devraient, dans la mesure du possible, être orientés vers l'Est, ceux occupés dans le courant de la journée, vers le Sud et ceux où l'on se tient en soirée, vers l'Ouest. L'apport de lumière naturelle est maximum sur la façade Sud en hiver et en entre saison. Par contre, en été, le rayonnement solaire est plus important à l'Est pendant la matinée et à l'Ouest durant l'après-midi. Les ouvertures orientées vers le Sud offrent donc la meilleure situation puisqu'elles captent un maximum de rayons solaires en hiver et durant l'entre saison. En été, il est plus facile de se protéger du soleil au Sud puisqu'il est plus haut dans le ciel. La façade Sud apparaît donc comme l'orientation privilégiée pour capter la lumière naturelle. Lorsque le ciel est couvert, le rayonnement lumineux est diffusé dans toutes les directions. Les baies vitrées verticales captent donc la lumière de manière similaire, indépendamment de leur orientation. Par contre, lorsque le ciel est clair, l'orientation de la baie vitrée influence directement la quantité de lumière captée. Ainsi, une baie vitrée perpendiculaire aux rayons solaires captera beaucoup plus de lumière que les autres orientations.

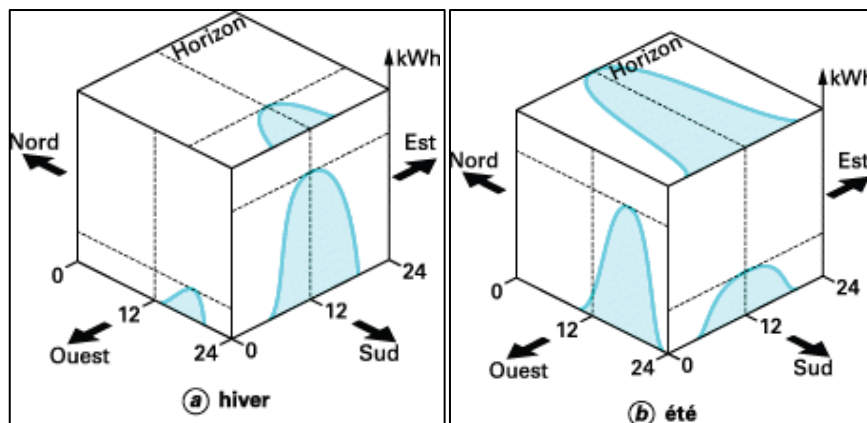


Fig III. 7: Influence de l'orientation de l'ouverture sur l'éclairage intérieur.

Source: <http://www.palea.fr/conception/> consulté le 11/12/2023

Les espaces orientés vers le Nord bénéficient toute l'année d'une lumière égale et du rayonnement solaire diffus. Pendant l'été, elles peuvent devenir une source d'éblouissement, difficile à contrôler car le soleil est bas. Il est judicieux de placer des ouvertures vers le Nord lorsque le local nécessite une lumière homogène, peu variable ou diffuse.

Les espaces orientés vers l'Est profitent du soleil le matin mais le rayonnement solaire est

alors difficile à maîtriser car les rayons sont bas sur l'horizon. L'exposition solaire y est faible en hiver mais elle permet d'apporter des gains solaires au moment où le bâtiment en a le plus besoin. Par contre, en été, l'orientation Est présente une exposition solaire supérieure à l'orientation Sud.

Une orientation Ouest assure une insolation directe en soirée, un éclairage doux et chaleureux. Toutefois, il y a un risque réel d'éblouissement et les gains solaires ont tendance à induire des surchauffes. En effet, les vitrages tournés vers l'Ouest apportent des gains solaires l'après-midi, au moment où le bâtiment est depuis longtemps en régime.

II.1.5.2. INFLUENCE DE LA FORME DE LA FENÊTRE:

En tant que variable de conception, la forme de la fenêtre peut être décrite en fonction de la relation entre la largeur et la hauteur. Ainsi, la forme de la fenêtre peut être classée comme une fenêtre verticale, une fenêtre horizontale ou une fenêtre carrée (intermédiaire). La forme des fenêtres a un impact direct sur la répartition de la lumière du jour dans l'espace intérieur. En général, une fenêtre verticale sur un mur permet une meilleure répartition de la lumière du jour au fond d'une pièce qu'une fenêtre horizontale de la même taille. Ceci est dû au fait que la hauteur de la fenêtre à partir du plancher fini détermine la profondeur.

Une fenêtre horizontale pourrait être placée à un endroit plus élevé sur un mur pour permettre une plus grande pénétration de la lumière du jour, mais cela diminuerait l'aspect de la vue sur l'extérieur.

Lorsque la largeur d'une fenêtre diminue, à surface vitrée identique, la répartition devient moins uniforme, bien que l'éclairement moyen ne varie que très peu. Par contre, l'éclairement du fond du local augmente avec la hauteur de la fenêtre. Pour une même surface vitrée, une fenêtre haute éclaire d'avantage en profondeur. L'idéal réside donc dans une fenêtre horizontale mais dont le linteau est élevé. (A. Liebard et A. De Herde. 2006 ; p.267).

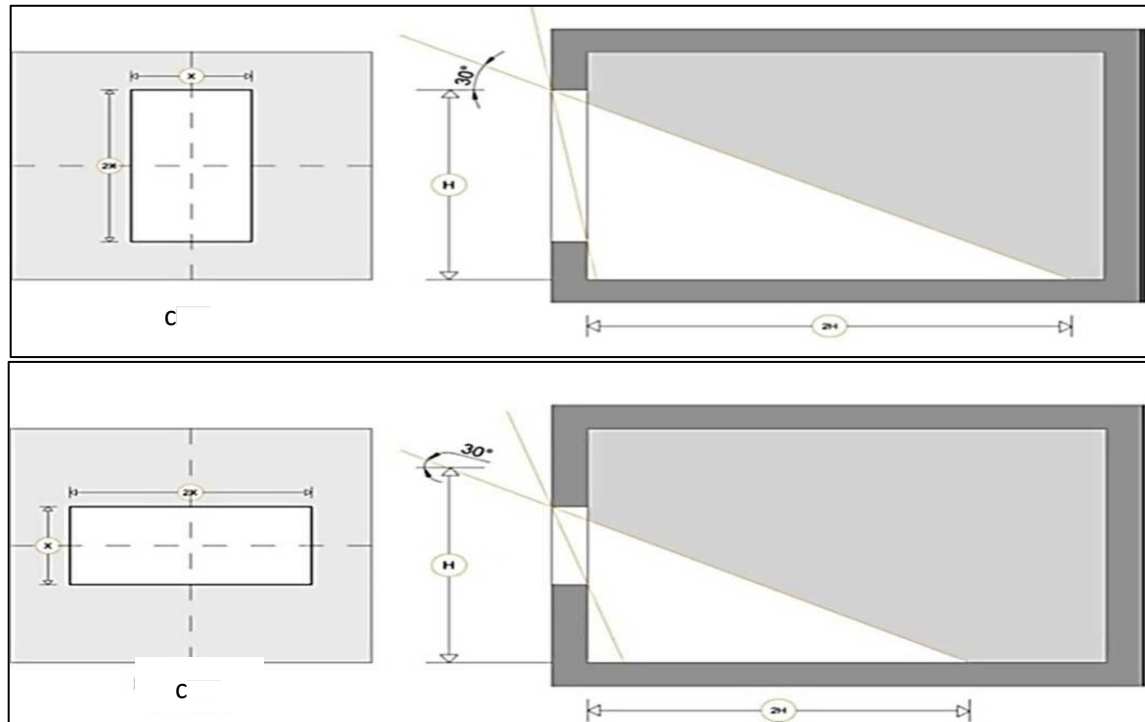


Fig III. 8: Influence de la forme de l'ouverture sur l'éclairage intérieur

Source: Auteur 2022

Comparons deux configurations qui diffèrent uniquement par le fait que l'une est composée d'une seule fenêtre centrée et que l'autre présente deux fenêtres placées symétriquement par rapport au milieu de la façade. Dans les deux cas, les fenêtres ont une superficie vitrée totale identique et avec la même hauteur ; leur allège est située au même niveau par rapport au sol. La moyenne des éclairagements varie peu mais la répartition de la lumière dans la partie du local avoisinant les fenêtres est différente. Dans le cas de deux fenêtres séparées, une zone d'ombre apparaît entre celles-ci, ce qui peut créer des problèmes de confort visuel pour les occupants. Toutes ces simulations ont été réalisées pour un ciel clair le 15 décembre à 13 heures universelles, dans un local orienté vers le sud.

II.1.5.3. INFLUENCE DES DIMENSIONS DE LA FENÊTRE:

Les méthodes de conception pour un éclairage naturel adéquat dans les régions où le ciel est généralement clair et partiellement nuageux diffèrent considérablement de celles qui s'appliquent aux régions où le ciel est principalement couvert (AIE, 2010). Kollmann et Shulz (2006) suggèrent qu'une surface de fenêtre égale à environ 30 % de la surface de plancher est la taille minimale requise pour les espaces résidentiels dans les régions tempérées.

Lorsque la surface vitrée d'un local augmente, pour une même surface de plancher, la disponibilité d'éclairage naturel à l'intérieur de ce local augmente également. (A.Liebard et

A.DeHerde.2006; p.267). La taille des ouvertures d'un bâtiment est un élément déterminant de la quantité de lumière extérieure qui parvient à l'intérieur des locaux. Il n'est cependant pas aisé de déterminer la taille nécessaire à l'apport d'éclairage naturel satisfaisant dans un local. La formule ci-dessous permet de calculer la surface nette requise: la taille de la fenêtre pour un local rectangulaire. Si l'on veut obtenir un facteur de lumière du jour déterminé, on peut calculer la surface de vitrage nette à atteindre en utilisant la formule simplifiée suivante:

$$SR = \frac{2 \times FLJ_{moy} \times S_{tot} \times (1 - \rho_{moy})}{Tl \times \alpha} \dots\dots\dots Equation n^{\circ}1$$

SR = surface nette requise,

La surface nette de vitrage est la surface de la fenêtre à laquelle on a enlevé la surface des châssis. Les concepteurs de la formule conseillent de multiplier la surface nette par 1.25 pour obtenir la surface totale de la fenêtre. Cette valeur devrait être adaptée en fonction du type de châssis.

Le choix du matériau utilisé pour le châssis détermine l'encombrement de celui-ci par rapport à la lumière naturelle. En général, un châssis en bois est plus mince qu'un cadre en aluminium à coupure thermique. Les châssis en PVC sont les plus larges.

FLJ_{moy} = Facteur de lumière du jour moyen,

Les concepteurs de la formule simplifiée préconisent d'utiliser FLJ = 1 si un faible apport lumière du jour est désiré, FLJ = 2 si l'on désire un espace moyennement éclairé et FLJ = 4 si on désire un espace très largement éclairé.

S_{tot} = Surface totale des parois intérieures (toutes les parois: murs, sol, plafond,)

ρ_{moy} = Coefficient de réflexion moyen pondéré des parois intérieures,

Il s'agit d'un ratio compris entre 0 et 1. Il convient de tenir compte des coefficients de réflexion des parois intérieures au local et du mobilier, ainsi que de celui des fenêtres. (Les coefficients de réflexion des parois sont pondérés en fonction de leurs surfaces)

Tl = Coefficient de transmission lumineuse du vitrage,

α = angle vertical de vue du ciel à partir du centre de la fenêtre.

Cette valeur est comprise entre 0 et 90°. S'il n'y a pas d'obstruction, α vaut 90°.

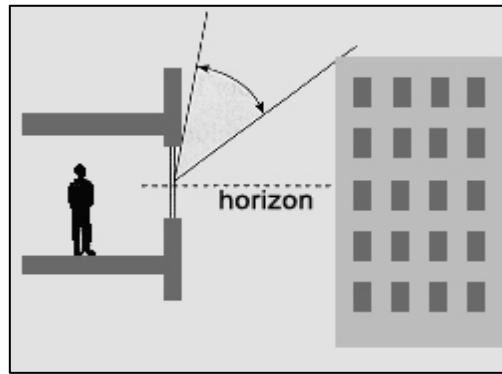


Fig III. 9: Calcul de la surface nette requise

Source: <https://hqe.guidenr.fr/cible-10-hqe/amelioration-confort-visuel-peu-lumiere.php>
Consulté le 11/12/2023

Ce calcul simplifié suppose que le local est rectangulaire et que sa profondeur n'est pas plus importante que 2, 5 fois la hauteur du linteau de la fenêtre (par rapport au sol). Il est valable pour un ciel couvert. Dans les climats à prédominance de ciel clair, la surface vitrée nette peut donc être inférieure à celle calculée ici.

Pour maximiser les apports de lumière naturelle, on peut également augmenter la prise de contact avec l'extérieur en créant des décrochements, des subdivisions, des ondulations de la façade, ... le fait d'interrompre un faux-plafond à proximité de la fenêtre permet d'augmenter la hauteur du vitrage et donc de favoriser la pénétration de la lumière naturelle par cette ouverture. Ce procédé est connu sous le nom de *plafond biaisé* (Figure III.10).

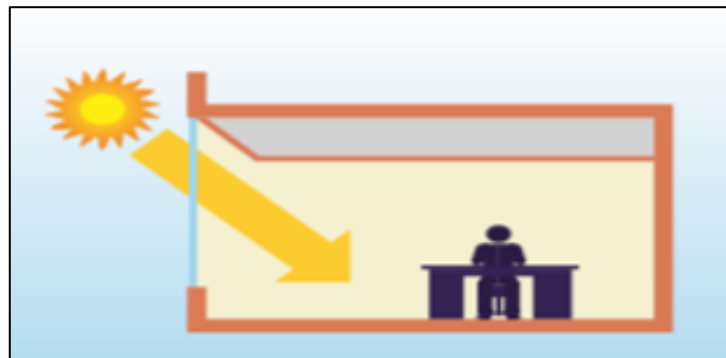


Fig III. 10: Plafond biaisé

Source: Liebard A et De Herde A 2006

II.1.5.4. INFLUENCE DE LA POSITION DE LA FENÊTRE:

L'utilisation correcte d'une fenêtre comme ouverture d'éclairage latéral d'une pièce a une forte influence sur la répartition et le niveau de la lumière du jour. Il peut donc améliorer considérablement l'aspect visuel de l'environnement interne. La capacité d'une fenêtre à répartir la lumière du jour dans les espaces profonds est limitée (surtout par temps couvert).

Ainsi, l'éclairage bilatéral et multilatéral peut être appliqué pour des pièces plus profondes. L'utilisation de l'éclairage bilatéral et multilatéral dépend de la forme du bâtiment et de l'emplacement de la pièce dans le bâtiment (AIE, 2010).

L'emplacement d'une fenêtre dans un mur peut également être décrit en fonction de sa position le long de la hauteur ou de la largeur d'un mur. Le long de la hauteur du mur, la position de la fenêtre peut être décrite comme haute (hauteur de l'appui de fenêtre supérieure à 1,6 m au-dessus du niveau du sol de la pièce), intermédiaire (hauteur de l'appui de fenêtre entre 0,75 m et 1,6 m) ou basse (hauteur de l'appui de fenêtre inférieure à 0,75 m au-dessus du sol de la pièce). Les fenêtres peuvent aussi être classées comme fenêtres centrales, latérales ou d'angle, selon la position le long de la largeur du mur (N.Baker, et K. Steemers, 2002).

Dans les régions à climat semi-aride, un certain nombre de conception peuvent être adoptées pour limiter les apports solaires et optimiser la disponibilité de la lumière du jour pour l'exécution des tâches. Une disposition appropriée consiste à placer la fenêtre en hauteur, avec un seuil au-dessus de la hauteur des yeux. Si la couleur du plafond est vive, cette approche permet d'admettre une quantité suffisante de lumière diffuse dans l'espace intérieur par une fenêtre relativement plus petite. Les fenêtres à bandes verticales à l'angle de la pièce peuvent également être utilisées pour permettre à la lumière diffuse de pénétrer dans un espace en étant réfléchi par un mur intérieur (Koenigsberger et al. 1974). Cependant, cette approche peut limiter le champ visuel.

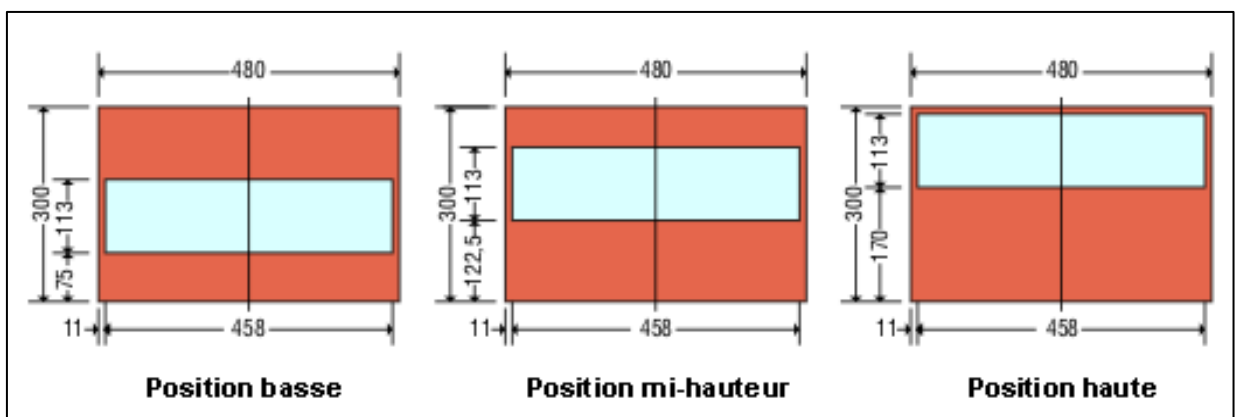


Fig III. 11: l'influence de la position de l'ouverture.

Source: Liebard A et De Herde A 2006

L'emplacement de l'ouverture dans la façade exerce donc une grande influence sur la pénétration de la lumière dans le local. La figure n°III.11 montre que plus la fenêtre est élevée, mieux le fond du local est éclairé naturellement. A surface égale, l'efficacité lumineuse d'une fenêtre est donc maximale au niveau d'un bandeau horizontal, situé en partie supérieure de la paroi.

❖ L'INCLINAISON DE LA FENETRE

Pour capter le maximum de rayonnement solaire direct, l'ouverture doit être la plus perpendiculaire possible aux rayons du soleil. En revanche, par ciel couvert, les performances d'une fenêtre sont avant tout liées à la portion de ciel visible depuis l'ouverture. Ainsi, une ouverture zénithale horizontale couvre une partie de ciel plus importante qu'une fenêtre verticale et apporte donc une plus grande part de lumière naturelle diffuse dans le local qu'elle éclaire. De même, une fenêtre oblique tournée vers le ciel offre déjà un flux lumineux diffus plus important que la fenêtre verticale.

Les ouvertures latérales ne voient qu'une partie du ciel. Par ciel couvert, ces ouvertures verticales ont donc des performances lumineuses nettement plus faibles que les ouvertures horizontales. En outre, la lumière pénètre latéralement dans les locaux, ce qui peut créer des situations de contre-jour ou d'éblouissement à proximité des fenêtres. Cependant, les fenêtres latérales en façade sud transmettent un maximum de rayons solaires en hiver, ce qui favorise l'utilisation des gains solaires, tout en limitant les pénétrations estivales et les surchauffes qu'elles induisent.

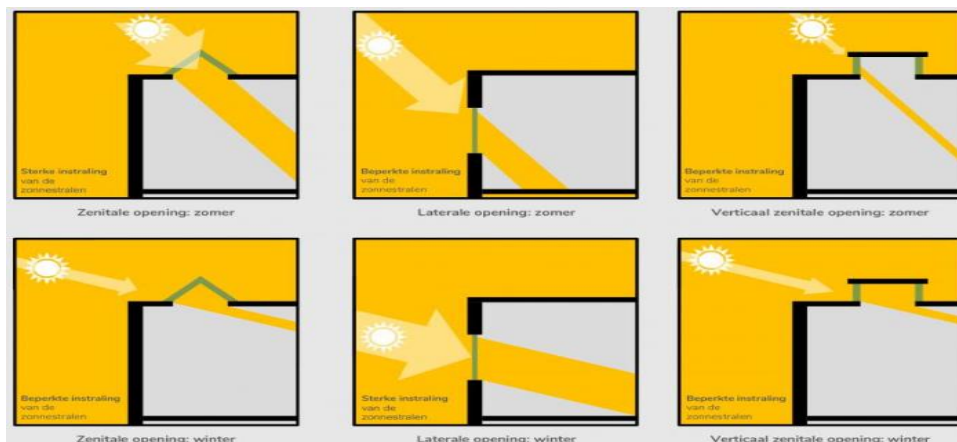


Fig III. 12: différents types d'ouvertures

Source: <https://guidebatimentdurable.brussels/limiter-charges-thermiques/limiter-gains-solaires> consulté le 24/02/2020

Les ouvertures zénithales s'ouvrent sur la totalité de la voûte céleste ; elles induisent donc une large pénétration de lumière diffuse. La distribution lumineuse obtenue par une ouverture horizontale est aussi beaucoup plus homogène que celle produite par une fenêtre verticale, ce

qui limite a priori les phénomènes d'éblouissement.

❖ FACTEUR DE FENESTRATION (Indice de vitrage)

Le rapport de la surface totale des fenêtres par rapport à la surface du plancher de la pièce, communément appelé facteur de fenestration ou rapport fenêtre-plancher, est un paramètre utile pour déterminer la taille de fenêtre appropriée pour un espace intérieur afin d'obtenir une performance lumineuse et un confort visuel. Pour l'éclairage naturel, le facteur de fenestration doit être considéré par rapport aux plans sur lesquels l'éclairage est requis et aux tâches qui sont effectuées dans la pièce (Baker et Steemers, 1996). Pour tous les types de fenêtres et toutes les situations géographiques, l'augmentation du facteur de fenestration augmente le niveau d'éclairement à l'intérieur, réduisant ainsi le besoin d'éclairage électrique (Krafti et al. 2005). Selon N. Baker et ses collaborateurs (1993), le niveau d'éclairement fourni par différents facteurs de fenestration peut être classé comme suit:

- Facteur de fenestration inférieur à 1% - l'éclairage est très faible,
- Facteur de fenestration inférieur à 4 % - éclairage faible,
- Facteur de fenestration entre 4% et 10% - éclairage moyen,
- Facteur de fenestration entre 10% et 25% - l'éclairage est élevé,
- Facteur de fenestration supérieur à 25 % - l'éclairage est très élevé.

II.1.5.5. INFLUENCE DU TYPE DE VITRAGE

La quantité et la qualité de la lumière naturelle transmise à l'intérieur d'un local par une ouverture dépendent du type de paroi vitrée, de sa rugosité, de son épaisseur, de son état de propreté et du nombre de couches de verre utilisées.

Le type de vitrage (simple, double, absorbant, réfléchissant...) affecte directement la transmission lumineuse à travers la fenêtre. Les vitrages clairs sont connus pour leur haute capacité à laisser passer la lumière à l'intérieur des bâtiments.

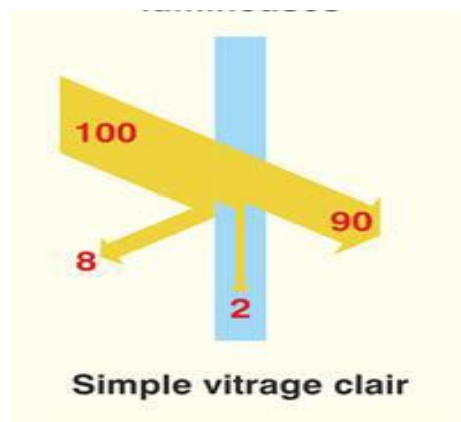


Fig III. 13: Transmission lumineuse pour un vitrage simple clair

Source: <https://sites.uclouvain.be/energie-plus/index.php?id=11259> consulté le 11/12/2023.

Le tableau n°III.3 rapporte les coefficients de transmission lumineuse de différents types de vitrages. Notant que la transmission lumineuse d'un vitrage dépend fortement de son facteur de maintenance.

Tab III. 3: coefficients de transmission lumineuse de différents types de vitrages
Source: A Liebard et A De Herde 2006

Type de vitrage	Facteur de transmission lumineuse (%)
Simple vitrage clair 6 mm	89
Clair 6 mm / air 12 mm / clair 6 mm	79
Vitrage teinté 6 mm / air 12 mm / clair 6 mm	37 à 65
Clair 6 mm / air 12 mm / clair basse émissivité 6 mm	67
Clair 6 mm / air 12 mm / réfléchissant 6 mm	6 à 69

Les vitrages typiques largement utilisés dans les bâtiments résidentiels incluent le verre clair, le verre obscur et le verre teinté. Ce dernier contribue à l'efficacité énergétique. Selon Carmody les principales applications de ce type de verre consistent à réduire l'éblouissement et l'énergie solaire transmise à l'intérieur, ce qui permet également de refroidir la température ambiante dans la pièce (J.Carmody, 2000).

II.2. LES INDICATEURS DE LA PERFORMANCE LUMINEUSE

Pour l'étude de la performance lumineuse, 2 types d'indicateurs sont utilisés: statiques et dynamiques.

II.2.1. INDICATEURS STATIQUES

II.2.1.1. ÉCLAIREMENT

L'éclairement correspond à un flux lumineux reçu par unité de surface (P. Tregenza, D. Loe. 1998). Ce paramètre peut être utilisé pour décrire la quantité de lumière requise pour une tâche visuelle spécifique et pour mesurer l'uniformité de la distribution de la lumière (Brandi et al. 2006). La variabilité des conditions nuageuses du ciel affecte aussi la disponibilité d'éclairement. La disponibilité d'éclairement varie aussi selon la latitude. A l'Equateur les valeurs sont plus élevées, allant de 18.000 à 20.000 lux, tandis qu'aux pôles les valeurs varient de 0 à 500 lux (d'Alençon, 2008).

II.2.1.2. L'INDICE D'UNIFORMITE

L'indice d'uniformité: ce paramètre statique correspond au ratio entre la valeur minimale et la valeur moyenne d'éclairement. Il fournit un indicateur de la distribution de la lumière du jour dans une pièce. Sa valeur va de 0 jusqu'à 1, où 1 représente une distribution optimale et homogène de la lumière. Certaines normes suggèrent des valeurs minimales entre 0,3 et 0,7, selon le type d'éclairage naturel.

II.2.1.3. FACTEUR DE LUMIERE DU JOUR (FLJ)

Le facteur de lumière du jour (FLJ) est défini comme le rapport existant entre l'éclairement intérieur dans un point d'un bâtiment, et l'éclairement horizontal extérieur sous une condition de ciel couvert-CIE (Moon et Spencer 1942, cité par Reinhart et al. 2006). Cette méthode établie il y a plus de 60 ans est encore l'approche la plus couramment utilisée afin de déterminer quantitativement l'éclairage naturel dans les bâtiments.

Bulow-Hübe (2001) propose une classification des valeurs de FLJ permettant d'évaluer la qualité d'un espace éclairé naturellement (tableau n° III.4).

Tab III. 4: Classification de valeurs de FLJ d'après Bulow-Hube
Source: Bulow-Hube 2001

FLJ < 1%	Insuffisant pour la majorité des tâches
FLJ = 2%	Minimum requis
FLJ entre 2% et 5%	Considéré comme acceptable
FLJ entre 5% et 10%	L'espace a l'air substantiellement éclairé par la lumière du jour, ce qui se traduit par une autonomie en éclairage
FLJ > 10%	Possibilité d'éblouissement

Il est important de comprendre que l'inconvénient principal du facteur de lumière du jour est qu'il ne tient pas compte de l'orientation des prises de jour ni de la position géographique du site. Dans le cas des simulations numériques, des erreurs conséquentes peuvent apparaître à cause de la modélisation du type de ciel CIE. Des différences entre mesures et simulations allant jusqu'à 100 % en dessus et au-dessous de la valeur simulée ont pu être observées (Reinhart, 2001). Néanmoins, il persiste comme étant une approche dominante en raison de sa familiarité et simplicité plutôt que comme une mesure fiable de l'éclairage naturel (Mardaljevic, 2008).

II.2.1.4. EBLouisSEMENT

L'éblouissement est l'effet ennuyeux provoqué par un contraste excessif des luminances dans le champ visuel. Généralement, cet effet est causé par une source ou une surface trop brillante

(luminance) dans un champ visuel avec une valeur moyenne beaucoup plus faible. Par exemple, la présence d'une lampe ou d'une fenêtre (Serra et Coch, 2005). On peut considérer que l'éblouissement est une forme de bruit visuel, comme le bruit est associé à un éblouissement acoustique (Brandi, 2006).

II.2.2. INDICATEURS DYNAMIQUES.

La lumière du jour étant dynamique (elle varie selon l'heure et les saisons), la quantité d'éclairage intérieur et extérieur est dépendante du temps (Boubekri, 2008).

Aujourd'hui, les techniques de simulation par ordinateur peuvent prédire avec précision l'éclairage naturel en utilisant des conditions de ciel et soleil réelles qui sont dérivées de bases de données météorologiques. Ces approches de modélisation numérique basées sur le climat peuvent révéler le vrai potentiel d'éclairage naturel des bâtiments et peuvent être utilisées pour prédire une variété de paramètres d'éclairage à tous les stades du processus d'évaluation du design (N. Mardaljevic, 2008).

II.2.2.1. Autonomie lumineuse en éclairage naturel (DA)

L'autonomie lumineuse en éclairage naturel est définie comme le nombre d'heures annuelles (sur une plage horaire définie, par exemple de 8 h à 18 h) qui atteindront une consigne d'éclairement donnée en point d'un local grâce à la lumière naturelle seule. L'avantage de l'autonomie lumineuse par rapport au FLJ est qu'elle prend en compte tous les types de ciel car son calcul (par simulation uniquement) est basé sur des données météorologiques donc plus susceptible de donner une meilleure évaluation de la lumière du jour de l'espace étudié.

II.2.2.2. L'indicateur Eclairement Utile (Useful Daylight Illuminance:UDI)

L'indicateur (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.

II.2.2.3. Autonomie Lumineuse Continue (DAcon)

L'indicateur Autonomie Lumineuse Continue (DAcon) est plus souple que l'autonomie lumineuse décrite plus haut. En effet, le DAcon prend en compte la lumière naturelle qui est en dessous de la consigne minimum fixée. Par exemple, si la consigne est de 500 lux, lorsque

400 lux seront atteints en un point grâce à la lumière naturelle, une pondération est donnée à l'autonomie (dans ce cas 400/500).

II.2.2.4. Autonomie spatiale en éclairage naturel (Spatial Daylight Autonomy - sDA)

L'autonomie spatiale en éclairage naturel est le plus récent des indicateurs basés sur la notion des paramètres basés sur le climat « climate-based metrics », À l'inverse des autres indicateurs, la sDA est une valeur unique pour un local. Elle traduit le pourcentage de surface au-delà de 300 lux pendant 50 % du temps pour les espaces. Lorsque le facteur de lumière du jour moyen d'un local et la consigne à y respecter sont connus, il est simple d'en estimer l'autonomie en éclairage naturel diffus à l'aide d'une courbe de fréquence pour une localisation donnée.

III. PERFORMANCE LUMINEUSE ET EFFICACITE ENERGETIQUE DANS LE BATIMENT

La performance d'un bâtiment peut être définie comme le degré de réponse aux besoins des usagers, en considérant les qualités fonctionnelles, structurelles et environnementales du bâtiment selon (O.Attmann, 2010). De cette façon, il y aurait 3 types de performance dans le cadre du bâtiment:

- *la performance des éléments (matériels et technologies),
- *la performance de ressources,
- *la performance environnementale.

Cette dernière considère la capacité du bâtiment à s'adapter au climat et aux changements environnementaux, ainsi que la provision d'une ambiance confortable et saine.

À travers les aspects de performance des ressources, on retrouve le concept d'efficacité énergétique. L'efficacité énergétique englobe toutes les modifications qui génèrent une réduction de la quantité d'énergie utilisée pour produire une unité d'activité économique ou pour répondre aux besoins d'énergie requise pour atteindre un niveau de confort donné. L'efficacité énergétique est alors associée à l'efficacité économique et comprend des changements technologiques, comportementaux et économiques (Conseil Mondial de l'Énergie, 2004).

La performance de la lumière naturelle est essentiellement évaluée par l'apport d'un niveau minimal de lumière naturelle fourni à l'ensemble des occupants du bâtiment et peut ou non inclure l'accès à des vues extérieures. Elle est directement liée aux dispositifs de contrôle qui permettent de diminuer la part de l'éclairage électrique lorsque le niveau de l'éclairage naturel

a atteint les standards nationaux requis.

Les bénéfices économiques associés à l'usage de la lumière naturelle sont donc intrinsèques à l'ensemble de l'efficacité énergétique du bâtiment puisqu'on diminue l'usage de l'éclairage électrique ; la consommation est optimisée et les coûts amoindris.

De plus en plus les recherches établissent un lien entre la santé et la qualité de l'environnement de travail. Parmi les facteurs susceptibles d'améliorer la productivité des occupants, l'usage de la lumière naturelle se distingue. Des études montrent que cette lumière favorise des performances accrues, notamment pour des tâches nécessitant précision et minutie, ainsi que dans des contextes d'apprentissage. Les gains de productivité associés à l'utilisation de la lumière naturelle pourraient varier de 0,5 % à 5 %. Pour les employés de bureaux américains, cela se traduirait par un bénéfice annuel estimé entre 20 et 180 milliards de dollars (Fisk, 2002). Ce potentiel économique est d'autant plus significatif que la lumière du jour est une ressource renouvelable, sans besoin de transformation technologique.

Cependant, plusieurs facteurs liés à l'usage de la lumière naturelle peuvent avoir un impact négatif sur la qualité de l'environnement de travail. Parmi ceux-ci, on retrouve l'éblouissement, la réflexion excessive, le contraste de luminance entre les tâches, ainsi que la taille et la complexité des stimuli visuels. Pour atténuer ces effets indésirables, la possibilité de contrôle individuel de l'éclairage permet aux usagers d'apporter des ajustements. Par exemple, l'ajout d'un éclairage d'appoint peut aider à réguler le niveau d'éclairement et à réduire le contraste de luminance, ce qui diminue l'inconfort oculaire et les maux de tête souvent associés à un éclairage inadapté (Thomson et Jonas, 2008).

Une grande partie de la littérature a identifié la maximisation de l'efficacité de l'éclairage naturel dans les bâtiments pour deux raisons principales: premièrement, la prise en compte de l'utilisation de la lumière naturelle comme stratégie efficace d'économie d'énergie et, deuxièmement, l'impact physique et psychologique de la lumière naturelle sur le confort humain (Aries et al, 2015 ; Kollmann et Schulz, 2006 ; Koshiba et al, 2015 ; Phillips, 2004 ; Tregenza, 2003 ; Tregenza et Wilson, 2011).

De nombreuses études menées dans le monde entier ont montré que la lumière du jour est importante dans les bâtiments et qu'elle peut avoir un impact positif sur la vue, le confort visuel, le confort psychologique, la santé et la productivité au travail. Des études sont allées plus loin pour montrer que l'utilisation de la lumière du jour comme source d'énergie

renouvelable peut réduire la consommation d'électricité pour l'éclairage et le chauffage (P.Boyce, C.Hunter, O.Howlett; 2003). Les études de L.Heschong montrent que la lumière du jour est intrinsèquement plus efficace que n'importe quelle source électrique parce qu'elle fournit plus de lumens par unité de contenu calorifique. Ainsi, Heschong poursuit en disant que si des techniques d'éclairage naturel appropriées sont utilisées pour remplacer l'éclairage électrique, les économies d'éclairage et de refroidissement peuvent être considérables. (L.Heschong, 2002p 65- 67)

(Santamouris, 1994) a présenté les résultats d'une campagne de mesures dans 186 immeubles de bureaux en Grèce concernant la consommation d'énergie des bâtiments pour le chauffage, l'éclairage naturel et la climatisation. Les économies d'énergie pour l'éclairage peuvent être obtenues soit en utilisant des dispositifs d'éclairage plus efficaces, soit en augmentant l'éclairage naturel dans les espaces. Pour les bâtiments équipés de lampes fluorescentes et fonctionnant de 7 h à 17 h, la contribution énergétique de l'éclairage naturel varie de 40 % de la charge totale d'éclairage si la lumière du jour est fournie d'un côté à 95 % si la lumière du jour entre par quatre côtés des bâtiments. Dans le cas où le volume horaire d'exploitation du bâtiment est prolongé de 7 h à 20 h, la contribution énergétique varie entre 29 % et 68 % de la charge totale d'éclairage.

(Balaras, 2002) a étudié le potentiel d'utilisation optimale de l'énergie et de conservation des ressources naturelles dans des immeubles de bureaux représentatifs du sud et du nord de l'Europe en utilisant la nouvelle méthodologie européenne TOBUS et un logiciel pour la rénovation des immeubles de bureaux. Il a été signalé qu'il existe un fort potentiel de réduction de la consommation d'énergie. Le pourcentage d'heures annuelles sans éclairage électrique dans deux bâtiments en Grèce a été estimé entre 24 et 67% pour les bureaux orientés vers le sud, 42 et 48% pour les bureaux orientés vers le nord, 20 et 61% pour les bureaux orientés vers l'ouest et 14 et 38% pour les bureaux orientés vers l'est.

(Bodart, 2002) a évalué l'impact des économies d'énergie liées à l'éclairage sur la consommation mondiale d'énergie dans les immeubles de bureaux. L'étude s'est basée sur les résultats de simulation de plusieurs configurations de façades pour les quatre orientations principales et trois combinaisons de coefficients de réflexion interne des murs. Elle a conclu que le potentiel d'économies d'énergie primaire est d'environ 40% pour les vitrages habituellement utilisés dans les immeubles de bureaux en Belgique. Ces économies pourraient atteindre 50 % pour les vitrages à haute performance.

(Ghisi, 2005) a présenté une méthodologie pour estimer le potentiel d'économies d'énergie lorsqu'il y a intégration de la lumière du jour avec le système d'éclairage électrique en utilisant des pièces de dix dimensions différentes et cinq ratios de pièces différents. L'analyse énergétique a été réalisée à l'aide du programme Visual DOE pour les conditions climatiques de Leeds au Royaume-Uni et de Florianopolis au Brésil. Par la suite, le potentiel d'économie d'énergie pour l'éclairage a été évalué pour chaque pièce. On a observé que le potentiel d'économies d'énergie sur l'éclairage à Leeds variait de 10, 8 % à 44, 0 % pour toutes les tailles de pièces et tous les ratios de pièces. Dans Florianopolis, le potentiel se situait entre 20, 6 % et 86, 2 %.

(Krarti, 2005) a analysé les effets sur les économies d'éclairage électrique de la géométrie du bâtiment, de la surface et du type de fenêtres, pour quatre emplacements aux États-Unis lorsqu'on utilise l'éclairage naturel. L'ouverture d'éclairage naturel - définie comme le produit de la transmission visible de la fenêtre et du rapport de la fenêtre à la surface de plancher a eu un impact significatif sur les économies d'énergie découlant de l'éclairage naturel. Les économies d'énergie dues à l'intégration de l'éclairage naturel avec l'éclairage artificiel peuvent atteindre 70% de la consommation d'énergie.

IV. PERFORMANCE LUMINEUSE ET ECONOMIE D'ENERGIE DANS LES BATIMENTS RESIDENTIELS.

La performance lumineuse dans les bâtiments résidentiels ne se limite pas à améliorer la qualité de vie des occupants ; elle participe également à une réduction significative de la consommation d'énergie. En intégrant des stratégies de conception lumineuse adaptées au climat, une sélection minutieuse des matériaux et des technologies d'éclairage efficaces, il est possible de créer des espaces qui allient confort et efficacité énergétique. Dans un contexte où la transition énergétique est une priorité, ces pratiques architecturales contribuent à des logements plus durables et éco-responsables.

Il est bien établi que le logement est un facteur clé d'émission de gaz à effet de serre. La consommation d'énergie dans le secteur résidentiel comprend le chauffage des locaux et de l'eau, la climatisation, l'éclairage et l'utilisation d'appareils (Kim et al, 2013).

L'éclairage naturel dans le développement durable des bâtiments est lié aux avantages de la conservation de l'énergie et aux économies réalisées en réduisant l'utilisation de l'éclairage électrique (Dubois et al. 2007). Un certain nombre d'études sur le terrain menées dans

diverses régions et sous différents climats ont montré qu'une bonne conception de l'éclairage naturel peut entraîner des économies d'énergie allant de 30 à 77 % (Doulos et al., 2008 ; Lee et Selkowitz, 2006) (Cantin et Dubois, 2011) ; (Ihm et al. 2009) ; (Li et al.2006). De plus, les systèmes de contrôle de l'éclairage utilisés pendant la phase opérationnelle du cycle de vie d'un bâtiment peuvent également mener à des économies d'énergie (SLL, 2009).

Ainsi, la détermination de la stratégie d'éclairage naturel requise aux étapes préliminaires de la conception du bâtiment résidentiel joue un rôle important dans la réduction de l'énergie consommée par l'éclairage électrique (Ihm et al. 2009).

Kollmann et Schulz (2006, p. 16) affirment que " la maison de rêve d'aujourd'hui doit être avant tout lumineuse et ensoleillée. Rien n'est plus désagréable qu'une pièce sombre où vivre ou travailler". L'œil humain a la capacité de s'adapter à un large éventail de conditions d'éclairage, mais il existe certaines conditions optimales dans lesquelles l'œil fonctionne mieux selon la tâche ou l'activité effectuée (Hopkinson et al., 1966). Un éclairage adéquat facilite la visibilité des tâches visuelles et permet d'améliorer l'exécution des tâches. De plus, la lumière du jour permet d'éclairer les espaces à des niveaux plus élevés qu'avec un éclairage électrique seul (Leslie, 2003).

En Algérie, la consommation de l'électricité pour l'éclairage suscite un certain intérêt qui s'est traduit par l'établissement de programmes ambitieux d'économie dirigés vers tous les secteurs ; notamment le secteur résidentiel et le tertiaire

L'Algérie, connaît également une augmentation perpétuelle et continue de la demande énergétique. Elle est majoritairement dépendante des énergies non renouvelables, car les ressources se trouvent actuellement sur le territoire national. Malgré un contexte géographique et climatique propice au développement des énergies renouvelables, celles-ci restent négligées et inexploitées.

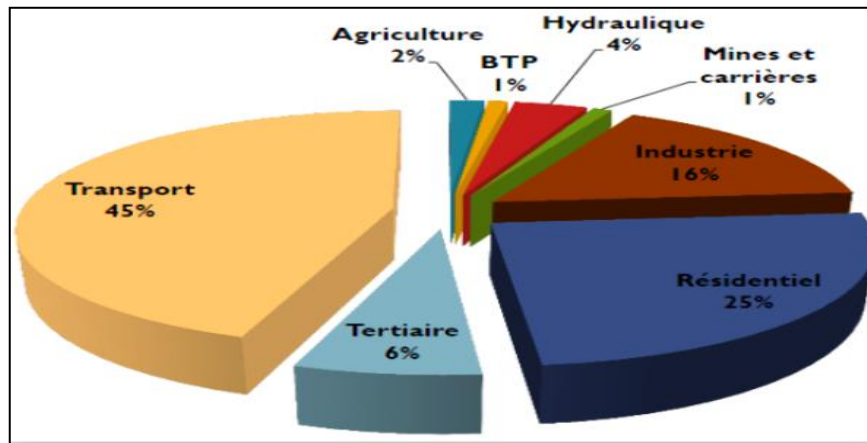


Fig III. 14: Répartition de la consommation finale par secteur d'activité
Source: Rapport APRUE, 2013

En effet, la consommation dans ce secteur est en constante augmentation. Un taux de croissance annuel moyen (TCAC) du secteur résidentiel – Tertiaire est de l'ordre de 6, 28%. La consommation énergétique annuelle moyenne d'un logement est de 1 050 tep. La consommation finale d'énergie par habitant est de 0, 48 TEP en 1990, son évolution passera de 0, 71 en 2000 à 1, 35 PET en 2010 et 1, 88 en 2020.

L'évolution de la consommation énergétique du secteur résidentiel représente 35% de la consommation énergétique finale nationale. Les logements existants ne sont soumis à aucune réglementation en matière d'économies d'énergie. Face à une augmentation constante de la consommation d'énergie électrique favorisée à la fois par la croissance démographique, l'amélioration du mode de vie et l'extension de l'usage des appareils électriques en Algérie, la notion d'efficacité énergétique se pose aujourd'hui avec une acuité d'autant plus que le marché algérien regorge de produits consommateur « très énergétique ».

En conséquence, avec le boom colossal qu'a connu l'Algérie ces dernières années en matière de construction résidentielle avec notamment le programme de la dernière décennie de construction de 2 millions de logements (Kadri et Mokhtari, 2011). Le développement de tels logements s'accompagne nécessairement d'une augmentation substantielle des besoins énergétiques pour le chauffage, la climatisation et l'électricité ; car la diffusion d'un nouveau confort moderne dépend d'une consommation électrique élevée, qui entraîne souvent des coupures de courant aux heures de pointe en raison d'une utilisation maximale.)

CONCLUSION

Il est clair que la lumière naturelle joue un rôle essentiel dans la conception des bâtiments contemporains. Les divers facteurs examinés, tels que l'orientation des fenêtres, les caractéristiques architecturales et les conditions climatiques, soulignent l'importance d'une approche intégrée pour optimiser l'éclairage naturel.

L'exploitation efficace de la lumière du jour permet non seulement d'améliorer le confort des occupants, mais aussi de réduire la consommation d'énergie, contribuant ainsi à des économies significatives et à une empreinte écologique réduite. Les indicateurs de performance que nous avons abordés fournissent des outils précieux pour évaluer et améliorer cette dynamique.

En somme, l'intégration de stratégies d'éclairage naturel dans les projets architecturaux est essentielle pour améliorer la performance lumineuse et l'efficacité énergétique des bâtiments. En exploitant au mieux la lumière naturelle, nous pouvons réduire la dépendance à l'éclairage électrique, ce qui entraîne des économies d'énergie et un impact environnemental réduit.

Chapitre IV
Caractéristiques des logements et
conditions lumineuses à Batna

INTRODUCTION

L'éclairage naturel est un élément essentiel dans la conception des bâtiments résidentiels, influençant la qualité de vie et le bien-être des occupants. Il est lié à des bénéfices tels que l'amélioration de l'humeur et la productivité, tout en jouant un rôle crucial dans l'efficacité énergétique. Dans un contexte où la réduction de la consommation énergétique est primordiale, la tendance à limiter la lumière naturelle peut paradoxalement nuire à la qualité de vie et augmenter les besoins en éclairage électrique.

La région de Batna, avec son ensoleillement généreux, offre une occasion unique d'exploiter cette ressource tout en respectant les exigences d'efficacité énergétique. Ce chapitre vise à mettre en lumière les défis associés à l'intégration de la lumière naturelle pour favoriser un cadre de vie sain et durable.

I. PRESENTATION DE LA VILLE DE BATNA:

I.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE:

Située au nord-est de l'Algérie, faisant partie des hauts plateaux, d'une Superficie de 12.038, 76 kms². Elle se trouve à une latitude de 35°45'Nord et une longitude de 06°19'E à une altitude de 821, 29m. La ville de Batna est considérée historiquement comme étant la « capitale » des Aurès., elle est la 5e plus importante ville du pays avec 1 128 030 habitants et la plus haute agglomération d'Algérie bien qu'elle ait été construite dans une cuvette entourée de montagnes située à 435 km au sud-est d'Alger et à 113 km au sud-ouest de Constantine.

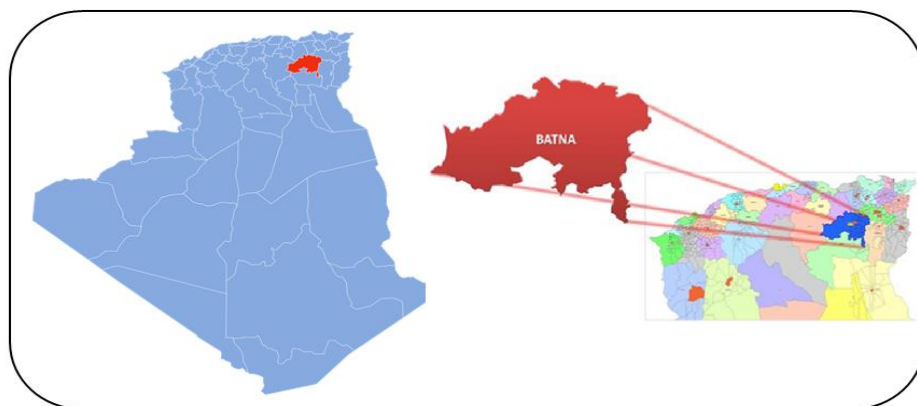


Fig IV. 1: La situation géographique de la wilaya de Batna.
Source: Monographies des Wilayas d'Algérie. Consulté en décembre 2023 sur https://interieur.gov.dz/Monographie/article_detail.php

Elle est limitée:

- Au Nord par les wilayas d'Oum El Bouaghi, Mila et Sétif.
- A l'Est par la wilaya de Khenchela.
- Au Sud par la wilaya de Biskra.
- A l'Ouest par la wilaya de M'Sila.

Sur le plan administratif et après les différents remodelages territoriaux (1974, 1984, 1990), la wilaya de Batna compte actuellement 21 daïras et 61 communes.

La commune de Batna (la ville) est située au Nord-est de la wilaya dans la partie centrale du territoire wilayat. D'une superficie totale de 12 038, 76 Km², culmine à 1040 mètres d'altitude limitée administrativement par les communes de Seriana et Oued El Ma au Nord ; la commune de Fesdis à l'Est ; les communes d'Ouyoun El Assafer et Tazoult au Sud et au Sud-Est ; la commune d'Oued Chaaba au Sud-ouest.

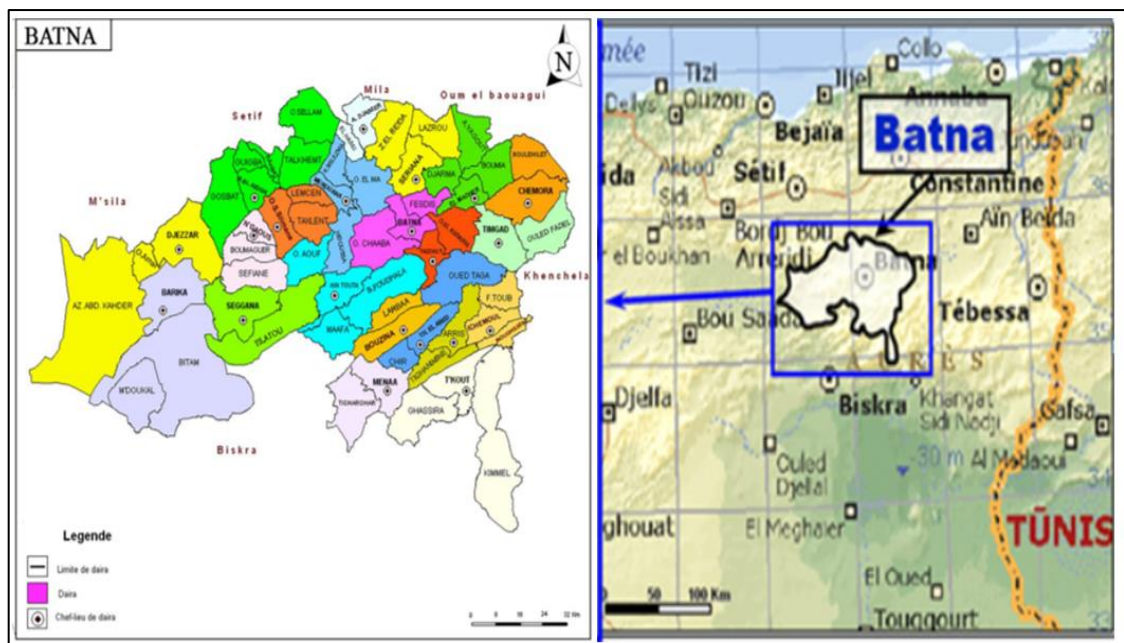


Fig IV. 2: Découpage administratif de Batna.

Source: Monographies des Wilayas d'Algérie. Consulté en décembre 2023 sur https://interieur.gov.dz/Monographie/article_detail.php

I.2. APERCU HISTORIQUE:

La Wilaya de Batna est l'une des plus anciennes Wilayas de l'Algérie indépendante. Son histoire très lointaine, se confond avec l'histoire de la Berbérie en général et de ses Aurès en particulier, que de multiples récits essayèrent d'expliquer, et ce, depuis l'émergence des royaumes Numides ; et des multiples civilisations qui se succédèrent sur son territoire. Depuis les phéniciens, en passant par les Romains, Vandales, Bysantins, Arabes, Turcs et Français,

chaque période est riche en événements et péripéties qui ne peuvent que la glorifier pour son refus de toute forme de domination, où seule la foi musulmane atténua ses révoltes perpétuelles. En tant que circonscription administrative des temps modernes, sa création se fut durant l'occupation française ; peu après l'occupation de Constantine, lorsque le Duc d'Aumale, nommé gouverneur en 1843. En effet, Une colonne sous les ordres du colonel Buttafoco se met en route fin janvier 1844. Elle bivouaque aux environs d'Ain M'lila, puis à Ain Yagout au mois de Février ; et au mois de Mars cette colonne arriva à l'entrée Est de l'actuelle ville de Batna. Le Duc d'Aumale, réunissant son état-major décida alors, de créer en cet endroit, un camp militaire.

Aussitôt, le camp est assailli par les Ouled Soltane, qu'au mois d'Avril, il sera déplacé à environ 2 Kms au Sud Est, tout près des ruines de Ras El Aioun, où se bâtit le Village Nègre. En ce nouvel endroit qu'on appela: Ras El Aioun - Batna ; Quelques maisonnettes se construisirent autour du camp et la ville commença à naître.

Par un Décret de 1848, la ville naissante reçut le nom de Nouvelle Lambèse et en Juin 1949, un autre Décret l'appela BATNA.

Le secteur Ouest de la ville constitué de jardins et de prairies est alors baptisé: La verdure

Peu après, les Infrastructures qui se construisirent furent:

- Les deux écoles (Jules-Ferry et Gambetta) en 1851
- La justice de paix en 1853.
- L'Eglise en 1858 (Consacrée en 1863).

Au mois de Février 1860, un autre Décret fit de Batna une Commune de plein exercice. Elle comptait, à cette époque, 5 990 habitants: 1 947 français 647 juifs. En ville l'état d'urgence s'installe et la répression est de plus en plus brutale. On quadrilla les quartiers et des zones interdites sont créés.

I.3. SITUATION DEMOGRAPHIQUE:

La population de la wilaya de Batna est estimée à la fin 2023 à 1.506.000 Hab. La commune de Batna avec 373.632 Hab est la plus peuplée suivie de la commune de Barika qui compte 149.460 Hab. La densité moyenne de la population à la fin de 2023 est de 125 Habitants/Km².

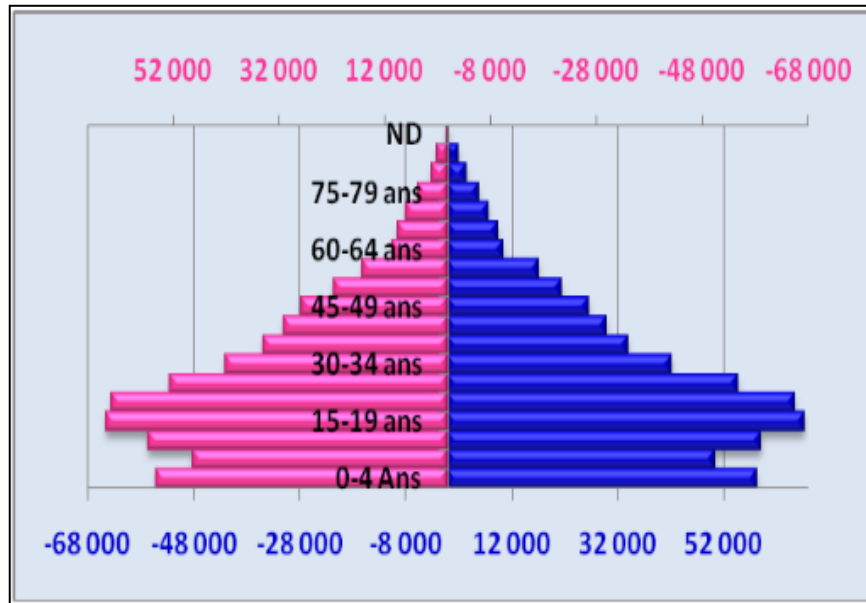


Fig IV. 3: Répartition de la population de la Wilaya de Batna par sexe et par âge.

Source: Rapport de l'Office National Des Statistiques 2019

En sa qualité de chef-lieu de wilaya, mais également de par sa localisation géographique avantageuse, la ville de Batna concentre en son sein un potentiel économique et social conséquent qui en fait un important pôle d'attraction. La ville de Batna a connu une forte croissance démographique en raison des facteurs suivants: - La croissance naturelle. - L'exode rural. - Les mouvements de migration inter- régions.

Tab IV. 1: Evolution de la population de la commune de Batna

Source: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Batna>.graphiqueconsulté le 12-11-2019

L'année	1960	1977	1987	1998	2008	2010	2025
La population	55017	98962	181601	242400	298877	316182	499214

La densité de la ville de Batna est répartie selon 9 secteurs comme le montre le tableau n°02 indiquant une différence dans la répartition de la densité de la population d'un secteur urbain à un autre.

Tab IV. 2: La densité de la population.
Source: rapport de la DPAT de Batna 2012

Secteur	Superficie (ha)	Population 2010(Hab)	Densité 2010(Hab/ha)	Classement par Secteur
Centre Ville	225 .52	22057	98	05
Quartiers Traditionnels (Z'mala, cité chihki)	112.26	32914	293	02
Bouakal	223.33	66180	310	01
Kechida	349.19	42647	122	04
Parc à Fourrage	437.4	46377	106	07
Bouזורane	239.83	12015	50	09
Chouhada	142.88	25800	181	03
Route de Tazoult	282.85	36560	157	10
ZHUN 1	330.77	31589	96	06

Elle a été découpée en 12 secteurs par la DPAT (direction de la planification et d'aménagement du territoire) de la wilaya de Batna. La figure 04 montre la distribution de la densité de la population en 2010. Selon la carte mise ci-dessous, les différentes parties de la ville de Batna sont réparties selon la densité de population.

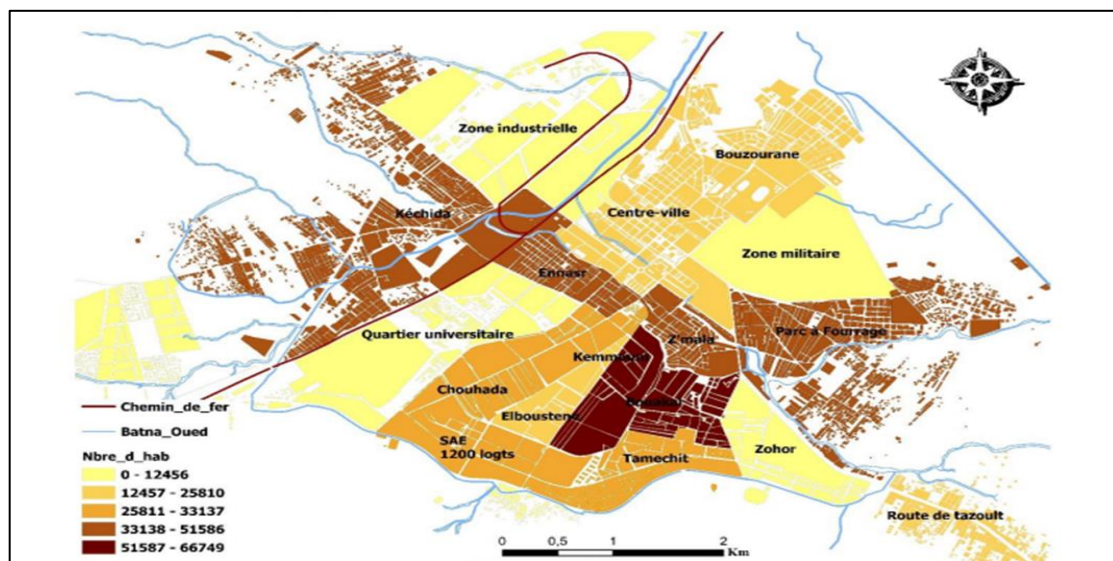


Fig IV. 4:La densité de la population

Source: rapport de la Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire 2010

La zone industrielle présente la zone la moins peuplée de la ville, tant dit que la zone de Bouזורane et Kechida et ZHUN2 présentent les quartiers faiblement peuplés ; pour les quartiers de Bouakal, Z'mala et parc à Fourrage ainsi que cité chouhada se sont les zones de concentration de population et d'un degré moindre pour le centre-ville et quartiers traditionnel (cité Ennasr).

I.4. LE RELIEF:

Le territoire de la wilaya de Batna s'inscrit presque exclusivement dans un ensemble physique constitué par la jonction des atlas tellien au Nord et saharien au Sud.

La jonction des deux Atlas (Tellien et Saharien) constitue la particularité de la Wilaya et organise en même temps la répartition des différents milieux physiques définis comme suit:

Les hautes plaines telliennes: Au Nord, nous distinguons le domaine des hautes plaines Telliennes qui matérialisent la limite Nord de la Wilaya, particulièrement avec la série des petits "chotts" tels que: Chott Beida, chott Taricht, Sebkhet Ez Zemoul...etc.

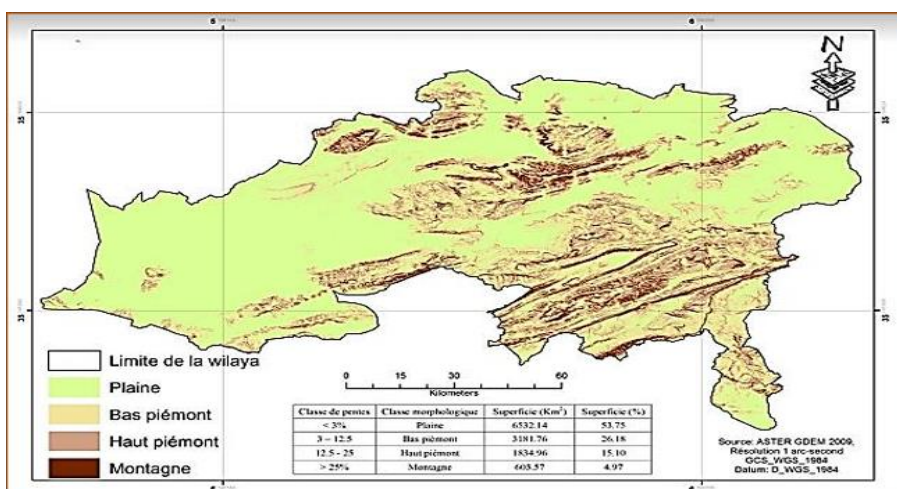


Fig IV. 5: L'ensemble physique de la wilaya de Batna.

Source: ASTER GDEM. Consulté le 31/12/2023 sur <https://asterweb.jpl.nasa.gov>.

Dans cette partie de la Wilaya les altitudes varient de 800 à 1000 m et les pentes excèdent rarement 3%. Chelia (considéré comme le plus haut point de la Wilaya et même de l'Algérie du Nord).

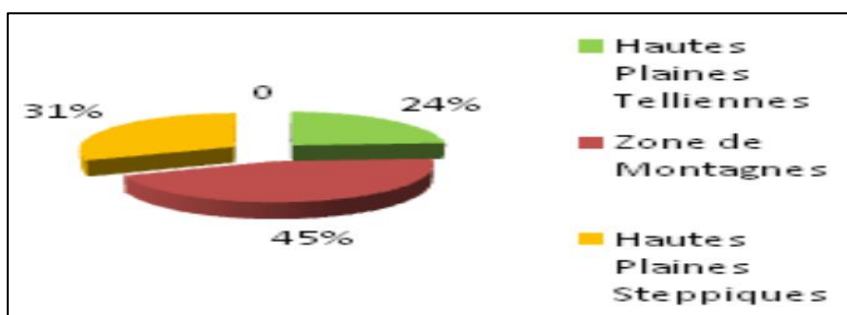


Fig IV. 6: structure physique très hétérogène

Source: https://interieur.gov.dz/Monographie/article_detail.php?lien=1736&wilaya=5
consulté le 31-12-2023

La wilaya de Batna, vaste espace faisant charnière entre le Nord-Est et le Sud-Est du pays ; est un territoire de contraste présentant une structure physique très hétérogène, avec trois

régions naturelles distinctes: Une zone des hautes plaines au Nord, Une zone montagneuse au centre et au Sud ; et une zone Ouest à dominance steppique.

- Les Hautes plaines Telliennes ; 2.934 Km²(24%)
- La Zone montagneuse, 5.340 Km² (45%)
- Les Hautes Plaines steppiques. 3.764 Km² (31%)

II. CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES DE LA VILLE DE BATNA

II.1. LA CLIMATOLOGIE: (Un régime bioclimatique semi-aride)

L'approche climatique est abordée par les caractéristiques des précipitations annuelles et une approche des saisons pour montrer l'impact du relief sur la répartition spatiale des précipitations.

Le massif de l'Aurès s'individualise comme un ensemble homogène sur le plan topographique où les limites sont très nettes faces aux hautes plaines au Nord et face au présahara au Sud.

Les sommets dépassent largement 2000 mètres et sont les plus élevés de l'Algérie septentrionale. Le massif est bien arrosé, les sommets reçoivent plus de 1000 mm/an comme le Djebel Chélia et le Djebel Aidel qui atteint 1200 mm/an.

Mais le massif connaît une diversité de climats car les précipitations varient d'une station à une autre. La répartition spatiale des pluies obéit à deux paramètres:

A la répartition hypsométrique: les secteurs les plus arrosés sont les plus élevés

A, la disposition des reliefs NE- SW donc perpendiculaire au flux perturbé du NW; en fonction de ces deux paramètres l'analyse climatique fait ressortir trois secteurs de pluviosité distincts: Un secteur humide/

Un secteur moyennement arrosé/

Un secteur sec.

Le secteur humide: Correspond aux montagnes et aux sommets dépassant 1800 mètres (Djebel Mahmel, Chélia, l'Ichmoul, l'Aidel), cette zone se localise dans une direction Est - Ouest et se situe au Nord du massif des Aurès. Ce secteur reçoit des précipitations oscillantes entre 900 et 1200 mm/an.

Le secteur aux précipitations moyennes: Correspond au versant Nord du massif et représenté par les stations: Foug el Gueiss et Foug Toub, il s'étale loin vers l'Ouest pour inclure le Djebel Ich Ali et toute la forêt de Sgag dont les sommets culminent à 1809 et 2009 mètres. Dans ce secteur les précipitations moyennes oscillent entre 400 et 800 mm/an. Elles s'expliquent surtout par leur exposition face aux influences du Nord.

Le secteur sec: Les précipitations oscillent entre 200 et 400 mm/an et se répartissent à l'Ouest et au Sud du massif. Le contraste s'explique par un contexte géographique. Pour le secteur Ouest, le couloir NE-SW localisé entre les monts de Bélezma et le massif des Aurès, la faiblesse des précipitations est due à l'effet orographique puisqu'elles sont dominées par les monts de Bélezma au NW qui sont de véritables remparts empêchant les pluies de passer au SE. Le secteur Est: il concerne la retombée du massif des Aurès où la pluviométrie diminue rapidement jusqu'à 200 mm, voire 150 mm/an à Biskra. Le secteur sec est plus continu et englobe l'ensemble de la forêt des Beni Imloul. Cette diminution est causée par l'abaissement du relief et d'autre part aux hautes pressions sahariennes par le Sud, surtout par l'ouverture des larges vallées de l'Oued El Abiod et l'Oued Abdi où l'isohyète 300 mm pénètre profondément jusqu'à Arris (Monographie de Batna rapport de 2023).

A Batna, le climat est donc principalement semi-aride, influencé par l'altitude et la proximité des montagnes des Aurès. Les précipitations sont faibles et irrégulières, souvent concentrées en automne et au printemps, avec une moyenne annuelle d'environ 300 à 400 mm. Les étés sont chauds et secs, avec des températures dépassant souvent les 35°C, tandis que les hivers sont froids, avec des gelées fréquentes en raison de l'altitude (plus de 1 000 mètres). Bien que la ville connaisse des périodes de sécheresse, elle peut parfois être affectée par des chutes de neige en hiver.

II.2. TEMPERATURES:

Les températures moyennes mensuelles relevées sont les suivantes:

La température moyenne est de 4°C en janvier et de 35°C en juillet. Durant l'hiver la température descend en dessous de zéro la nuit avec souvent des gelées (présence de verglas sur les chaussées). Durant l'été la température peut atteindre les 45°C à l'ombre.

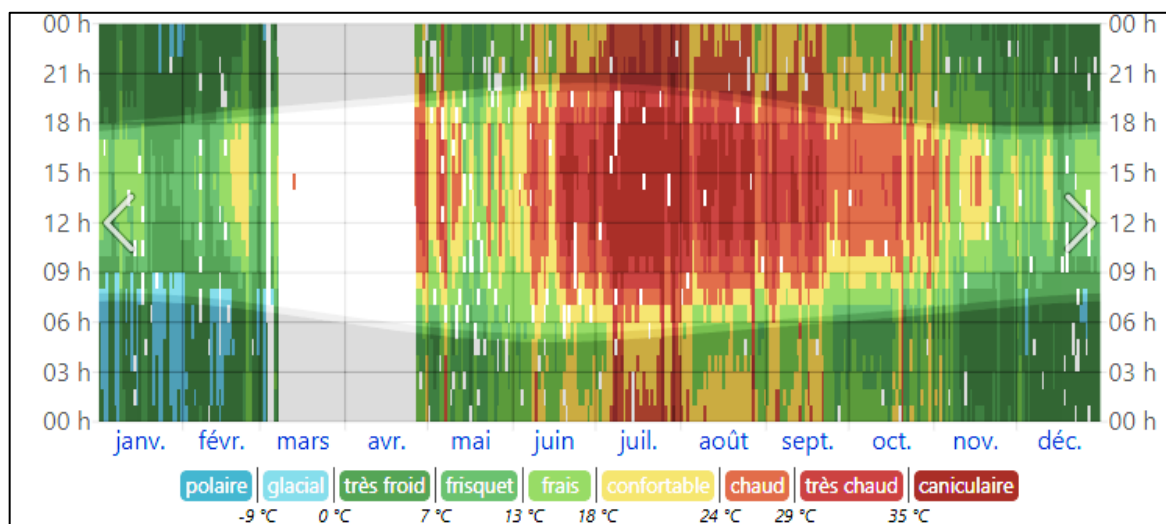


Fig IV. 7: Température horaire en 2023

Source: <https://fr.weatherspark.com> consulté le 04-11-2023

La saison froide: s'étale de Novembre à Février et pouvant atteindre le mois de Mars. C'est ainsi que l'on enregistre des moyennes ne dépassant pas 9°C durant 4 mois dans tout le territoire de la Wilaya. Cependant les amplitudes thermiques varient entre 6 et 10°C entre les mois de Décembre et Mars, et augmentent entre les mois d'Avril et Octobre, pouvant atteindre 18°C.

La saison chaude: elle est comprise entre le mois d'Avril et Octobre, cette saison est caractérisée par les moyennes annuelles maximales dépassant 35°C pour le mois de Juillet et Août, alors que les valeurs thermiques maximales sont enregistrées d'Avril à Octobre.

II.3. PRECIPITATIONS:

Le graphique n°IV.8 montre la répartition mensuelle des précipitations à Batna sur une année. On observe une prédominance des jours secs, représentés en jaune, tout au long de l'année, avec une augmentation marquée des précipitations en hiver et au printemps. Les mois de janvier à avril sont les plus arrosés, avec des précipitations allant de 10 à 50 mm, et des épisodes pouvant atteindre 100 mm, notamment en février. Ces mois sont également marqués par quelques jours de neige, indiqués par une ligne noire.

En revanche, la période estivale, de juin à septembre, est caractérisée par un nombre très élevé de jours secs, dépassant souvent les 20 jours par mois, avec des précipitations généralement inférieures à 5 mm. Cela confirme le climat semi-aride de la région, où les précipitations sont rares et irrégulières, avec une forte concentration en fin d'automne, en hiver et au début du printemps.

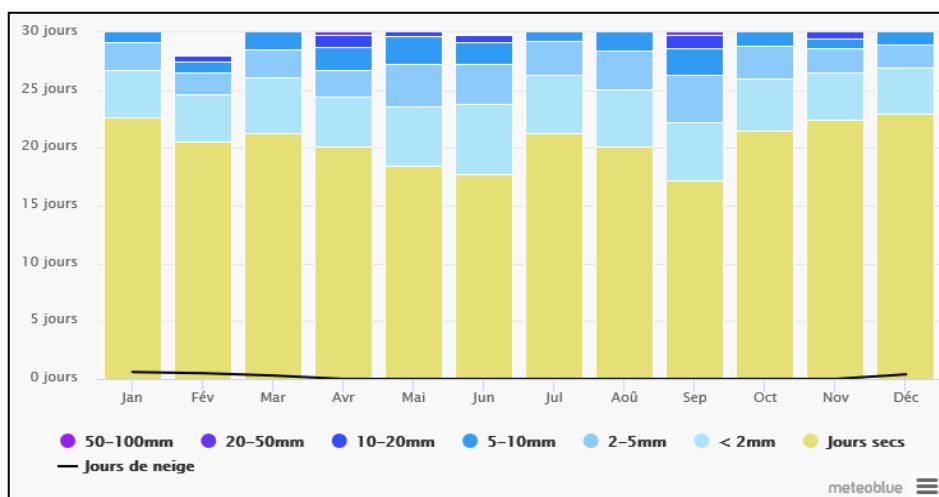


Fig IV. 8: graphe indiquant les quantités de précipitation.

Source: Consulté sur <https://www.meteoblue.com> le 04-12-2023

La gelée blanche: La gelée qui se manifeste dans la région par les ravages causés à l'agriculture. En effet, elle est fréquente durant surtout les mois de Décembre, Janvier et début Février et peut parfois s'étendre jusqu'au mois d'Avril.

II.4. HUMIDITE:

La période s'étalant du mois d'octobre au mois de mars, est celle où l'humidité est supérieure à 50%, avec un pic aux mois de décembre et janvier (70% et plus). Juillet et Août sont les mois les plus secs avec un taux d'humidité de l'ordre de 33%.

La moyenne journalière d'une année est de l'ordre de 53% selon les données d'ONM (2018). L'humidité relative de l'air, exprimée en pourcentage, est donnée en moyenne mensuelle dans le tableau ci-après:

Tab IV. 3: L'humidité relative moyenne.

Source: Rapport du ONM. de Batna 2018

Mois	J	F	M	A	M	J	J	O	S	O	N	D
Moyenne	70	67	57,67	46,33	44,67	40	33	34,33	44,67	58,33	66,33	71

II.5. LES VENTS DOMINANTS:

Les vents qui soufflent dans la région sont faibles à modérés, avec comme vents dominants ceux du Nord-est pendant la saison estivale et ceux du Sud-ouest pendant le reste de l'année.

Le sirocco: Le nombre moyen de jours de sirocco observé par an est de 19, Juillet est le mois où il sévit le plus avec environ 5 jours. Les orages: De Mai à Septembre, on observe plus de

03 jours d'orage par mois avec Juin, Août et Septembre les mois les plus orageux.

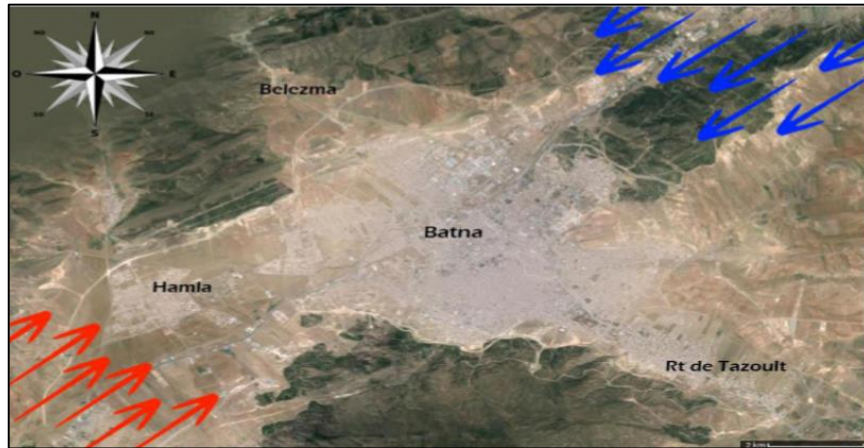


Fig IV. 9: Direction des vents dominants à Batna.

Source: Google Earth. Consulté le 01-05-2023 sur <https://earth.google.com>

La figure n°IV.10 montre clairement la répartition des vents selon leurs intensité et leur orientation. Les segments les plus longs indiquent les directions où les vents sont les plus fréquents, tandis que les variations de couleur représentent les plages de vitesse.

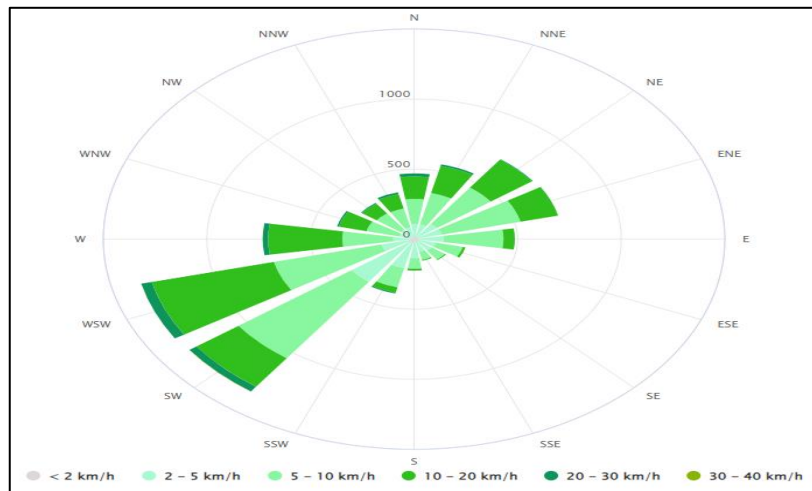


Fig IV. 10: La rose des vents de la ville de Batna

Source: Consulté sur <https://www.meteoblue.com> le 23-12-2023

II.6. LE POTENTIEL SOLAIRE DE LA VILLE BATNA

D'après les données mentionnées sur le graphe ci-dessous (figure n°IV.11), on constate que Batna jouie d'un important ensoleillement, où l'insolation atteint les 337 heures durant le mois de juillet, et diminue jusqu'à atteindre les 125 heures durant le mois de décembre. En tout ; la durée d'ensoleillement atteint environ 2935 heures/an.

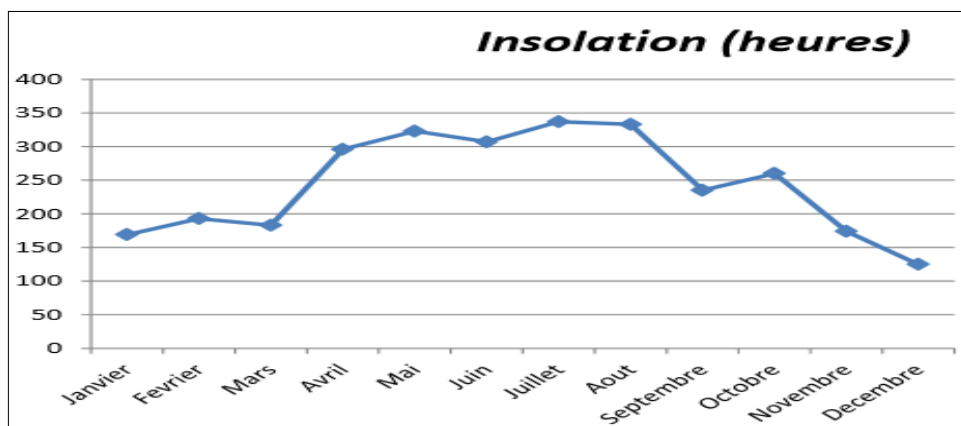


Fig IV. 11: graphe indiquant l'insolation par mois
 Source: Consulté sur <https://www.meteoblue.com> le 23-12-2019

Le rayonnement solaire incident en ondes courtes quotidien moyen connaît une variation saisonnière extrême au cours de l'année. La longueur du jour à Batna varie considérablement au cours de l'année. En 2018, le jour le plus court est le 21 décembre, avec 9 heures et 45 minutes de jour ; le jour le plus long est le 21 juin, avec 14 heures et 34 minutes de jour.

La période la plus lumineuse de l'année dure 3, 6 mois, du 1 mai au 21 août, avec un rayonnement solaire incident en ondes courtes par mètre carré supérieur à 6, 9 kWh (fig. IV.12). Le jour le plus lumineux de l'année est le 11 juillet, avec une moyenne de 8, 0 kWh.

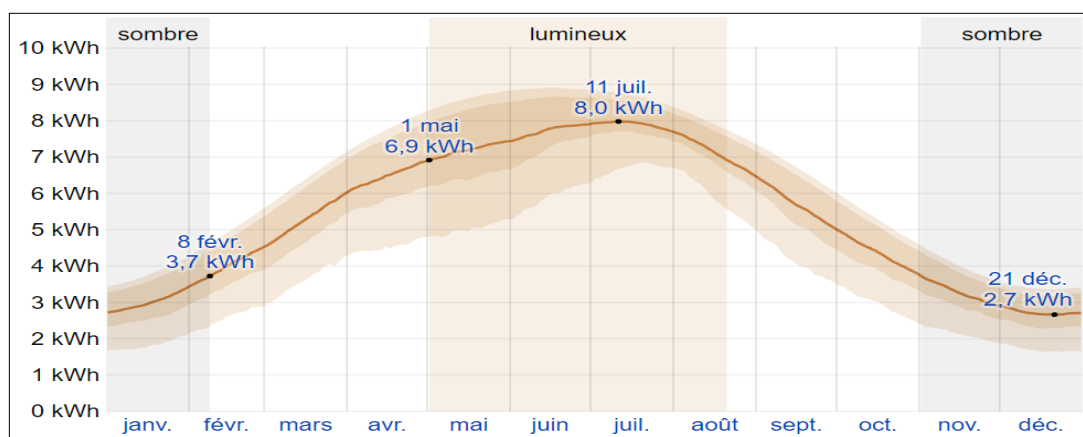


Fig IV. 12: Rayonnement solaire incident en ondes courtes quotidien moyen
 Source: Consulté sur <https://www.meteoblue.com> le 23-12-2019

La période la plus sombre de l'année dure 3, 2 mois, du 1 novembre au 8 février, avec un rayonnement solaire incident en ondes courtes par mètre carré inférieur à 3, 7 kWh. Le jour le plus sombre de l'année est le 21 décembre, avec une moyenne de 2, 7 kWh.

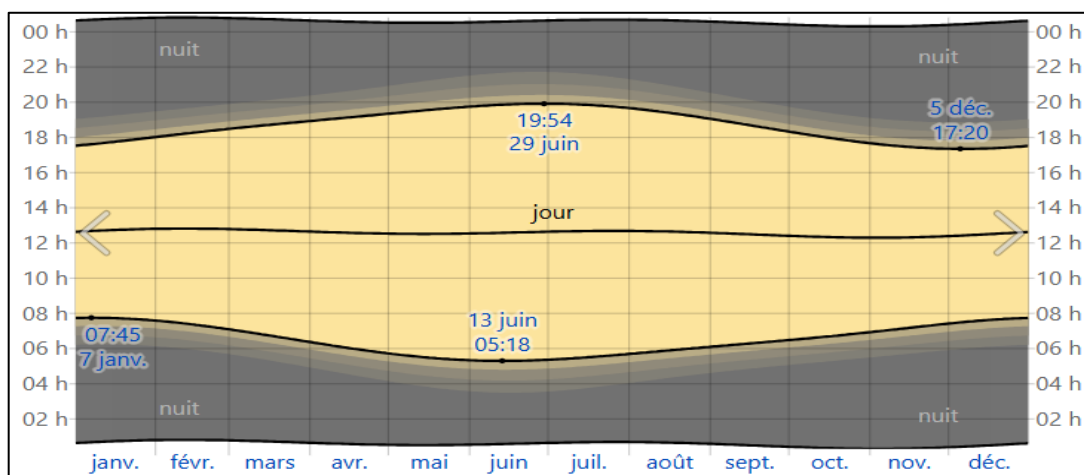


Fig IV. 13: Lever du soleil et coucher du soleil avec crépuscule en 2023

Source: <https://fr.weatherspark.com> consulté le 04-11-2024

Le lever de soleil le plus tôt a lieu à 05:18 le 13 juin et le lever de soleil le plus tardif a lieu à 07:45 le 7 janvier. Le coucher de soleil le plus tôt a lieu à 17:20 le 5 décembre et le coucher de soleil le plus tardif a lieu à 19:54 le 29 juin. (fig.IV.13)

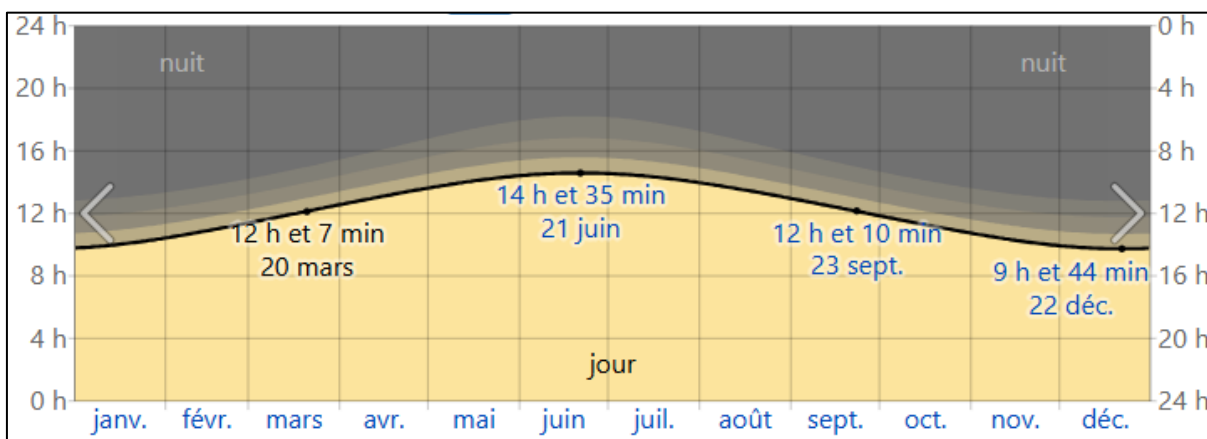


Fig IV. 14: Heures de clarté et crépuscule en 2023

Source: <https://fr.weatherspark.com> consulté le 04-11-2024

II.7. DISPONIBILITE DE LA LUMIERE NATURELLE A BATNA

D'après la figure IV.15, la disponibilité de la lumière naturelle en Algérie varie selon les régions et les types de ciel (N. Zemmouri, 2005). La ville de Batna, située dans la zone 2, bénéficie d'un niveau d'éclairement de 25 kilolux sous un ciel couvert. Ce niveau d'éclairement place Batna dans une catégorie intermédiaire, entre les régions côtières moins lumineuses et les zones sahariennes fortement exposées.

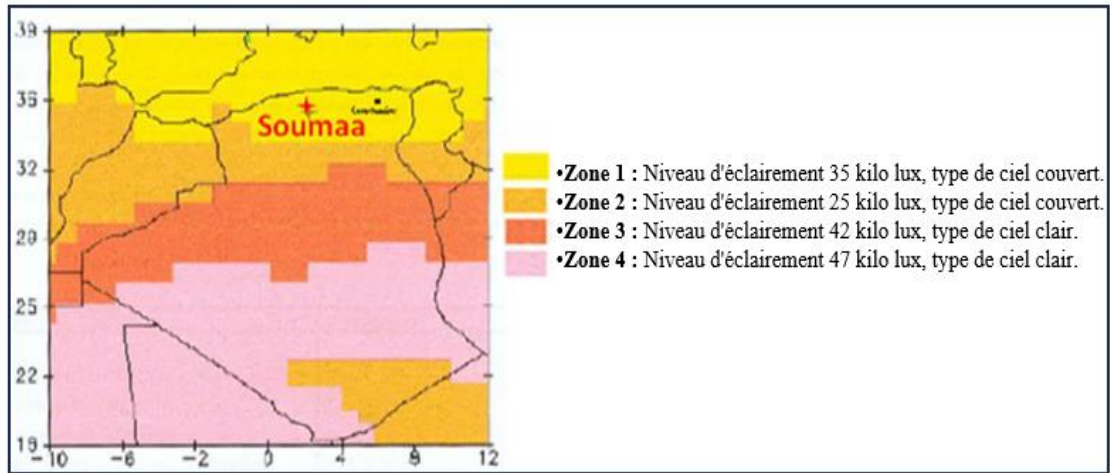


Fig IV. 15: Répartition des niveaux d'éclairage par zone en Algérie
 Source: (N. ZEMMOURI 2005) traduit par l'auteur 2024

Cela reflète une luminosité modérée, influencée par le climat semi-aride de la région, où les saisons marquées nécessitent une gestion équilibrée de l'éclairage naturel pour répondre aux besoins en confort visuel et en performance énergétique des bâtiments.

II.7.1 LE TYPE DE CIEL DOMINANT A BATNA.

Le pourcentage de nébulosité connaît une variation saisonnière considérable au cours de l'année. La période la plus dégagée de l'année à Batna commence aux alentours du 14 juin et dure 2, 8mois, se terminant aux alentours du 8 septembre. Le 31 juillet, le jour le plus dégagé de l'année, le ciel est dégagé, dégagé dans l'ensemble ou partiellement nuageux (intermédiaire) 93 % du temps, et couvert ou nuageux dans l'ensemble 7 % du temps.(fig.IV.16)

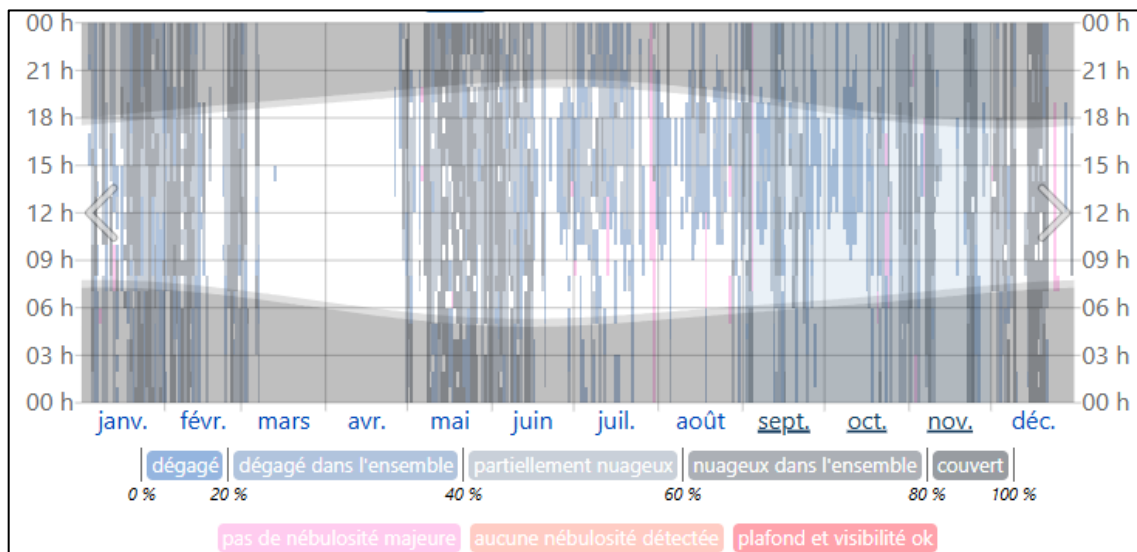


Fig IV. 16: Couverture nuageuse en 2023
 Source <https://fr.weatherspark.com> consulté le 04-11-2024.

La période la plus nuageuse de l'année commence aux alentours du 8 septembre et dure 9, 2 mois, se terminant aux alentours du 14 juin. Le 18 décembre, le jour le plus nuageux de l'année, le ciel est couvert ou nuageux dans l'ensemble 47 % du temps, et dégagé, dégagé dans l'ensemble ou partiellement nuageux 53 % du temps.

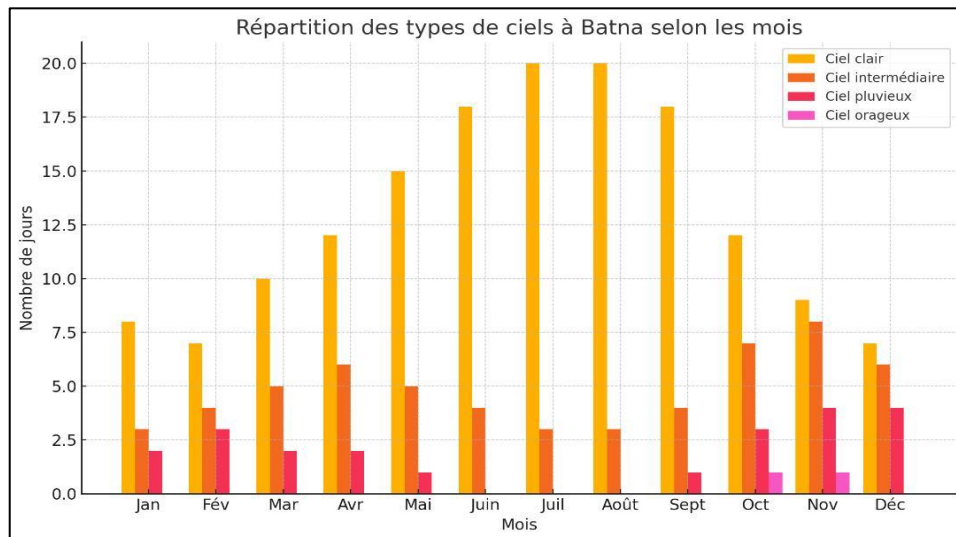


Fig IV. 17: la répartition des types de ciels à Batna selon les mois

Source:.. Consulté sur <https://www.meteoblue.com> le 04-11-2024

Le graphique montre la répartition mensuelle des types de ciels à Batna, avec le nombre de jours à ciel clair, intermédiaire, pluvieux et orageux. Les jours à ciel clair ont moins de 20 % de couverture nuageuse, ceux partiellement ensoleillés entre 20 et 80 %, et les jours nuageux plus de 80 %. (Fig.IV.17)

III. EVALUATION DU PARC LOGEMENTS A BATNA.

III.1. CARACTERISTIQUES DE L'HABITAT.

Depuis des décennies la question de l'habitat et du logement préoccupe les responsables des gouvernements du monde entier. Cette préoccupation prend toute sa signification dans la déclaration universelle des droits de l'homme de 1948 qui stipule: «le droit à chaque individu à disposer d'un logement décent». (ABBAD, 2000, p.6)

Aujourd'hui plus que jamais, le logement se situe à l'intersection du social, du politique et de l'économique dans la mesure où il constitue le point de départ de toute vie sociale. Il assure à chaque ménage une stabilité donnant ainsi un sens à la vie de celui-ci. Il est aussi un contenu concret à la politique de développement engagée par le pays.

Batna est une ville de création coloniale (1844), où l'habitat individuel du type "auto-construit" occupe une proportion considérable de l'assiette de la ville. Cet habitat s'est développé de façon rapide à la périphérie de la ville. L'avènement des ZHUN2 à Batna est venu comme réponse pour arrêter cet habitat au Sud de la ville, en programmant une ZHUN1 sous forme de ceinture ou de barrière sur toute la partie Sud du quartier Bouakal.

Il y a donc deux principales formes d'habitat individuel, l'une est produite par l'Etat, il s'agit des lotissements publics et parfois privés qui représentent un pourcentage de 26% la deuxième est aussi une forme de lotissement produite que par le privé, le cas de l'habitat auto construit qui représente un pourcentage de 58%.

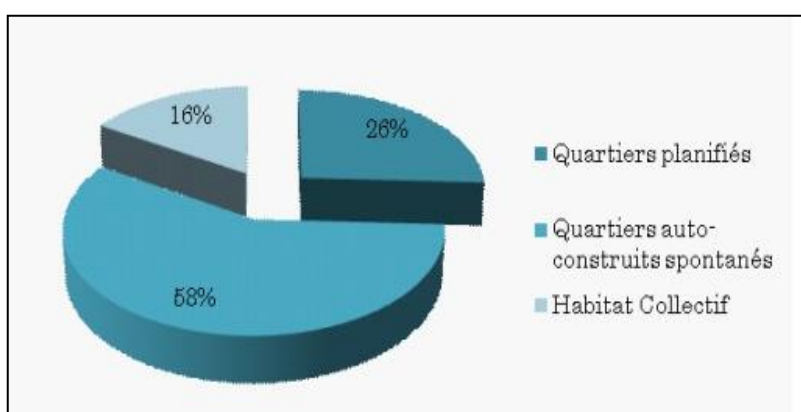


Fig IV. 18: Statistiques du parc logement à Batna
Source: Rapport de la direction du logement de Batna 2018

L'habitat dans la wilaya de Batna, et en particulier dans la commune de Batna se caractérise par une forte prépondérance du logement individuel par rapport au logement collectif. La ville s'est plus développée par extension que sur elle-même, et le plus souvent le long des voies de communication. La croissance urbaine s'est opérée par la réalisation de lotissements.

Tab IV. 4: Statistiques du parc logement à Batna
Source: Rapport de la direction du logement 2018

Le nombre total des habitations à Batna.	74913 habitations.
Le nombre total des habitants.	342000 habitants.
Pourcentage d'habitat collectif à Batna.	16%.
Pourcentage d'habitat individuel à Batna.	84%.

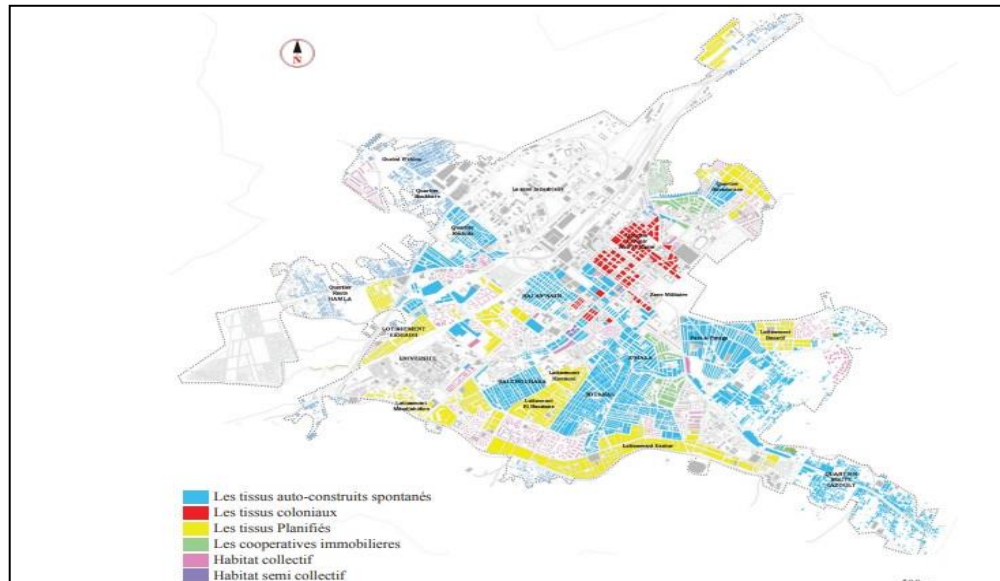


Fig IV. 19: Types d'habitat dans la ville Batna

Source: <https://journals.openedition.org/cybergeog/27331> consulté le 31/12/2018

III.2 L'HABITAT COLLECTIF A BATNA:

Avant l'indépendance, de nouveaux apports de colons ont créé les faubourgs (Stand) dans la partie nord de la ville. Notons aussi la réalisation d'un aérodrome au sud-ouest et la construction du chemin de fer. Vint ensuite le lancement du plan de Constantine et la guerre de libération. Cette situation s'est traduite au plan spatial par la réalisation d'immeubles collectifs et d'équipements dans les quartiers européens, l'apparition des premières cités de recasement et la naissance des premiers embryons des futurs quartiers informels.

Après l'indépendance, le programme spécial des Aurès allait impulser une nouvelle dynamique en 1968, qui s'est traduite par l'injection d'équipements du tertiaire, d'infrastructures et d'habitat surtout la zone industrielle à l'Ouest et la zone militaire dans la partie Est. Cette dynamique donna à la ville un rôle polarisant et par conséquent pôle de migration. En 1974, l'élaboration du plan d'urbanisme directeur (PUD) de la ville pour maîtriser cette croissance et assurer son développement. Mais, sur terrain, la ville a connu une urbanisation sous la double poussée de la volonté des pouvoirs publics et d'un mouvement spontané très fort de la population. L'éclatement de la ville s'est opéré durant la période 1978-1984 avec la politique de construction sur les périphéries urbaines contribuant à étendre démesurément la ville et à entamer dès aujourd'hui les réserves foncières programmées pour demain et à accroître la consommation des terres agricoles. Une extension très importante de la ville est enregistrée entre 1978-1984, caractérisée par l'éclatement de l'agglomération dans tous les sens. Plusieurs **cités collectives** ont été lancées et réalisées. Vers 1996, à cause de la

cadence rapide du développement, la ville a connu une saturation de son tissu urbain. A part les programmes Z.H.U.N. I et Z.H.U.N. II, cette période a connu le lancement de 3821 logements, dont 2398 collectifs en promotion immobilière, privée et étatique (A.Benaicha, , 2011).

Suite aux directives du plan d'urbanisme directeur, la ville de Batna a bénéficié de deux opérations d'habitat de grande envergure: Les Z.H.U.N 1 et 2, totalisant respectivement 3416 et 2366 logements collectifs. La Z.H.U.N 1 regroupe 3108 logements de plus de 23 000 habitants et se caractérise par la proximité spatiale des différentes cités qui la composent renforçant ainsi son gigantisme. Les cités composant la Z.H.U.N.1 sont formées par un ensemble de blocs conçus en éléments répétitifs de forme simple, séparés les uns des autres et disposés sur de vastes espaces.

Au recensement de 2008, la wilaya de Batna comptait 221 778 logements, ce nombre de logement a augmenté de 8 % entre 2008 et 2009 pour atteindre 239 959 logements, soit 18181 unités supplémentaires en une année. La commune de Batna compte elle seule 64 461 logements, soit 26, 86% du nombre total du parc logement de la wilaya.

Environ 14, 5% de ce parc constitue l'habitat collectif. Pour la commune de Batna, l'habitat collectif constitue 24% du parc logement (Monographie de la wilaya de Batna). Le taux d'occupation par logement (TOL) est égal à 4, 26 pour la commune de Batna, et 4, 79 pour l'ensemble de la wilaya. Il faut noter que plus de 27% de ces logements sont inhabités, le taux d'occupation actuel et sur la base des logements occupés uniquement est de 6, 09 personnes par logement.

Ce parc de logement est reparti selon la dispersion comme suit:

Tab IV. 5: Répartition du parc de logement selon la dispersion.
Source: Monographie de la wilaya de Batna.

	ACL	Agg Secondaire	Zone épars	Total
Batna	64 057	282	122	64 461
wilaya	153 885	28 133	39 760	221 778

Le tableau n°IV.6 retrace l'évolution des programmes de logements collectifs à Batna entre 1975 et 2011. On observe une augmentation notable des logements dans les années 1980, avec des projets significatifs comme Ecotec (600 logements) et Bouzourane (1322 logements en 1982). Après un ralentissement dans les années 1990, la dynamique reprend fortement à partir de 2003, notamment avec les projets de Hamla, atteignant jusqu'à 3900 logements en

2009. Ce développement reflète les efforts pour répondre à la demande croissante en logements dans la région.

Tab IV. 6: Développement de l'habitat collectif à Batna
Source: Rapport de la direction du logement 2011

Programme	Logements
1975	40 logements
1980	Ecotec +600 logements
1981	500/1212 logements
1982	1020+180 logt Bouzourane 500/1212 logt/1322 logements
1989	300 logements
1990	500 logements
1991	150 logt Tamechit
1991	42 logt Bouzourane + 60 logts secteur éducatif
1993	250 logts parc à fourrage +150 logtsBouzourane
1997	400/500 logements l'OPGI
1998	560 logements
1999	340 logements
2000	200 logements
2001	400 logements
2003	Cité AMIROUCHE 100 logements
2005	Hamla 1450 logements
2006	Hamla 2 240 logements
2007	Hamla 3 1600 logements
2009	Hamla 3 900/1500 logements
2010	800 logements Hamla3
2011	190+800 logements kchida

III.2.1 LES CARACTERISTIQUES ARCHITECTURALES DE L'HABITAT

COLLECTIF A BATNA:

L'architecture de l'habitat collectif à Batna présentent des spécificités marquées qui reflètent à la fois l'évolution des pratiques constructives et les influences culturelles. Ce type, souvent mal organisé en termes de répartition spatiale, a conduit à une composition urbaine éclatée. Les blocs d'immeubles sont implantés de manière aléatoire et dans des directions multiples, créant un tissu urbain déstructuré. Cette mauvaise planification spatiale a eu un impact négatif sur l'utilisation rationnelle des terrains disponibles, contribuant à un aménagement urbain inefficace et fortement consommateur d'espace. Cela va à l'encontre des principes du développement durable, qui prônent une gestion optimisée des ressources foncières et une meilleure planification des espaces urbains.

III.2.1.1. Types de Conception:

Les logements dans ces immeubles sont généralement de type F3 ou F4, comprenant trois à quatre pièces, ce qui correspond aux besoins des familles de taille moyenne. Les immeubles

comptent en moyenne cinq à six niveaux et incluent souvent des locaux commerciaux au rez-de-chaussée, renforçant la mixité fonctionnelle de ces bâtiments. Ces commerces de proximité répondent aux besoins quotidiens des habitants, mais ils contribuent également à l'animation de la vie urbaine autour de ces ensembles résidentiels (Fig.IV.20).



Fig IV. 20: Type d'immeubles collectifs à Batna.
Source: Auteur 2017-2018

Chaque étage de ces immeubles contient généralement deux à quatre appartements, disposés de manière symétrique de part et d'autre des paliers de la cage d'escalier centrale. Cette disposition autour d'un noyau central facilite l'accès aux logements, mais limite parfois la ventilation et l'éclairage naturels, problèmes souvent rencontrés dans ce type d'aménagement.

III.2.1.2. Style architectural:

Une particularité marquante de l'architecture de ces immeubles est l'utilisation des claustras,

éléments inspirés du moucharabieh, qui sont des dispositifs de protection visuelle tout en permettant la ventilation. Ces claustras, souvent positionnés au niveau des cages d'escaliers, rappellent l'esthétique traditionnelle de l'architecture arabo-musulmane tout en répondant à des contraintes modernes comme le besoin de sécurité et d'intimité. Ce traitement des cages d'escalier par les claustras ajoute une touche culturelle et identitaire à ces bâtiments, les inscrivant dans une continuité architecturale spécifique à la région.



Fig IV. 21: Style architectural de l'Habitat Collectif à Batna.
Source:Auteur 2017-2018

III.2.1.3. Système Constructif:

La construction de ces immeubles repose principalement sur le procédé dit "table et banche", un système de construction utilisant du béton armé pour les cloisons et les planchers. Cette méthode, répandue pour sa rapidité d'exécution et sa robustesse, permet de produire des bâtiments durables et adaptés aux contraintes sismiques de la région. Cependant, ce type de construction standardisé tend à produire des immeubles aux formes rigides et uniformes,

limitant la créativité architecturale et la diversité des formes urbaines.

IV. CONDITIONS LUMINEUSES DANS LES IMMEUBLES DE BATNA.

Bien que la ville Batna reçoive assez d'ensoleillement, la pénétration de la lumière du jour dans les logements peut varier en fonction de facteurs tels que le niveau du sol (étage), l'orientation ou l'obstruction externe. Dans de nombreux cas, le degré d'exposition à la lumière du jour détermine également les conditions dans lesquelles s'effectuent les tâches domestiques. Cette situation réelle d'exposition à la lumière du jour dans les bâtiments résidentiels aura une incidence sur les coûts énergétiques.

Quelque soit la diversité apparente sur le plan architectural, le logement à Batna est conçu selon une base inchangée, une standardisation constructive, selon un rapport établi par un maître d'ouvrage, formant la base conceptuelle, il faut préciser que à l'instar de ces normes, ce type d'habitat découle de problèmes d'intégration climatique, impliquant une consommation considérable d'énergie pour assurer un confort minimal.

Dans leur quête ; la réalisation du plus grand nombre de logements possible dans les plus brefs délais et avec le minimum de dépenses, les responsables ne se préoccupent pas de l'intégration de la lumière naturelle dans le logement. (Le confort lumineux a souvent été négligé par les concepteurs).

Les espaces domestiques sont bien définis, d'où chaque logement se compose d'espaces jours (séjour, salons, cuisine) et d'espaces nuits (les chambres), et d'espaces de circulation, et d'autres espaces annexes (loggias et sanitaire). D'autre part, ces espaces sont organisés selon des règles bien précises. Ainsi à partir de l'observation de l'habitat collectif de Batna, nous pouvons souligner que parmi les espaces où se déroulent les pratiques domestiques quotidiennes dans les logements collectifs: les salles de séjour sont celles qui sont fortement liées aux priorités des exigences lumineuses. Sachant que les priorités des exigences des performances lumineuses sont très complexes et difficiles à définir surtout dans les milieux résidentiels et particulièrement dans les salles de séjour, car elles varient selon les tâches d'activités pratiquées dans ces espaces, et selon la culture de l'occupant.

À ce sujet, Bref et Annet (2008) soulignent que l'éclairage naturel revêt une importance aussi bien physiologique qu'énergétique et assurent également que les jeux d'ombre et de lumière et les modifications de la couleur de la lumière à l'intérieur rendent perceptibles, les variations journalières et saisonnières liées au parcours du soleil.



Fig IV. 22: Espaces domestiques et conditions d'éclairage dans les logements de Batna.

Source: auteur 2019

Le type de fenêtre le plus communément utilisé dans les immeubles résidentiels à Batna est le type à battants et les fenêtres à persiennes en raison de leur capacité à laisser entrer la lumière et l'air frais. Ces fenêtres se composent de verre comme matériau principal, les persiennes ont des lamelles horizontales ou verticales qui peuvent être inclinées pour laisser entrer la lumière et l'air dans l'espace intérieur. L'angle des lamelles est réglable ce qui permet d'améliorer l'éclairage naturel intérieur et de limiter l'éblouissement ou de rediriger la lumière diffuse. La fenêtre à battant est capable de fournir une excellente ventilation et si elle est hermétique lorsqu'elle est fermée, elle peut tout de même permettre la pénétration de la lumière naturelle.

Les fenêtres, dans la majorité des cas, de forme carrée ou rectangulaire avec un traitement modeste, presque toutes couvertes de barreaudage ce qui ne favorise pas la valeur ou la qualité de la façade.

V. LA CONSOMMATION ENERGETIQUE DANS LE SECTEUR RESIDENTIEL A BATNA:

Le secteur résidentiel est à l'origine de 35 % de la consommation d'énergie finale en Algérie. Les perspectives de développement du parc de logements conduiront à un accroissement exponentiel de cette consommation énergétique. Dans ce contexte, la conception et la

réalisation de logements énergétiquement efficaces s'impose comme une nécessité à la maîtrise des consommations énergétiques de ce secteur. (S. Semahi et B. Djebri 2000).

La région de Batna connaît une crise aiguë en matière d'habitat, dont le confort lumineux a souvent été négligé par les concepteurs. En cinq décennies d'indépendance, le souci de construire rapidement et en grande quantité 'Pour faire face à cette crise croissante du logement, on a dû trouver des solutions rapides et pas très coûteuses. Des modèles étrangers se sont généralisés sur tout le territoire, inappropriés, au contexte culturel, social et climatique de la région (A. Ould Henia, 2003 p 181)

La consommation énergétique de la commune de Batna est estimée à 4695 GWh EF/an en 2014, soit environ 12, 1 MWh EF/an/habitant (équivalent environ à 7, 5 barils de pétrole par an par habitant), elle s'explique notamment par le climat très froid en hiver. Elle se répartit comme suit entre les différents secteurs:

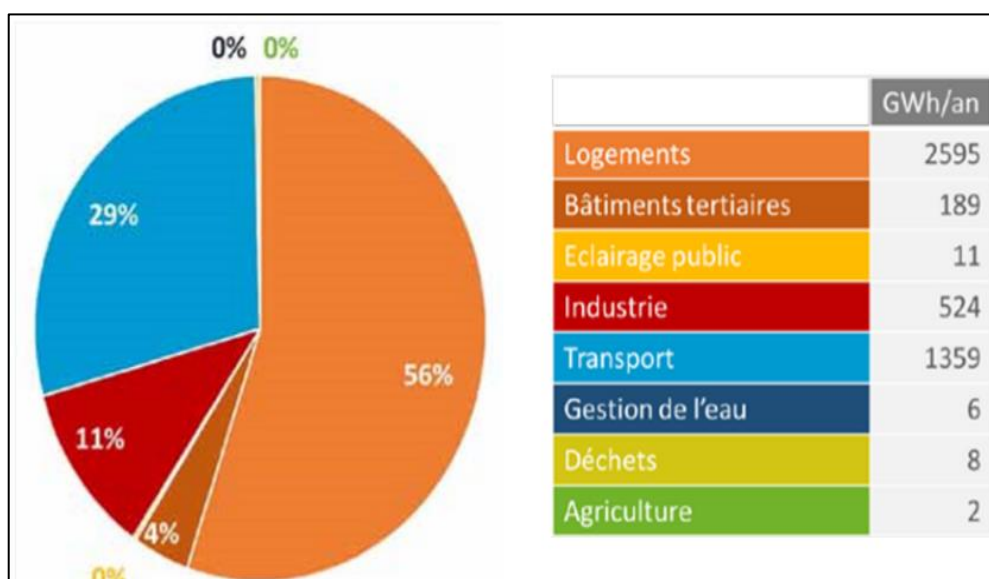


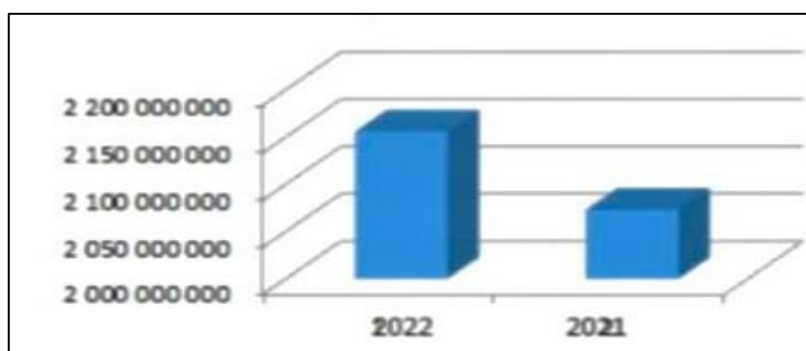
Fig IV. 23: Consommation d'énergie à Batna
 Source: <https://www.climamed.eu> consulté en 2014

Le diagramme IV.23 montre qu'en 2014, le secteur résidentiel à Batna consomme 56% de l'énergie totale, suivi par le transport avec 29% et l'industrie avec 11%. Les autres secteurs (bâtiments tertiaires, éclairage public, gestion de l'eau, déchets, agriculture) représentent une part négligeable. On note une très forte consommation de gaz naturel pour le résidentiel, dues au besoin de chauffage plus important à Batna (températures inférieures à -10°C l'hiver et faibles en intersaison la nuit).

Tab IV. 7: Consommations d'énergie par secteur et par énergie à Batna.Source:.. Consulté en 2023 sur <https://www.climamed.eu>

En GWh EF/an	Electricité	Gaz	GPL	Diesel	Essence	Total
Logements	259	2 196	139	0	0	2 595
Bâtiments tertiaires	55	131	3	0	0	189
Eclairage public	11	0	0	0	0	11
Industries	123	346	12	43	0	524
Transport	0	0	66	730	563	1 359
Eau	6	0	0	0	0	6
Déchets	0	0	0	8	0	8
Agriculture	2	0	0	0	0	2
Total	457	2 673	221	782	563	4 695

Cette répartition indique l'importance de cibler le résidentiel pour améliorer l'efficacité énergétique.

**Fig IV. 24 Consommation électrique de Batna entre 2020 à 2021**

Source: Monographie de Batna 2023

La figure n° 24 montre une augmentation de la consommation électrique à Batna entre 2021 et 2022. En 2021, la consommation avoisinait 2 050 000 000 unités, tandis qu'en 2022, elle dépassait 2 150 000 000 unités, soit une hausse d'environ 100 000 000 unités. Cette progression peut s'expliquer par une croissance économique, démographique ou une utilisation accrue des équipements électriques. Les conditions climatiques pourraient également avoir influencé cette hausse. Cette tendance reflète une demande énergétique croissante nécessitant des mesures d'optimisation ou de gestion durable.

Tab IV. 8: la consommation électrique mensuelle de la wilaya de Batna entre 2021 et 2022

Source: Monographie de Batna 31/12/2023.

MOIS	ENERGIE (KWH) EN 2022	ENERGIE (KWH) EN 2021
janv	160 106 000	156 465 000
févr	149 088 000	143 157 000
mars	152 533 000	153 329 000
avr	147 063 000	149 783 000
mai	159 848 000	151 378 000
juin	226 016 000	201 701 000
juil	247 109 000	245 047 000
août	229 718 000	238 257 000
sept	198 173 000	178 582 000
oct	163 000 000	152 806 000
nov	154 094 000	148 404 000
déc	168 823 000	154 199 000
TOTAL ANNUEL	2 155 571 000	2 073 108 000

Le tableau n°IV.8 présente la consommation électrique mensuelle de la wilaya de Batna en 2021 et 2022. On observe une augmentation considérable de la consommation annuelle. Cette progression est visible sur plusieurs mois, surtout en juin, juillet et août, où la demande a été particulièrement élevée, probablement en raison de la saison estivale. La hausse est également répartie tout au long de l'année, ce qui reflète une croissance globale de la consommation énergétique.

CONCLUSION

L'importance de l'éclairage naturel dans les bâtiments résidentiels est indéniable, non seulement pour le bien-être des occupants, mais aussi pour ses potentielles implications énergétiques. Bien que l'efficacité énergétique soit devenue un impératif dans la conception moderne des bâtiments, réduire l'apport de lumière naturelle peut nuire à la qualité de vie et, paradoxalement, entraîner une augmentation de la consommation énergétique en raison du besoin accru d'éclairage artificiel. Dans une région comme Batna, bénéficiant d'un ensoleillement annuel considérable, il est essentiel d'exploiter ce potentiel tout en maintenant un équilibre entre isolation thermique et lumière naturelle. Une conception réfléchie et adaptée aux spécificités locales pourrait permettre d'optimiser l'apport en lumière naturelle sans compromettre les objectifs d'efficacité énergétique, répondant ainsi aux besoins des occupants tout en minimisant l'empreinte énergétique des bâtiments résidentiels.

Chapitre V
Méthodologie et protocole d'investigation

INTRODUCTION

L'évaluation des performances lumineuses des espaces résidentiels repose sur une méthodologie rigoureuse adaptée aux spécificités des bâtiments étudiés. Dans le cadre des habitats collectifs de la cité Bouzourane, cette recherche examine les paramètres influençant la répartition et l'efficacité de la lumière naturelle, tels que les caractéristiques des fenêtres, les dimensions des espaces et leur orientation.

Ce chapitre détaille les outils et protocoles employés pour analyser les conditions lumineuses à travers des méthodes objective, comme les mesures in situ des niveaux d'éclairement, et subjective, basées sur des observations directes et des enquêtes auprès des occupants. Les indicateurs utilisés incluent le facteur de lumière du jour (FLJ), les niveaux d'éclairement, l'uniformité de l'éclairage, et les perceptions des résidents, permettant de lier les caractéristiques physiques des espaces à leur impact sur le confort visuel et fonctionnel des logements. (Nabil et Mardaljevic, 2005)

En mobilisant des instruments de mesure précis et des approches méthodologiques standardisées (CIBSE, 1999), cette étude vise à fournir une compréhension approfondie des performances lumineuses dans les logements collectifs. Les résultats obtenus permettront de proposer des solutions adaptées pour améliorer les conditions d'éclairage naturel dans ce type d'habitat.

I. METHODES ET OUTILS

Pour l'évaluation de l'environnement lumineux et analyser comment la lumière naturelle affecte l'utilisation des espaces domestiques sous climat semi-aride ainsi que l'effet de la fenêtre et son orientation sur la répartition lumineuse et la variation des niveaux d'éclairements ; cette partie de l'étude reposera sur deux méthodes différentes mais complémentaires à savoir la méthode quantitative basée sur les mesures in-situ de l'environnement physique et la méthode qualitative basée sur deux techniques de recherche qui sont l'observation directe et le questionnaire portant sur une collecte simultanée des réponses subjectives des usagers.

I.1. APPROCHE SUBJECTIVE

L'enquête de terrain est une approche méthodologique fondamentale, permettant au chercheur d'étudier son sujet dans son contexte naturel. Cette méthode, essentiellement qualitative,

implique une immersion du chercheur dans l'environnement quotidien des personnes ou des phénomènes étudiés. Qu'il s'agisse d'une salle de classe, d'une entreprise, ou d'un habitat, le cadre authentique est primordial pour la compréhension approfondie du sujet. L'enquête de terrain valorise particulièrement la perspective des acteurs sociaux eux-mêmes, cherchant à comprendre leurs expériences, leurs perceptions et leurs interprétations du monde qui les entoure.

I.1.1. L'OBSERVATION EXPLORATOIRE:

L'observation systématique est, dans de nombreuses disciplines, un instrument de base de la démarche scientifique. En un sens, tout être humain, quelle que soit sa catégorie sociale, son âge, son sexe, ne cesse d'« observer » la réalité, physique et sociale, autour de lui. Dans le cadre de notre recherche, on utilise l'observation dite « directe »: qui est en fait une technique de recueil de matériau et une pratique réflexive conduisant à son ordonnancement. (A-M. Arborio et P.Fournier, 2001, p7). Elle nous permettra de recueillir les documents (photos, et plans) nécessaires à l'analyse de notre cas d'étude.

L'observation a constitué, en fait, une partie indispensable de l'enquête sur terrain où une grande partie des données a été collectée exclusivement à travers l'observation. Les photos, les relevés et les fiches de prise des notes ont été utilisés comme instruments d'enregistrement des données.

I.1.2. LA PRE-ENQUETE:

L'enquête préliminaire est nécessaire pour se familiariser avec les différentes situations se présentant dans les espaces investigués. Il y a également un besoin de connaître les idées des usagers et l'étendue de leurs connaissances sur la façon avec laquelle la lumière affecte l'utilisation des tâches domestiques afin que l'instrument final puisse être développé en conséquence.

Une pré-enquête menée du mois de Septembre au mois de Novembre 2017 réalisée auprès des occupants de la cité AADL de Bouzourane dans une dizaine d'appartements a donné lieu à la vérification de la clarté et la précision des questions, notamment à la vérification de la compréhension des questions de la même façon par tous les sujets. Bien que certaines questions devraient être modifiées, des éléments ont été ajoutés dans les modifications.

Après cette pré-enquête, on est arrivé à faire des rectifications par réorganisation de l'ordre de certaines questions et reformuler d'autres. Cela fut dans le but d'éviter quelques problèmes à

savoir ; la déviation du thème et la répétition inutile des questions "similaires". Aussi la nouvelle organisation des questions nous a aidé à attirer l'attention des occupants.

Pour cette enquête, le critère le plus important est que cet échantillon sélectionné devait être suffisant pour pouvoir identifier certaines situations et la tendance générale des réponses qui seraient des guides utiles pour structurer l'instrument final.

I.1.3. ELABORATION DE L'INSTRUMENT FINAL (Entretien exploratoire)

Pour notre cas, nous avons opté pour le questionnaire (entretien directif) car ce dernier constitue un outil de collecte de données largement utilisé dans les sciences, notamment pour l'évaluation des besoins des utilisateurs.

Le questionnaire est un instrument structuré de collecte de données, composé d'une série de questions soigneusement formulées, visant à obtenir des informations spécifiques auprès d'un groupe cible. Il est conçu pour recueillir des données quantitatives et qualitatives de manière systématique et standardisée, dans ce sens Boukous dit « *Le questionnaire occupe une position de choix parmi les instruments de recherche... car il permet d'obtenir des données recueillies de façon systématique et ce prêtant à une analyse quantitative* » (Boukous1999 p15) Pour Ghiglione et Matalon: « *Un questionnaire est un instrument rigoureusement standardisé à la fois dans le texte des questions et dans leur ordre. Toujours pour assurer la comparabilité des réponses de tous les sujets, il est absolument indispensable que chaque question soit posée à chaque sujet de la même façon, sans adaptation ni explication complémentaire.* » (Ghiglione et Matalon 1978 p98)

L'Objectif du questionnaire:

- *Collecter des données précises et pertinentes pour l'étude.
- *Quantifier les opinions, préférences ou comportements d'un groupe cible.
- *Identifier les tendances et les modèles dans les réponses des participants.

Description du questionnaire

Notre questionnaire est composé de 24 questions qui varient entre:

- *Questions fermées: choix multiples, échelles de Likert, oui/non
- *Questions ouvertes: réponses libres pour obtenir des détails qualitatifs
- *Questions techniques: spécifiques au domaine d'ingénierie concerné.

I.1.3.1. LA CONSTRUCTION DU GUIDE D'ENTRETIEN

Dans le guide d'entretien, tous les indicateurs liés à la nécessité (le besoin) d'améliorer l'éclairage naturel à l'intérieur des espaces ; font partie des cinq principaux ensembles. Les questions étaient déterminées en fonction des objectifs de l'enquête. Le modèle se trouve en annexe 1.

1*-Renseignements généraux sur le répondant (âge, sexe, occupation, statut et taille de la famille.

2*-Les espaces domestiques et leur utilisation durant l'hiver, et l'été y compris le moment du déroulement des différentes activités pour collecter la majeure partie des données sur les conditions d'éclairage et les pratiques.

3*-Questions relatives à la satisfaction des résidents à l'égard de la lumière du jour dans leurs appartements en introduisant des questions sur la nécessité (le besoin) d'améliorer l'éclairage naturel à l'intérieur des espaces.

4*- comprenait des questions concernant la détermination de l'importance de la fenêtre pour l'accomplissement de différentes tâches pour les résidents, à savoir le type d'activités qu'ils pratiquent dans leur salon, l'utilisation de l'ombrage interne, les heures et les types d'éclairage électrique qu'ils utilisent.

5*-La cinquième partie de l'entretien, met en lumière la relation entre la consommation électrique et l'utilisation de la lumière naturelle. Les participants étaient invités à répondre aux questions concernant leurs attentes pour des améliorations à l'égard de la satisfaction générale des résidents avec l'ensemble de leur environnement lumineux, comprenant à la fois la lumière du jour et l'éclairage électrique.

I.1.3.2. ÉCHANTILLONNAGE (Nombre de sujets)

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 un nombre réduit de sujets dans certains cas suffira pour l'élaboration d'un test: « *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). **Cinquante entretiens** ont été menés dans différents blocs et selon différents niveaux (étages) de manière totalement aléatoire, l'objectif était ici d'arriver à une première constatation sur l'éclairage naturel, tel que vu et perçu par les occupants.

❖ CARACTERISTIQUES DES INTERVIEWES

Comme l'étude exploratoire doit être basée sur la collecte des informations variées d'une manière assez exhaustive que possible, les sujets interviewés étant la source principale des données sont, donc, appelés à accomplir certaines conditions. Ils doivent:

- Faire partie des différentes catégories d'âge.
- Être des deux sexes.
- Et être les utilisateurs des espaces d'étude.

I.1.4. LA PROCÉDURE DE L'ENQUETE SUR TERRAIN

Les intentions et objectifs de l'étude ont été expliqués en termes simples. En général, les entretiens se sont faits à la fin de la journée. La plupart des chefs de ménages (hommes ou femmes) étaient occupés pendant la journée, et on ne pouvait le faire qu'après les heures de travail. On a directement entamé les entretiens avec les habitants après s'être présenté et avoir obtenu leur accord un par un.

Des entretiens ont été menés avec des architectes (bureaux d'études) pour discuter des dimensions et caractéristiques des fenêtres et les exigences contenues dans les cahiers de charge. Ces échanges ont permis de comprendre les choix de conception influençant la répartition de la lumière naturelle dans les espaces résidentiels.

I.1.5. TRAITEMENT DES DONNEES COLLECTEES.

Les données recueillies et les observations faites au cours de l'étude sur terrain sont utilisées pour donner une description des espaces investigués et comment sont-ils utilisés. Les résultats du questionnaire ont été codés traités et analysés par un programme informatique. Les graphes utilisés pour la présentation des résultats ne sont que des outils qui facilitent la lecture et la compréhension des données étant mieux décrites d'une manière quantitative.

I.2. APPROCHE OBJECTIVE.

I.2.1. MESURE DES ECLAIREMENTS (LA CAMPAGNE DE MESURE IN-SITU)

La campagne de mesures in-situ s'est réalisée durant l'hiver, le printemps et l'été de l'année **2017-2018** dans la cité 1000 logements de la cité Bouzourane pour analyser comment la lumière naturelle affecte l'utilisation des espaces domestiques et étudier la variation des niveaux d'éclairage dans ces espaces pour trois orientations (le Sud, le Nord et l'Ouest).

Pour mesurer le niveau d'éclairage et sa contribution à l'environnement lumineux global de

l'espace pendant la journée, une étude quantitative du niveau d'éclairement a été réalisée. L'enquête (par prise de mesures) a été menée auprès des 09 pièces sélectionnées pour neuf appartements dans trois immeubles résidentiels afin d'analyser l'impact de la fenêtre pour différentes orientations et selon différents niveaux (Etages). Cette campagne a été globalement menée sous les conditions d'un ciel clair pour des cas et partiellement nuageux (intermédiaire) pour d'autres.

Les principales difficultés rencontrées lors de l'étude étaient liées à la réticence des habitants à ouvrir leur domicile à des étrangers pour effectuer des mesures répétées. À Batna, où la population est connue pour sa réserve, cette méfiance était accentuée par un sentiment d'insécurité. De plus, le manque de sensibilisation à l'intérêt scientifique de l'étude renforçait cette hésitation, rendant l'accès aux logements difficile. Ces obstacles ont limité le nombre de participants et la régularité des relevés, compliquant ainsi le déroulement de l'analyse sur plusieurs mois.

1.2.2. INDICATEURS DE MESURE:

Pour accueillir les mesures enregistrées en trois périodes de la journée. L'analyse s'est basée sur trois indicateurs statiques:

1.2.2.1. NIVEAU D'ECLAIREMENT HORIZONTAL E_i (Lux):

Pour déterminer le niveau d'éclairement horizontal moyen E_i sur plan de travail de l'espace investigué à l'aide de l'instrument de mesure, il faut effectuer diverses mesures d'éclairements ponctuels dans le local, puis établir une moyenne arithmétique des valeurs mesurées soit:

$$E_{\text{moy}} = (E_1 + E_2 + \dots + E_n) / n \quad \text{Equation V.1}$$

Pour cela ; il existe deux méthodes: la méthode de la grille et la méthode des deux lignes (society of light and lighting, 2009). Dans cette étude nous avons utilisé la méthode de la grille qui est la plus usuelle et qui consiste à diviser la surface de l'espace en un certain nombre de rectangles élémentaires de dimensions égales. La figure n°V.1. Illustre l'espacement des points de grille pour les mesures d'éclairement des espaces étudiés ;

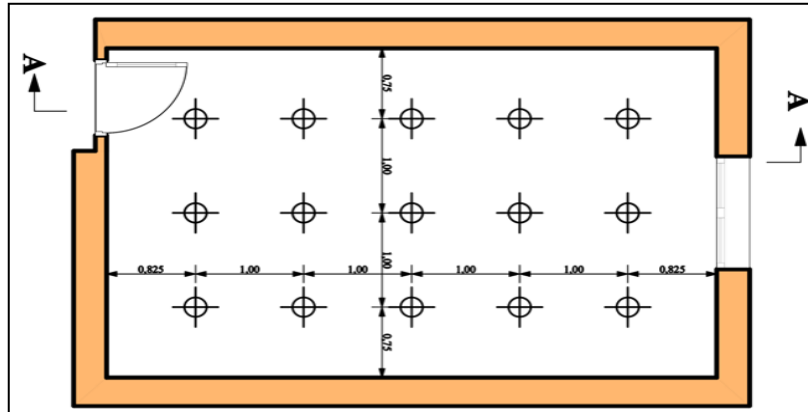


Fig V. 1: Grille sélectionnée pour les points de mesures
Source: Auteur 2017

Les données d'éclairement ont été prises sur **15 positions à 0.80m** du sol. Comme le montre la Fig. n°V.2, cette hauteur représente le plan de travail utile supposé être le niveau d'activité normale de l'espace, et une position a été spécifiée sur le bord de la fenêtre pour mesurer l'éclairement lumineux extérieur (E_o).

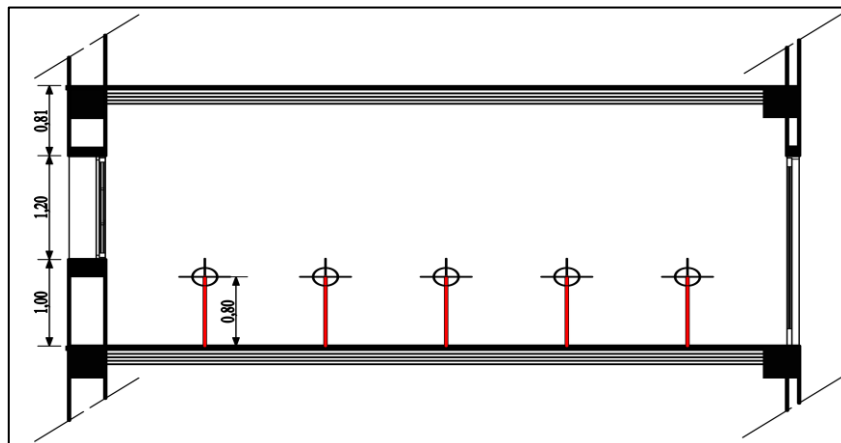


Fig V. 2: Coupe AA indiquant le niveau de prise de mesures
Source: Auteur 2017

Les lectures d'éclairements internes et externes ont été prises simultanément, l'état du climat extérieur est également enregistré. (BSI, 2008 ; CIBSE, 2012 ; MC, Dubois, 2001).

Des fiches techniques ont été conçues pour enregistrer les mesures d'éclairement en des points spécifiques pour chaque espace étudié.

Dans les pièces de vie, à occupation prolongée d'un logement, les niveaux d'éclairement compris entre 100 Lux et 500Lux sont considérés comme étant efficaces pour les activités résidentielles ;(Dubois, M.C, 2001) ;(Nabil, A., et Mardaljevic, J.b ;2005). En l'absence de références dans les études locales et les réglementations algériennes concernant les niveaux

d'éclairement recommandés ou les facteurs de lumière du jour en matière de construction à usage d'habitation, **300 lux** est choisi comme donnée de référence. Ce niveau est tiré de la norme de la réglementation britannique: l'éclairement moyen sur plan de travail utile requis pour le séjour est de 300Lux (CIBSE 1999).

I.2.2.2. FACTEUR DE LUMIERE DU JOUR FLJ (%)

Le facteur de lumière du jour **FLJ** est le rapport entre le niveau d'éclairement horizontal intérieur sur plan de travail et le niveau d'éclairement horizontal extérieur.

Malgré ses limitations, le FLJ est tout de même retenu dans cette étude puisqu'il est accepté internationalement et très connu. Il permet de mesurer la quantité et la qualité de la lumière présente dans un espace, tout en exprimant l'efficacité d'une pièce et de sa fenêtre en tant que système d'éclairage naturel. (Nabil, A., et Mardaljevic, J., b ;2005).

Bülow-Hübe (2001) propose une classification des valeurs de FLJ permettant d'évaluer la qualité d'un espace éclairé naturellement (Tableau n° V.1). Le facteur lumière du jour (FLJ) recherché se situe entre 2%et 5% (Bülow-Hübe, 2001).

Tab V. 1: Classification des valeurs de FLJ.
Source: Bülow-Hübe (2001)

FLJ < 1%	Insuffisant pour la majorité des tâches.
FLJ = 2 %	Minimum requis
2% < FLJ< 5%	Considéré comme acceptable
5% < FLJ< 10%	L'espace a l'air substantiellement éclair par la lumière, ce qui se traduit par une autonomie en éclairage.
FLJ >10%	Possibilité d'éblouissement.

I.2.2.3. Distribution et uniformité de la lumière: L'INDICE D'UNIFORMITE(I_u).

La répartition lumineuse ou l'uniformité des niveaux d'éclairement caractérise les variations du niveau d'éclairement. L'Indice d'uniformité **I_u** correspond au ratio entre la valeur minimale et la valeur moyenne d'éclairement observé dans la zone de travail (Norme EN2002). Ce paramètre statique fournit un indicateur de la distribution de la lumière du jour dans une pièce. Sa valeur va de 0 jusqu'à 1, où 1 représente une distribution optimale et homogène de la lumière. Dans les lignes directrices de la CIBSE, l'uniformité de l'éclairage est mesurée en utilisant le rapport entre l'éclairement minimal et l'éclairement moyen, qui ne doit pas être inférieur à 0, 7. Certaines normes suggèrent des valeurs de l'ordre de **0, 3 à 0, 4** pour les pièces éclairées latéralement (CIBSE 2006).

I.2.3. INSTRUMENT DE MESURE

Pour analyser la variation des niveaux d'éclairement dans les espaces investigués pour les trois orientations ; la campagne in-situ s'est effectuée à l'aide du luxmètre mesurant les niveaux d'éclairements intérieurs (Ei) et extérieurs (Eo) dans le local (Tableau n° V.2).

L'instrument utilisé et (muni d'une sonde photométrique pour la mesure de l'éclairement lumineux) offre une gamme allant de 0 à 200 000 lux ou 20000Fc avec une précision de $\pm 3\%$.

Tab V. 2: L'instrument utilisé: luxmètre lx1330B
Source: Auteur 2017

Type d'appareil	Précision
	Luxmètre digital LX1330B 0-200000 Lux $\pm 3\%$

Avant de prendre les mesures des niveaux d'éclairement dans les pièces, un essai d'étalonnage de l'instrument a été effectué la veille de la mesure sur le terrain afin d'évaluer la précision et l'erreur de l'équipement nécessaire par rapport aux autres.

I.2.4. PERIODE D'INVESTIGATION

L'environnement lumineux dans le bâtiment varie d'une saison à une autre, pour cette raison nous avons entrepris l'investigation en trois périodes différentes. Les mois et les jours choisis sont les plus représentatifs de leurs saisons (Tableau n° V.3.). Le printemps bénéficie d'un plus grand rayonnement que l'automne, c'est pourquoi il a été retenu.

Ainsi, chacune de ces périodes sera étudiée sur une base horaire et permettra de mieux définir le comportement dynamique des indicateurs lumineux. Les expérimentations porteront sur trois périodes types de la journée, réparties sur les trois saisons (Hiver, Printemps, Eté de l'année 2017-2018).

Tab V. 3: Périodes de prise de mesures et heures du lever et coucher du soleil.
Source: Auteur 2017-2018

	Matin	Midi	Après Midi	Lever. Soleil	Coucher.Soleil
21-22-23Decembre	8h00-8h30	12h00-12h30	15h30-16h00	07h41	17h26.
21-22-23 Mars	8h00-8h30	12h00-12h30	15h30-16h00	05h56	19h13
21-22-23 Juin	8h00-8h30	12h00-12h30	15h30-16h00	05h20	19h54

Les relevés sont établis sous des conditions de ciel clair et partiellement nuageux (intermédiaire). Ainsi, chacune de ces périodes sera étudiée sur une base horaire et permettra de mieux définir le comportement des indicateurs lumineux.

I.2.5. TRAITEMENT DES DONNEES COLLECTEES

Après l'achèvement de la campagne de mesure des trois saisons, nous avons procédé à l'évaluation quantitative des niveaux d'éclairement obtenus in-situ selon différentes orientations. Les mesures des variables objectives de l'environnement lumineux ont été directement traitées par le logiciel Excel pour calculer les moyennes, les indices d'uniformité.

Les mesures sont traduites en graphes et comparées sur différentes variations ce qui offrira par la suite une vision plus détaillée sur l'environnement lumineux dans ces espaces. Ensuite une moyenne des valeurs d'éclairement est calculée pour chaque espace pour l'estimation générale de la quantité de la lumière naturelle pénétrante.

La comparaison mettra en évidence l'impact des caractéristiques de la fenêtre ainsi que son orientation sur la répartition lumineuse dans les espaces sélectionnés.

Les données collectées en plus des observations faites durant l'analyse sur terrain sont utilisées afin de donner une description des logements résidentiels à travers la répartition lumineuse ainsi que l'utilisation des espaces intérieurs.

II. PRESENTATION DE L'ENVIRONNEMENT PHYSIQUE DU CAS D'ETUDE:

Le logement, avec une focalisation sur l'espace du séjour, dans l'habitat collectif de la ville de Batna constitue le cadre physique de cette étude.

Le site d'étude (cité 1000 logements Bouzourane) une zone à haute densité présente une structure contemporaine éclatée selon les nouvelles réglementations urbaines en opposition au tissu urbain traditionnel. Bouzourane est un ancien bidonville de Batna devenu un nouveau quartier résidentiel réalisé par l'Agence de Wilaya de Gestion et de Régulation Foncière Urbaine de Batna (AGFU) (projet lancé en 2004).

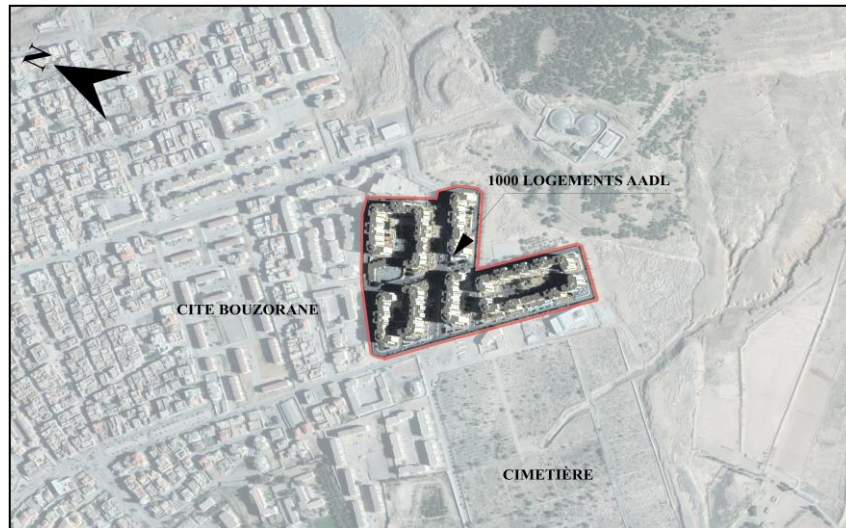


Fig V. 3: Vue générale sur l'environnement d'étude.

Source: Google Earth Consulté le 01-05-2019 sur <https://earth.google.com> traité par l'auteur

La cité est formée d'un ensemble de blocs conçus en éléments répétitifs de formes simples séparés les uns des autres et disposés sur de vastes espaces. Deux ou trois voies de circulations de 16m de large traversent le site et le divisent en parties (Fig. n°V.3). Les bâtiments semblent être arbitrairement implantés sans tenir compte des caractères climatiques et environnementaux, ce qui donne une diversité d'orientations par rapport aux points cardinaux. Le quartier se compose de 32 bâtiments allant de 5 jusqu'à 11 étages (Annexe 2).

II.1. CRITERES DE SELECTION DES BATIMENTS A ETUDIER:

Pour choisir parmi les différents bâtiments résidentiels collectifs existants dans la ville de Batna, en vue de mener notre enquête in-situ, il y a eu recours à une sélection vue le nombre important de logements.

Les critères de cette sélection reposent en partie sur des paramètres utiles au thème de recherche et à ses objectifs, ainsi que sur les conditions de faisabilité de l'enquête. Les facteurs suivants étaient déterminants dans la sélection du corpus d'étude:

- * Le site AADL 1000 Logements Bouzourane a été choisi vu l'importance des immeubles du point de vue de leur implantation les uns par rapport aux autres et leurs tailles (Fig. n°V.4).

Dans ces bâtiments, le passage de l'éclairage naturel aux différents logements est à observer et à comprendre durant la phase de l'enquête.

- * Ce type de logement est considéré comme meilleur en matière de qualité de matériaux de constructions « matériaux nobles » et de conception (moderne et unique). Destiné aux couches sociales de la classe moyenne, son acquisition ouvre droit à sa propriété.

- * Aller vers un modèle où les modifications apportées sur les façades sont ou presque

absentes.

- * Caractérisé par la présence de fenêtres typiques largement utilisées dans les bâtiments résidentiels à Batna.

- * En raison des orientations variées: Les bâtiments semblent être arbitrairement implantés sans tenir compte des caractères climatiques et environnementaux, ce qui donne une diversité d'orientations par rapport aux points cardinaux.

- * Ces immeubles sont occupés depuis plusieurs années, ce qui permettra de distinguer les différents points, négatifs ou positifs de leurs logements, et décrire, ainsi le degré de confort ou d'inconfort lumineux qui y règne.

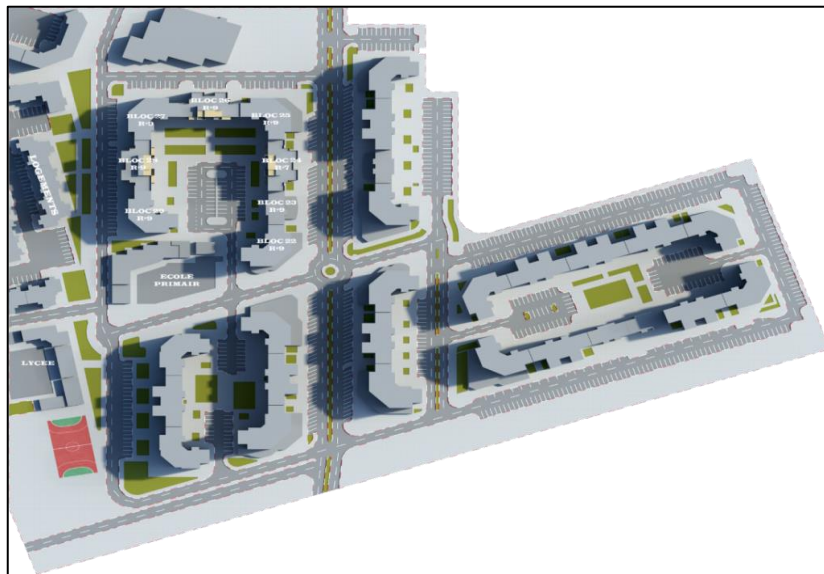


Fig V. 4: Plan d'assemblage indiquant les différentes dispositions des immeubles.
Source: Auteur 2018

II.2. DESCRIPTION DES LOGEMENTS ETUDIES:

Ces immeubles sont repartis dans des barres de plusieurs logements. Ayant une conception répétitive avec très peu de différences (Fig. n°V.5). Le système constructif de chaque type de logement choisi est une structure poteaux poutre, d'une hauteur de 3m pour chaque étage. Tous les logements ont le même système constructif, de plus ils sont réalisés à l'aide des mêmes matériaux de construction. Chaque étage se compose de quatre unités d'habitation.



Fig V. 5: Vue d'ensemble sur les immeubles.
Source: Auteur 2018

Les appartements F4 dans une proportion de 60% avec une surface de 90m^2 et les F3 de 40% avec une surface de 75m^2 . Les espaces extérieurs (privés) prennent généralement la forme de balcon, à défaut il s'agira plutôt de terrasse dans le cas d'appartement au dernier étage. Ces espaces sont orientés dans toutes les directions.

L'organisation interne du logement traduit les normes culturelles dominantes, mais aussi le fruit d'une évolution historique. On distingue les espaces communs (salle de séjour) et les espaces privatifs (chambre à coucher), les pièces sèches des pièces humides (cuisines, salle d'eau)

Chaque logement se composera d'un séjour, deux ou trois chambres, une cuisine, une salle de bain, un WC, un espace de dégagement, des volumes de rangement, et un séchoir.

Les dimensions internes nettes de ces éléments constituent la surface habitable du logement. (Fig. n°V.6)



Fig V. 6: les appartements étudiés et la disposition des pièces.

Source: Auteur 2018

Les espaces fonctionnels du logement sont totalement indépendants ayant une communication directe avec le hall de distribution. La conception optimise l'utilisation la plus rationnelle de ces pièces par un agencement judicieux tout en rentabilisant les espaces communs, en limitant les aires de circulations et en évitant les espaces résiduels. Tous les espaces s'organisent autour d'un long couloir.

Les appartements résidentiels considérés pour cette investigation se situent dans les blocs n° 24, 26 et 28. Ces blocs ont été choisis parce qu'ils représentent tous les types de blocs de la cité.

Les façades présentent un traitement particulier qui se détache par rapport aux autres ilots. Un jeu de plein et de vide, d'avance et de recul, la forme des ouvertures, les séchoirs font varier l'aspect des édifices et valorisent le paysage urbain (Fig. n°V.7). Le traitement adopté constitue un obstacle pour toutes éventuelles transformations de la part des occupants.



Fig V. 7: Traitement des façades des immeubles étudiés.

Source: Auteur 2024

Selon le cahier des prescriptions techniques et fonctionnelles applicables aux logements sociaux ; les façades doivent tenir compte des orientations, du niveau d'ensoleillement et des vents dominants. Pour une meilleure réussite de la volumétrie du projet, il est souhaitable de jouer avec les terrasses, les toitures et les décrochements. Le jeu de pleins et de vides, d'avances et de reculs, les ouvertures des fenêtres, les séchoirs, la forme des toitures et des cages d'escaliers peuvent faire varier l'aspect des édifices et valoriser le paysage urbain.

Le traitement des façades dans ce cas de figure se réfère à l'architecture locale, (matériaux, traitement, forme et représentation). Les matériaux participent de manière significative au traitement des façades par leur texture, leur teinte, leur appareillage et leur mise en œuvre.

Le compartiment bas ou la base de l'immeuble constitue un espace du quartier qui favorise, avec une grande flexibilité, la communication, l'ouverture, la transparence et la richesse en évitant l'anonymat à travers un traitement adéquat, différencié de façon prononcée par rapport au traitement du compartiment haut

Le compartiment haut ou le corps de l'immeuble, constituant les logements, qui contiennent des espaces accueillants, intimes et sécurisés.

II.3. CADRE PHYSIQUE DE LA RECHERCHE.

L'unité d'habitation en tant qu'objet de recherche a été prise comme unité d'analyse, par échantillon délibéré. L'espace retenu est le séjour familial ; C'est un « lieu de vie » particulièrement significatif du point de vue de son occupation par les membres de la famille ; espace sollicité durant la journée pour l'accomplissement de tâches bien précises comme

recevoir, manger, lire et écrire, prier, méditer, broder, se reposer....



Fig V. 8: Repérage des échantillons retenus.

Source: Auteur 2024

Pour l'évaluation de l'environnement lumineux ; une analyse in situ s'est effectuée dans neuf 9 espaces de séjour familial représentatifs (générant des logements collectifs de la cité 1000logts Bouzourane) considérés pour trois orientations (Nord ; Sud ; Ouest) et positionnés respectivement selon trois niveaux (prélevé sur trois étages): (1^{er} étage, 4^{ème} étage et enfin le dernier étage: 9^{ème} étage pour le sud et l'ouest et le 7^{ème} étage pour le nord). Ces lieux ont été soigneusement choisis et ont accueillis les enregistrements de mesures.

II.3.1. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE L'ESPACE INVESTIGUE.

Les membres de la famille utilisent souvent le salon situé tout près de l'entrée du logement comme espace de séjour familial. Il est de forme rectangulaire (3.50mx5.65m) avec une hauteur de 2.80m et éclairé latéralement par une fenêtre donnant sur la rue, une porte qui donne sur le couloir (figure V.9).

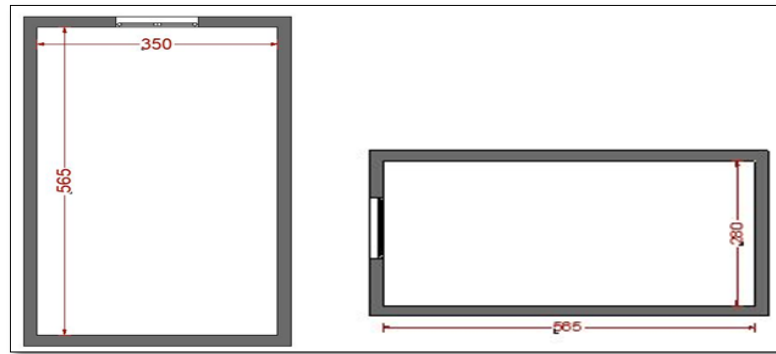


Fig V. 9: Plan et coupe indiquant les dimensions de l'espace investigué.
Source: Auteur 2018

II.3.2. ACTIVITES EFFECTUEES ET FREQUENTATION DE L'ESPACE DE SEJOUR

Le séjour demeure l'espace le plus occupé et le plus fréquenté dans la maison ; L'activité majeure effectuée au sein de cette pièce est la réception des invités. (Fig. n°V.10) Cela étant, ceci ne réduit pas le rôle de cet espace à cette activité, cette pièce est sollicitée durant la journée pour l'accomplissement de tâches bien précises comme recevoir, manger, lire et écrire, prier, méditer, broder, écouter de la musique, se reposer....

L'espace de séjour dans les logements étudiés est un espace qui s'avère être fréquenté principalement au cours des matinées et après-midi. Ceci est valable en toute saison, le séjour connaît un taux de fréquentation estivale diurne fort important.



Fig V. 10: Vue d'intérieur sur une pièce de séjour étudiée.
Source: Auteur 2018

Cette pièce centrale résume à elle seule ce que doit être un logement: « une pièce à vivre ». Comme « vivre » englobe tout, a priori, toute fonction peut y être admise. Les façons différentes d'appeler cette pièce est d'ailleurs significative: le salon, la salle de séjour, le séjour tout court, certains disent encore la salle à manger. (J.P.Filiod 2004).

II.3.3. FACTEURS AFFECTANT L'ENVIRONNEMENT LUMINEUX DES ESPACES ETUDIES:

L'environnement lumineux intérieur des pièces est influencé par plusieurs paramètres: La bonne orientation de la pièce permet aux usagers de profiter au maximum des apports solaires durant toute l'année. La forme, la dimension, et l'emplacement de la fenêtre, ainsi que les dimensions de la pièce et sa profondeur, déterminent le degré de luminosité que peut avoir cet espace ainsi à quelle profondeur la lumière naturelle peut parvenir. Afin d'éviter la création d'ombres gênante et de zones sombre. Les maques, lointaines ou proches, interceptent le soleil, gênant ainsi l'utilisation de la lumière naturelle.

En termes de zones claires et de zones sombres, la configuration spatio-lumineuse est visuellement très perceptible par les occupants. Par contre, pour les niveaux d'éclairement lumineux la différence est notoire. Dans les espaces investigués, cette configuration présente une différence directionnelle (sens de la direction du dégradé de la lumière par rapport à la forme de l'espace architectural) dans la zone proche de la fenêtre tandis que dans les zones arrière elle demeure presque similaire.

* Les usagers ne sont pas satisfaits de la qualité de l'éclairage et de sa répartition dans les espaces investigués. (La répartition de la lumière du jour dans le séjour est insatisfaisante à l'exception des zones près des ouvertures, les autres parties de l'espace sont à peine éclairés par la lumière du jour).

* La pratique courante observée dans cette étude est que, les pièces sont éclairées par des moyens électriques pour une bonne partie du temps (surtout pour la saison hivernale).

* L'utilisation de rideaux pendant la journée est aussi une pratique courante dans certains espaces (surtout pour la saison estivale).

Comme la performance lumineuse d'un bâtiment dépend essentiellement d'une bonne compréhension des paramètres intérieurs et extérieurs du bâtiment, cette étude a examiné ces variables clés par le biais d'une enquête auprès des 9 espaces investigués, car il est prévu que l'échantillon de l'enquête puisse donner une bonne indication de la façon dont ces variables affectent l'environnement lumineux de ces espaces.

II.3.3.1. CARACTERISTIQUES DE LA FENETRE:

La fenêtre est une caractéristique architecturale très importante d'un bâtiment, car elle a

l'avantage décisif sur le potentiel de la lumière du jour et la performance thermique des espaces adjacents. Afin de comprendre les effets de la fenêtre sur l'environnement lumineux de l'immeuble, une enquête détaillée a été menée dans les espaces investigués.

Tab V. 4: Dimensions de la fenêtre pour la pièce de séjour

Source: Auteur 2018

	Surface (m ²)	Surface vitrée (m ²)	Rapport S _v /S _{plancher}
Espace Séjour	19.78	1.44	7%

Ces pièces sont dotées d'un dispositif d'éclairage naturel unilatéral, éclairées par une fenêtre de forme carrée (1.20mx1.20m) donnant sur la rue, ouvrant à la française avec un cadre en menuiserie (bois) et l'utilisation du vitrage simple transparent dont le facteur de transmission lumineuse est de 90% ; sur une allège de 0.90m. (Fig. n°V.11).

L'indice de vitrage **Iv** calculé pour les pièces d'étude est de: $Iv = \frac{\text{surface ouverture}}{\text{surface plancher}} = 7 \%$

Dans les logements étudiés, l'indice de vitrage (d'ouverture) pour le cas des espaces de séjours indique que l'éclairage **est moyen**: $4\% < Iv < 10\%$ (N. Baker et al 1993) ce qui s'explique par le fait que ce rapport n'est pas pris en considération lors de la conception des fenêtres dans ces logements.

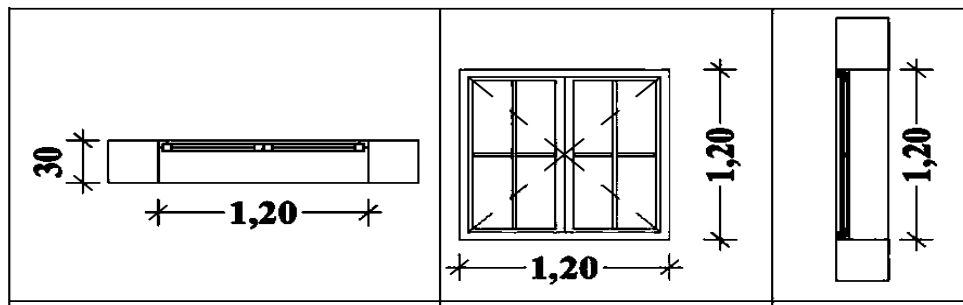


Fig V. 11: Détail constructif de la fenêtre du séjour examiné.

Source: Auteur 2018

La prise en compte du rapport surface vitrée/surface plancher est l'un des éléments essentiels dans la conception de l'ouverture, ce rapport varie selon les besoins en éclairage de l'espace étudié et selon la zone climatique. « Les dimensions des ouvertures et notamment celles des fenêtres sont à adapter aux conditions climatiques propres à chaque région du pays. »(Art 48 du journal officiel de la république algérienne du 16 Choual 1432 du 14 septembre 2011.)

II.3.3.2. CARACTERISTIQUES DE LA PIECE:

La surface de la pièce ainsi que sa profondeur influencent la façon dont la lumière du jour sera

distribuée.

Même si certains espaces bénéficient de suffisamment de lumière naturelle, comme indiqué dans l'enquête menée dans la cité, les utilisateurs (surtout les femmes) ont indiqué qu'ils n'étaient pas satisfaits de la quantité de lumière du jour dans leur salon. Selon (Ibrahim et Hayman 2005), Kim (2010) et (Sherif et al. 2010) (Afroz et al. 2014), les niveaux de lumière du jour devraient être étudiés dans chaque zone de la pièce pour s'assurer que toutes les parties de la pièce bénéficient de la lumière du jour, (figure n°V.12).

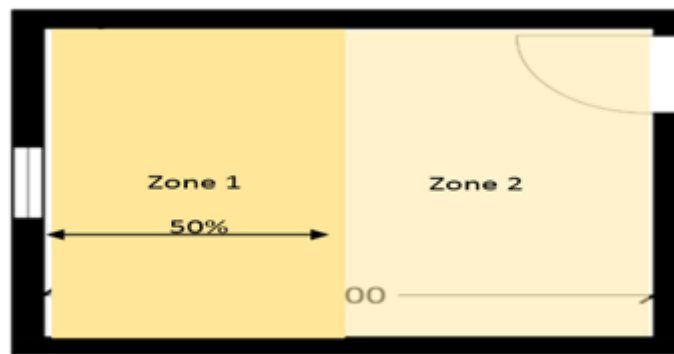


Fig V. 12: les niveaux de lumière du jour dans chaque zone de la pièce.

Source: Auteur 2018

Ces études affirment que la lumière du jour diminue dans les parties profondes de la pièce en affirmant que la profondeur de la pièce doit être étudiée en fonction de la taille de la fenêtre.

L'indice de profondeur (I_p) est à considérer puisque l'espace est éclairé latéralement, ce paramètre correspond au rapport de la profondeur utile sous linteau (la hauteur utile étant la hauteur comprise entre le plan de travail et la sous face du linteau. (Baker et Steemers 2002). Il exprime quantitativement la zone d'efficacité lumineuse proche de la source d'éclairage pour un espace éclairé latéralement. Pour éclairer naturellement toute la surface du local, il est préférable de limiter sa profondeur car la profondeur de pénétration de la lumière naturelle dans un local équivaut 1.5 à 2 fois la hauteur du linteau de la fenêtre par rapport au sol (Fig. n°V.13)

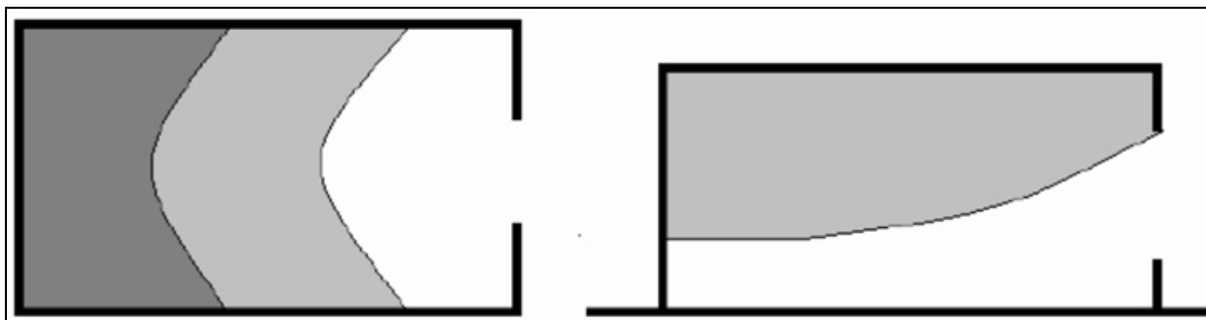


Fig V. 13: Vue en plan et coupe montrant la structuration de l'espace architectural par la lumière naturelle
Source: Auteur 2018

Et comme $2 < I_p < 3$ et $I_c > 1/6$ alors l'espace de séjour n'est pas très clair, l'éclairage n'est pas uniforme on peut déjà conclure que l'éclairement au fond du local n'est pas correctement assuré à cause de la profondeur.

II.3.3.3. CARACTERISTIQUES DES PAROIS INTERIEURES (Composantes réfléchies à l'intérieur):

Les finitions intérieures de la pièce, les caractéristiques du plafond, du sol, du mur, etc. influencent la façon dont la lumière du jour sera distribuée dans les pièces. Les conditions à l'intérieur de ces zones étudiées sont présentées dans le tableau n° V.5.

Tab V. 5: Composantes réfléchies à l'intérieur des espaces examinés
Source: Auteur 2018

	Espace1	Espace2	Espace3	Espace4	Espace5	Espace6	Espace7	Espace8	Espace9
Murs	Grena/gris	Crème	Blanc	Blanc	Beige	Beige	Crème	Orange	Beige
Plancher	Gris clair	Carreaux moucheté	Carreaux moucheté	Carreaux moucheté	Carreaux moucheté	Marron clair	Carreaux moucheté	Beige	Carreaux moucheté
Plafond	Blanc	Blanc	Blanc	Blanc	Blanc	Blanc	Blanc	Blanc	Blanc

Les murs des appartements visités sont presque tous de couleurs claires (entre blanc, crème et/ou beige clair) pour un facteur de réflexion d'environ 0.5.



Fig V. 14: Les finitions des parois intérieures influençant la distribution de la lumière du jour dans les pièces

Source: Auteur 2018.

Le plancher revêtu de carrés en carreaux de granito de couleur claire (facteur de réflexion 0.3). Tandis que le plafond est blanc pour tous les espaces analysés (facteur de réflexion 0.7).

II.3.3.4. CARACTERISTIQUES DU MOBILIER:

Le mobilier par son aménagement participe à une bonne propagation de la lumière, car avec un aménagement adéquat on profite de l'apport de la lumière naturelle, en évitant et se protégeant de l'éblouissement. L'aménagement de la pièce de séjour dans les 09 cas cités est majoritairement de type traditionnel avec banquettes.



Fig V. 15: Influence du mobilier par son aménagement sur la répartition de la lumière du jour dans les pièces

Source: Auteur 2018

Toutefois, on constate pour dans certains cas que la disposition reste la même mais équipée avec un mobilier moderne (fauteuils...). C'est la périphérie de l'espace qui est occupée par les sièges (banquettes ou fauteuils, bibliothèque...) laissant le centre libre ou équipé d'une table

basse. (Fig. n°V.15)

Ce schéma de centralité appliqué à la disposition du mobilier exprime une attitude dont l'origine est culturelle.

II.3.3.5. CARACTERISTIQUES DES OBSTACLES EXTERIEURS

La distance entre les bâtiments a un impact majeur sur la lumière du jour dans différentes études, Dans l'étude d'Afroz et al (2014) ils ont constaté que le fait d'obstruer les fenêtres d'un autre bâtiment à courte distance a un impact important sur la pénétration de la lumière du jour dans l'espace intérieur surtout dans les étages inférieurs. Ils ont affirmé que plus la distance est grande, plus la lumière du jour peut pénétrer à l'intérieur d'une pièce. Li et ses collaborateurs (2006) ont étudié un cas similaire, mais dans un immeuble de grande hauteur à Hong Kong, dans une zone à forte densité. Les auteurs ont constaté que la proximité entre les bâtiments crée un obstacle majeur à l'entrée de la lumière du jour dans l'espace intérieur (Li, Wong, Tsang, et Cheung, 2006).

A partir du plan de masse ; il est indiqué que les immeubles cas d'étude ne sont pas très rapprochés. Chaque bloc a au moins une façade qui donne sur un dégagement ce qui leur permet de recevoir plus de soleil. Entre le bloc n°28 et le bloc n°24 il y a une distance de 65m Ceci pourrait à priori constituer un avantage pour le passage de l'éclairage naturel. Dans certains cas, les masques sont inexistantes, comme pour le bloc 26, et dans d'autres, ils sont proches (tels que les arbres) créant ainsi des ombres gênantes et interdisant par de même, la pénétration du soleil au cœur de la pièce.

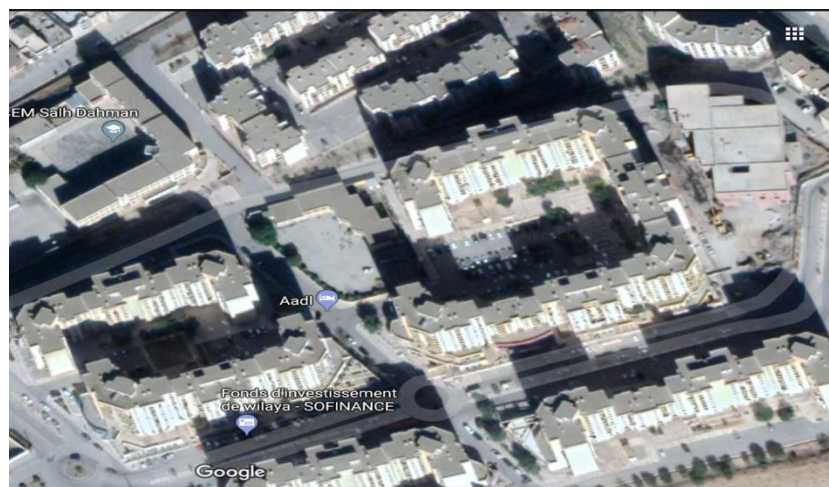


Fig V. 16: Volumétrie indiquant les positions des bâtiments les uns par rapport aux autres.
Source: Auteur 2018

Afin de pouvoir déceler les possibilités de chaque immeuble en matière d'éclairage naturel la

distance séparant les immeubles doit être au moins deux fois plus grande que leur hauteur. Twarowski a entrepris une enquête sur l'habitat collectif qui a prouvé qu'en respectant entre les bâtiments une distance $L=2 H$, il serait possible d'éclairer naturellement 95 à 98% des logements.

D'après les articles 21 et 22 du décret exécutif n° 91-175 du 28/05/1991 il existe une réglementation algérienne qui fixe l'angle d'espacement entre deux bâtiments: Entre les bâtiments d'une même parcelle, l'espacement doit être tel que les baies des pièces d'habitation ne soient pas masquées par une construction qui serait vue sous un angle de plus de 45° au-dessus de l'horizontalité. (60° sur la façade la moins éclairée à condition que la moitié au plus, des pièces habitables prennent jour sur cette façade.)

CONCLUSION

Sur la base de notre examen de la revue de littérature, nous avons conclu que l'enquête par questionnaire est un outil approprié pour notre recherche sur la performance lumineuse dans les espaces. Toutefois, pour que ça soit efficace, l'enquête doit inclure une analyse statistique. *« Il n'existait pas de méthode généralement reconnue de l'évaluation de la qualité ou des performances d'un système d'éclairage naturel. Il est clair que les préférences personnelles doivent être associées à des statistiques et les chercheurs doivent choisir les méthodes d'essai en fonction des situations spécifiques ».* (AD Galasiu, CF Reinhart, 2008).

La présente étude s'est limitée au cas de la salle de séjour dans laquelle les usages sont multiples, complexes et interpersonnels à l'opposé des chambres, ou autres espaces du logement, qui offrent d'eux-mêmes un territoire personnel à leurs occupants. L'évaluation de l'environnement lumineux **a été entravée par plusieurs difficultés majeures**. Initialement prévue sur 30 espaces pour cinq orientations, elle a dû être limitée à 9 espaces en raison du refus des habitants de participer, souvent lié à un manque de compréhension de l'importance du thème. La prise de mesures répétées sur plusieurs mois a suscité des inquiétudes concernant la vie privée et la sécurité. Ces contraintes logistiques et humaines ont rendu la collecte des données complexe et ont nécessité un ajustement des objectifs de l'étude.

Ce travail a fourni une base pour identifier les problèmes généraux liés à la pénétration de la lumière du jour dans les espaces domestiques. Les résultats ont permis de générer des modèles et de sélectionner les variables pour l'étude de la simulation.

Chapitre VI
Résultats de l'investigation

INTRODUCTION

L'évaluation de l'environnement lumineux des espaces de séjour, tant sur le plan subjectif qu'objectif, révèle des dynamiques complexes qui influencent le confort et la perception des utilisateurs.

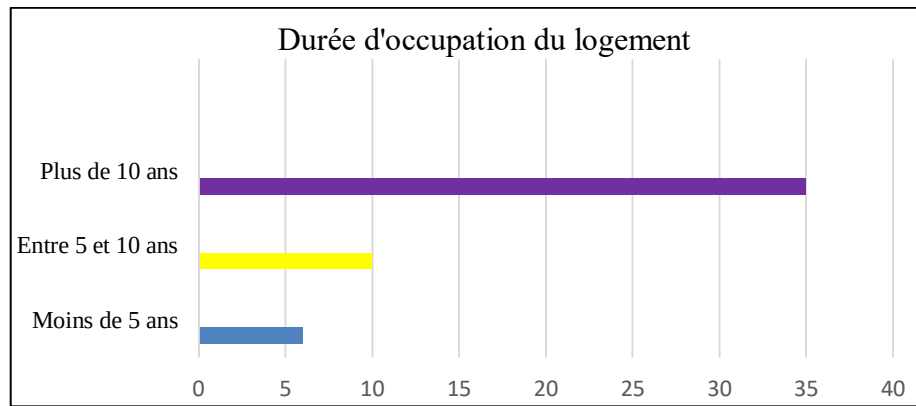
Les données objectives mettent en lumière des variations significatives selon les différents espaces, tandis que les évaluations subjectives des utilisateurs indiquent des préférences pour certaines ambiances lumineuses, souvent en lien avec des activités spécifiques, comme la lecture ou les interactions sociales. Ce contraste entre les mesures physiques et les ressentis personnels souligne l'importance d'une approche holistique dans la conception des espaces de vie, où les exigences physiques doivent s'aligner avec les besoins des utilisateurs.

En somme, une compréhension approfondie des interactions entre la lumière et les expériences humaines est essentielle pour optimiser les conditions des espaces de séjour. Les résultats du questionnaire, qui montrent que les utilisateurs se sentent plus à l'aise dans des environnements bien éclairés, ouvrent la voie à des recommandations concrètes pour améliorer la qualité lumineuse. Cela favorise ainsi un bien-être accru et essentiel à la création d'espaces de vie fonctionnels et accueillants.

I. EVALUATION SUBJECTIVE DE L'ENVIRONNEMENT LUMINEUX DES ESPACES DE SEJOURS INVESTIGUES (RESULTATS ET INTERPRETATION)

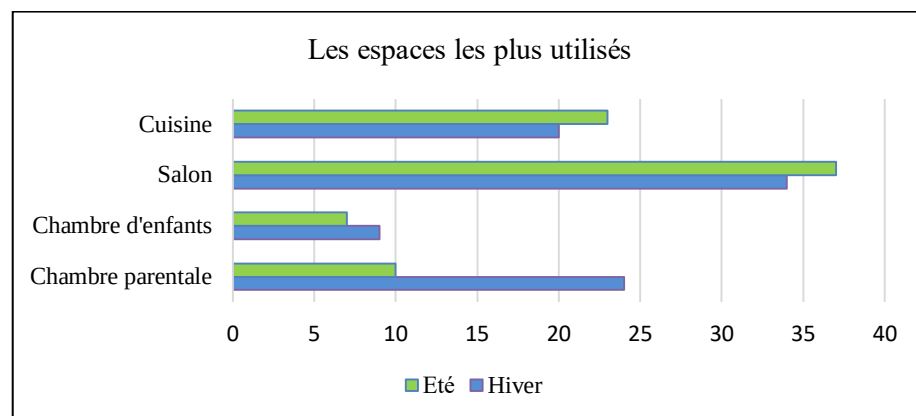
L'enquête par questionnaire nous a permis de confirmer les observations, à savoir que l'éclairage naturel dans ces appartements n'est pas totalement satisfaisant pour les occupants.

L'évaluation subjective de l'environnement lumineux est un aspect important pour comprendre la satisfaction des occupants dans les espaces domestiques. Cette étude se base sur un échantillon varié d'interviewés, incluant 33 hommes et 17 femmes sur un ensemble de 50 usagers, ce qui permet d'avoir une diversité de perceptions et d'expériences. À travers différents paramètres, tels que la perception de la quantité de lumière naturelle, l'utilisation de l'éclairage électrique et la disposition des fenêtres, cette analyse vise à identifier les facteurs influençant le confort lumineux des occupants. Les graphes suivants présentent les résultats détaillés de cette évaluation.



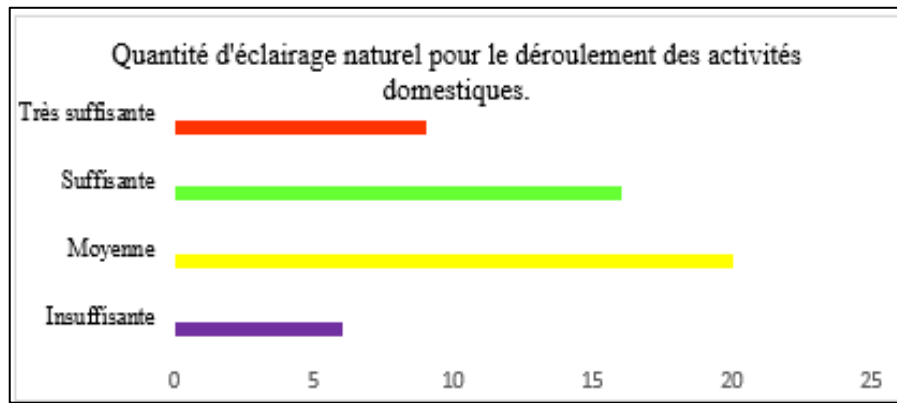
Graphe VI. 1: la durée d'occupation du logement.
Source: Auteur

La plupart des participants occupent leur logement depuis plus de 10 ans (35), ce qui indique une familiarité avec l'environnement lumineux de leur espace de vie. Ceux qui y habitent depuis moins de 5 ans sont les moins nombreux (6).



Graphe VI. 2: les espaces les plus utilisés
Source: Auteur

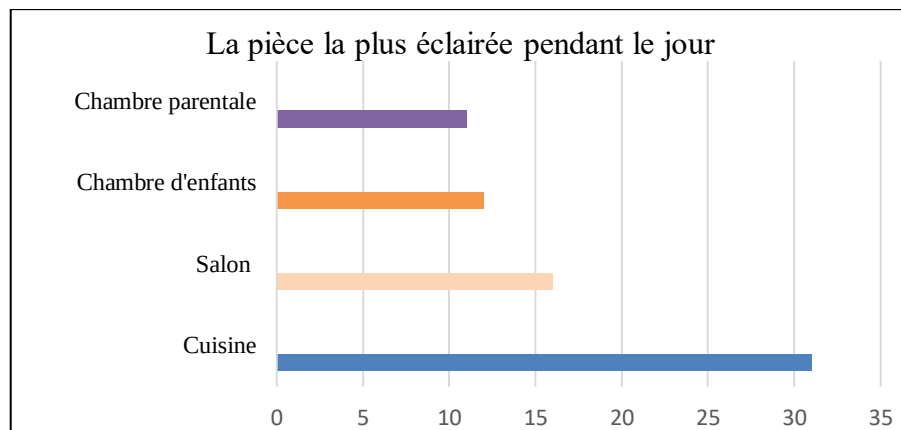
En été, le salon est l'espace le plus utilisé (37), en raison de sa diversité fonctionnelle représentant le lieu de regroupement familial par excellence. En hiver, la chambre parentale devient plus utilisée, ce qui pourrait être lié au confort thermique.



Graphe VI. 3: quantité d'éclairage naturel pour le déroulement des activités domestiques.

Source: Auteur

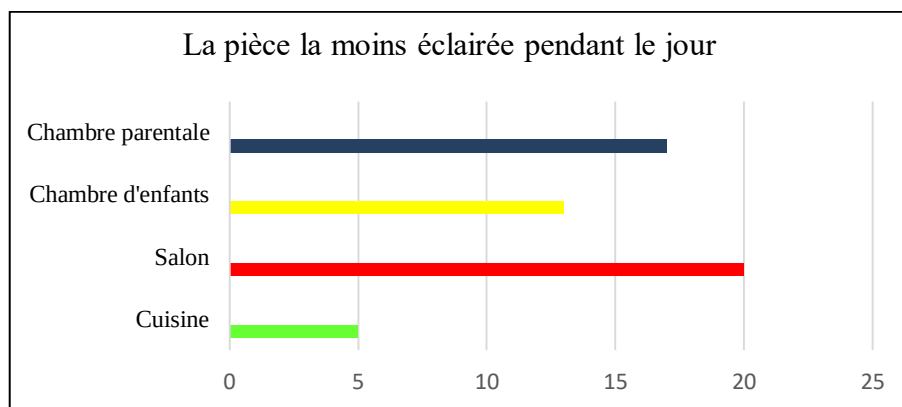
20 participants sur un total de 50, trouvent la quantité de lumière naturelle moyenne, tandis que 16 la jugent suffisante. Cela montre une perception générale de non-satisfaction.



Graphe VI. 4: la pièce la plus éclairée pendant le jour

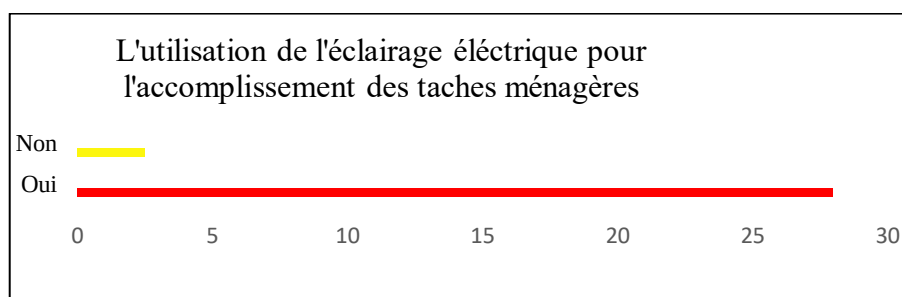
Source: Auteur

Le graphe montre que la cuisine est la pièce la plus éclairée pendant la journée, Cet écart par rapport aux autres espaces indique que la conception des fenêtres et l'orientation de la cuisine favorisent un apport lumineux plus important. Il est donc possible que la distribution de la lumière dans le salon soit insuffisante, ce qui peut affecter le confort des occupants lors d'activités quotidiennes dans cette pièce centrale.

**Graphe VI. 5: la pièce la moins éclairée pendant le jour**

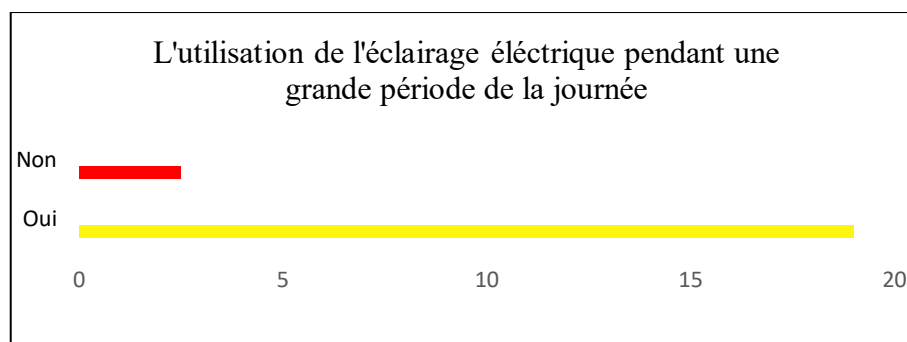
Source: Auteur

A l'inverse, le salon est aussi perçu comme une pièce moins éclairée par certains (20). Cela pourrait indiquer des variations dans la distribution de la lumière selon l'orientation et la taille des fenêtres.

**Graphe VI. 6: l'utilisation de l'éclairage électrique pour l'accomplissement des tâches ménagères**

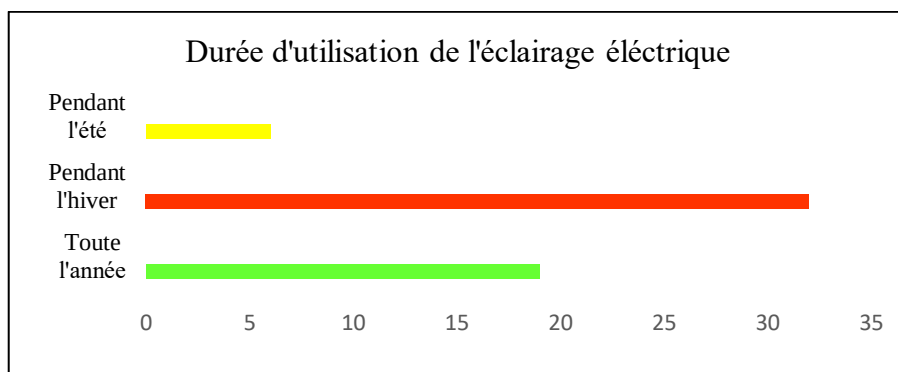
Source: Auteur

La majorité (28) utilise l'éclairage électrique, ce qui peut suggérer un besoin de complément en raison d'un manque de lumière naturelle dans certaines pièces.

**Graphe VI. 7: l'utilisation de l'éclairage électrique pendant une grande période de la journée**

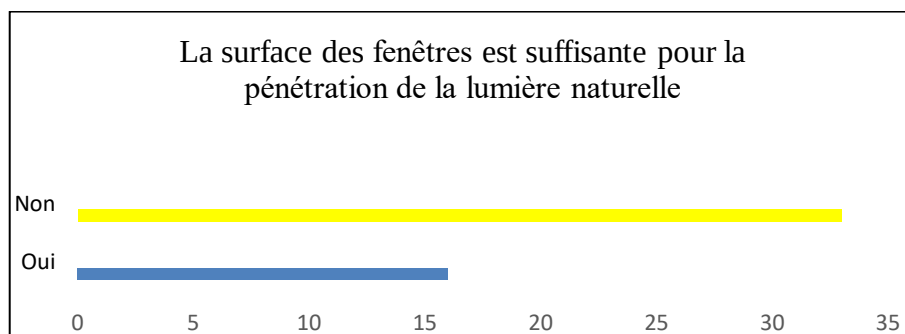
Source: Auteur

19 participants affirment utiliser l'éclairage électrique sur de longues périodes, ce qui souligne un manque de lumière naturelle dans les espaces de vie.

**Graphe VI. 8: durée d'utilisation de l'éclairage électrique**

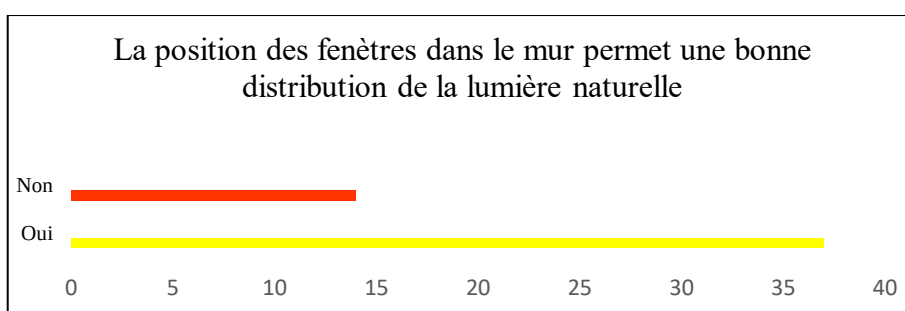
Source: Auteur

L'éclairage est principalement utilisé toute l'année (19), ce qui souligne un besoin constant d'éclairage artificiel, en particulier pendant l'hiver (32). Ce qui se reflète négativement sur la réduction de la consommation énergétique.

**Graphe VI. 9: surface des fenêtres et quantité de lumière**

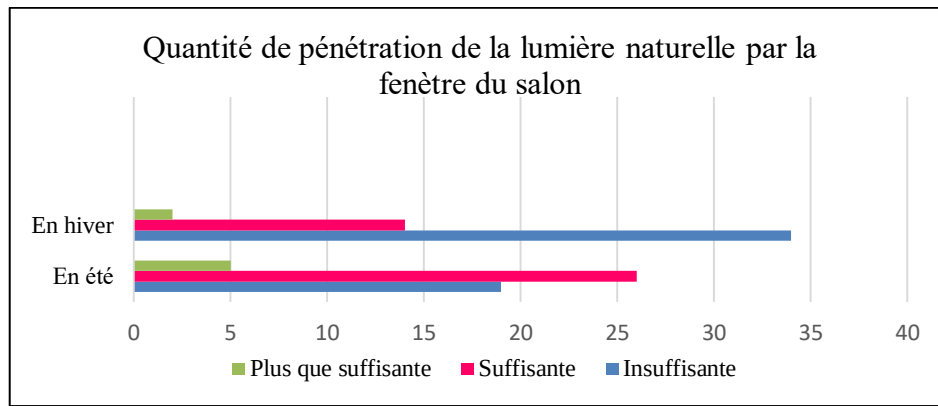
Source: Auteur

La majorité des participants (33) trouvent que la surface des fenêtres est insuffisante pour la lumière naturelle. Cependant, 16 d'entre eux pensent le contraire.

**Graphe VI. 10: la position des fenêtres**

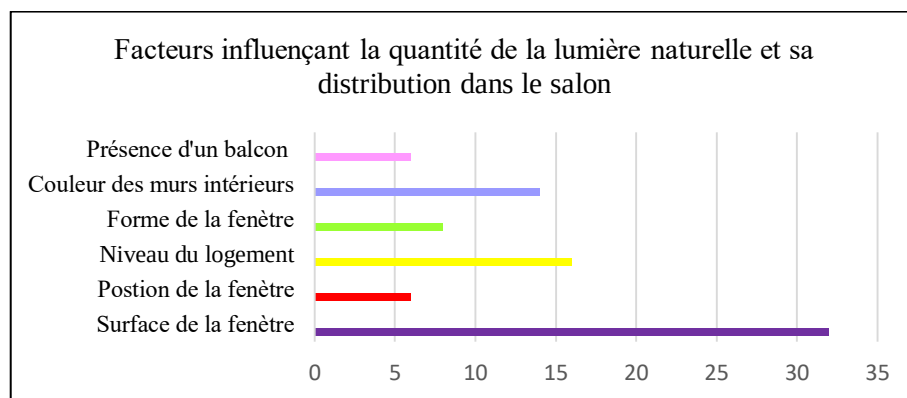
Source: Auteur

36 participants trouvent que la position des fenêtres permet une bonne distribution de la lumière, mais 14 pensent le contraire.

**Graph VI. 11: quantité de pénétration de la lumière**

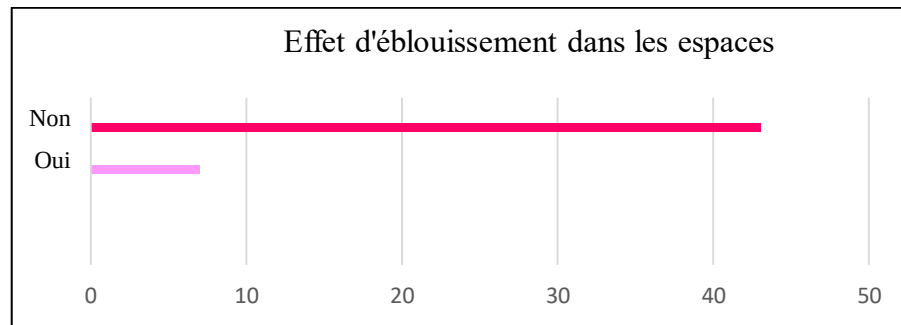
Source: Auteur

En été, la lumière est jugée suffisante par 26 participants, mais insuffisante par 19. En hiver, cette perception d'insuffisance augmente, ce qui suggère un besoin d'ajustement des fenêtres ou le recours à l'utilisation de l'éclairage électrique.

**Graph VI. 12: les facteurs influençant la quantité de la lumière naturelle**

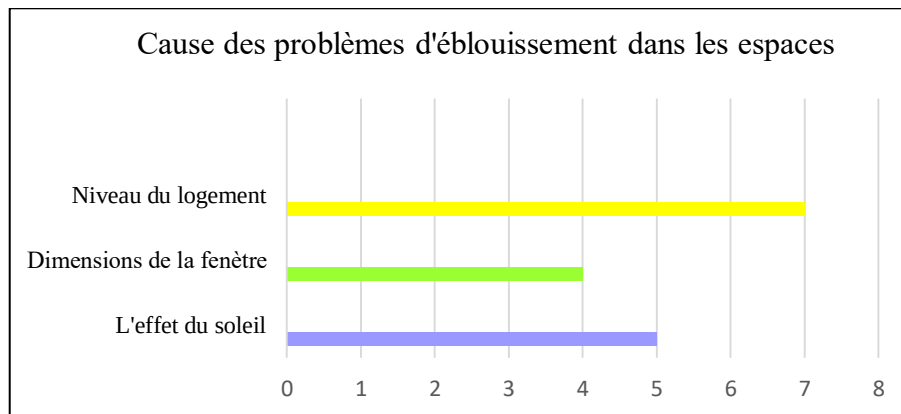
Source: Auteur

La surface des fenêtres est le facteur le plus déterminant en matière de lumière naturelle, avec une majorité de participants la choisissant comme critère principal (32). D'autres facteurs, tels que le niveau (étage), la position des fenêtres et la couleur des murs, jouent également un rôle, mais la taille des fenêtres est celle qui est le plus souvent citée.



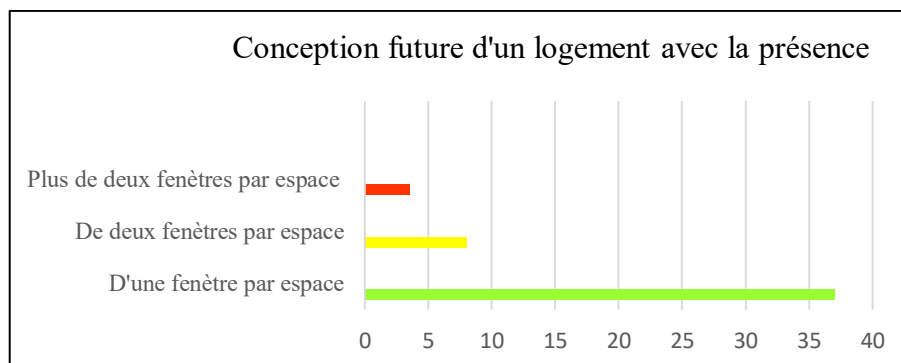
Graph VI. 13: l'effet d'éblouissement dans les espaces
Source: Auteur

Seulement 7 participants rapportent un problème d'éblouissement, ce qui indique que ce n'est pas une gêne majeure dans ces espaces.



Graph VI. 14: les causes des problèmes d'éblouissement dans les espaces
Source: Auteur

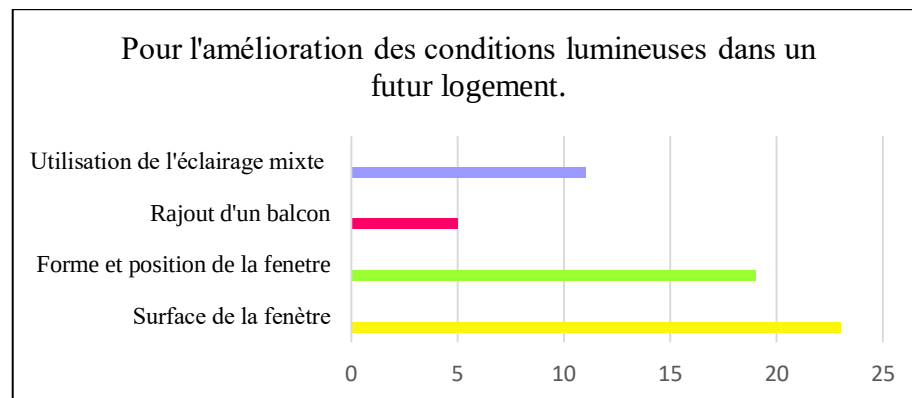
Selon les participants, l'effet du niveau (les étages) est la cause principale. Les autres facteurs semblent avoir moins d'influence.



Graph VI. 15: la conception future d'un logement
Source: Auteur

La majorité des participants préfèrent une fenêtre par espace (37), tandis qu'un petit nombre souhaite deux fenêtres ou plus. Cela indique une préférence pour un éclairage latéral avec un

retour vers l'esprit des traditions (préservation de l'intimité) plutôt qu'une grande exposition vers le monde extérieur.



Graphe VI. 16: les conditions lumineuses dans un futur logement.

Source: Auteur

La majorité des interviewés envisagent d'avoir un logement avec une configuration raisonnable des fenêtres pour éviter tout risque que ce soit sur le plan thermique ou lumineux. Les autres indicateurs semblent être moins importants.

I.1. SYNTHÈSE DE L'ÉVALUATION SUBJECTIVE

L'évaluation subjective de l'environnement lumineux des espaces sélectionnés a révélé des résultats significatifs concernant la satisfaction des occupants. Basée sur un questionnaire auprès de 50 participants (33 hommes et 17 femmes), l'étude montre que la majorité d'entre eux (70 %) résident dans leur logement depuis plus de 10 ans, reflétant une bonne connaissance de leur environnement lumineux. En été, le salon est l'espace le plus fréquenté (37), tandis qu'en hiver, la chambre parentale est privilégiée. Concernant la lumière naturelle, 20 participants la jugent moyenne et 16 suffisantes, traduisant une perception générale de non-satisfaction. La cuisine est identifiée comme la pièce la mieux éclairée, tandis que le salon est perçu comme insuffisamment éclairé par 20 participants. L'éclairage électrique est largement utilisé (28 participants), souvent pendant de longues périodes (19), notamment en hiver, ce qui reflète une grande dépendance et un impact négatif sur la consommation énergétique. L'étage et la surface des fenêtres apparaissent comme les facteurs déterminants du confort lumineux, 33 participants jugent ces surfaces insuffisantes. Ces résultats soulignent la nécessité d'améliorer la conception des fenêtres pour répondre aux besoins en lumière naturelle et réduire la dépendance à l'éclairage artificiel.

II. EVALUATION OBJECTIVE DE L'ENVIRONNEMENT LUMINEUX DES ESPACES INVESTIGUES (TRAITEMENT DES VALEURS MESUREES).

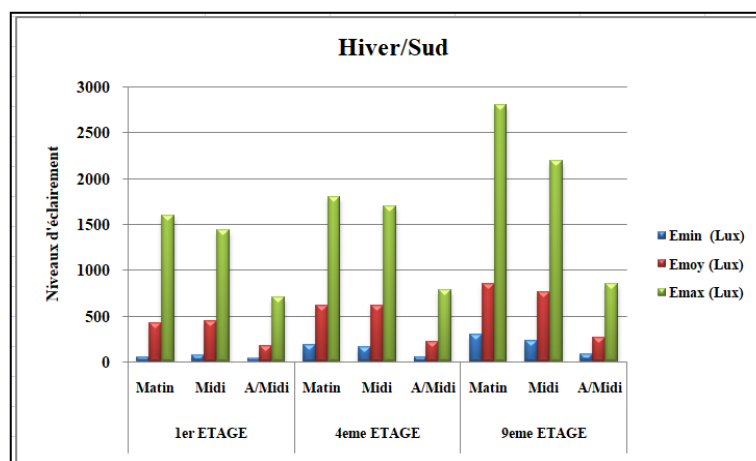
L'éclairage lumineux est une mesure clé pour l'éclairage intérieur. En l'absence de références dans les études locales et les réglementations algériennes concernant les niveaux d'éclairage recommandés ou les facteurs de lumière du jour en matière de construction à usage d'habitation. Dans cette recherche, 300 lux est retenu comme donnée de référence. Ce niveau est tiré de la norme de la réglementation britannique (CIBSE, 2012) pour les tâches visuelles modérément faciles et fournissant des directives plus claires sur le niveau d'éclairage requis pour les différentes tâches.

Après l'achèvement de la campagne de mesure des trois saisons ; nous avons procédé à l'évaluation quantitative des niveaux d'éclairage obtenus in-situ. L'étude basée sur différents niveaux (étages) et différentes orientations permettra de déterminer les besoins, le contrôle et les conditions de l'environnement lumineux. Les mesures sont traduites en tableaux et graphes et traitées par Excel et Matlab (Annexe 03) puis comparées sur différentes variations ce qui offre une vision plus détaillée sur l'environnement lumineux des espaces étudiés.

II.1. L'ENVIRONNEMENT LUMINEUX DES ECHANTILLONS (Campagne hivernale):

Les résultats présentés ci-dessous (**Graphen°VI.17**) mettent en évidence l'influence du type de ciel, de l'orientation ainsi que le niveau (étage ou hauteur) sur la quantité de la lumière dans un local. Le 21 décembre est proche du solstice d'hiver, donc le soleil sera bas sur l'horizon, ce qui influencera l'angle d'incidence.

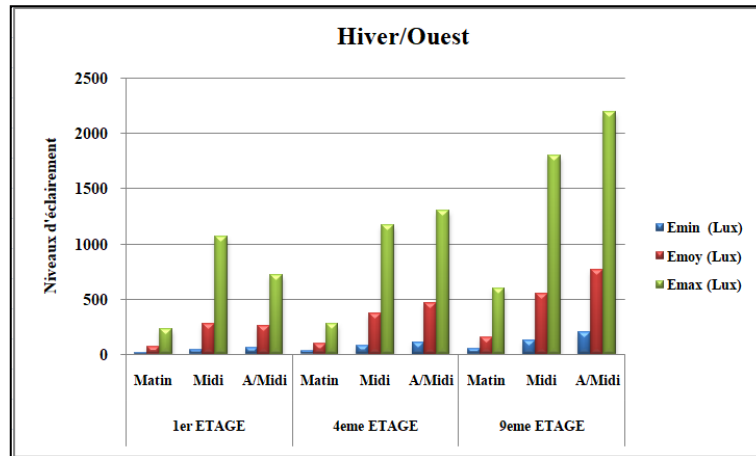
Les résultats montrent que la moyenne la plus élevée dépasse 2000 Lux le matin pour l'unité située au 9^{ème} étage pour le Sud. L'éclairage min le plus faible est de 15 Lux à l'unité du premier étage à orientation Ouest. L'éclairage est plus bas l'après-midi.



Graphe VI. 17: les valeurs des éclairagements lumineux horizontaux pour l'orientation Sud (Hiver)

Source: Auteur

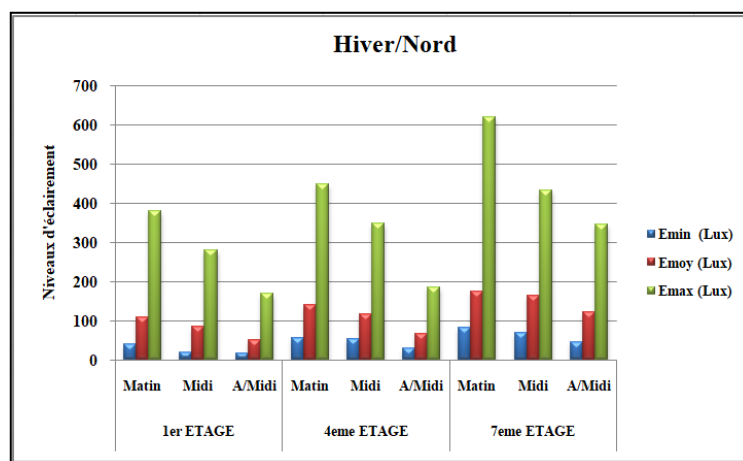
Les mesures des éclairagements lumineux horizontaux sur plan de travail ont démontré que sous ciel presque clair (sans soleil) le 21 et 22 Décembre ; la répartition lumineuse de ces espaces est asymétrique pour les trois prises de mesures de cette journée. A titre d'exemple, la pièce située au 1^{er} étage présente des niveaux d'éclairement nettement plus importants près de la fenêtre qu'au fond du local.



Graphe VI. 18: les valeurs des éclairagements lumineux horizontaux pour l'orientation Ouest (Hiver)

Source: Auteur

L'étude montre que les facteurs externes comme l'angle du soleil et l'obstruction environnante ont un impact majeur sur la pénétration de la lumière du jour dans la pièce. Cependant, la présence des obstacles tels que les arbres dans le voisinage justifie de façon critique quand l'adéquation de la lumière du jour a été considérablement réduite dans certaines pièces.



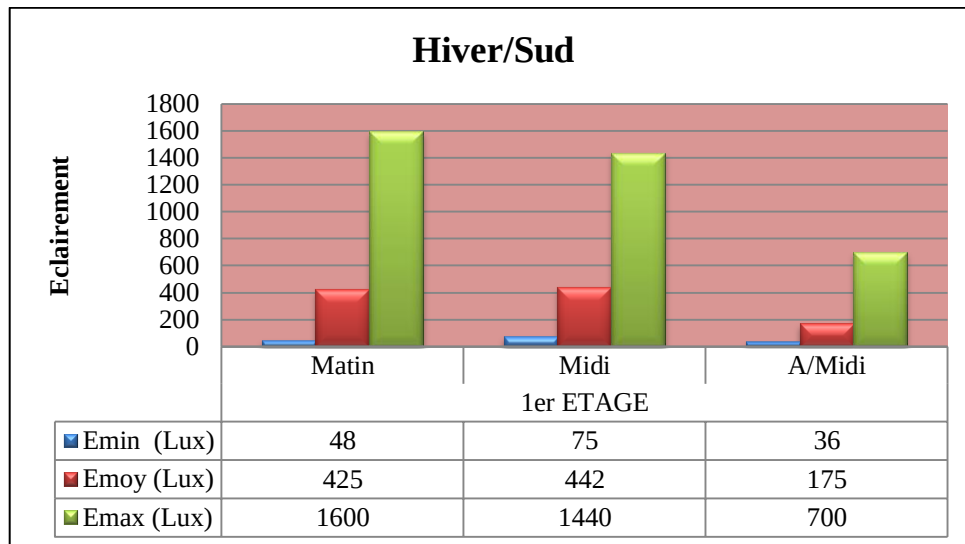
Graph VI. 19: les valeurs des éclairagements lumineux horizontaux pour l'orientation Nord (Hiver).

Source: Auteur

L'orientation Nord procure un niveau d'éclairage lumineux moins élevé ; cependant, on observe que l'obstruction extérieure peut réduire ou bloquer encore plus la pénétration de la lumière du jour, comme on le constate pour les pièces du premier et du 4eme étage présentant pourtant des fenêtres à vitrage simple transparent. Dans ces pièces, la lumière du jour n'atteignait même pas 150 lux à n'importe quel moment de la journée et en toute saison.

1/la pièce située au 1^{er} étage orientée Sud

Les mesures des éclairagements lumineux horizontaux sur plan de travail ont démontré les faits suivants: Sous ciel presque clair (sans soleil) le 21 Décembre ; la pièce située au 1^{er} étage orientée Sud présente des niveaux d'éclairage nettement plus importants près de la fenêtre qu'au fond du local. La répartition lumineuse de cet espace est asymétrique pour les trois prises de mesures de cette journée. (La présence d'un arbre à environ 2m de la fenêtre a radicalement transformé la lumière de la pièce). Les valeurs de l'éclairage moyen prises à 8h30mn et 12h30mn sont très proches: 425Lux et 442Lux et supérieures à la norme recommandée (300Lux) alors que l'après-midi (16h00mn) l'éclairage moyen a baissé pour atteindre 175 Lux ce qui est insuffisant pour le déroulement de certaines activités domestiques.

**Graphe VI. 20: les variations lumineuses Hiver/Sud**

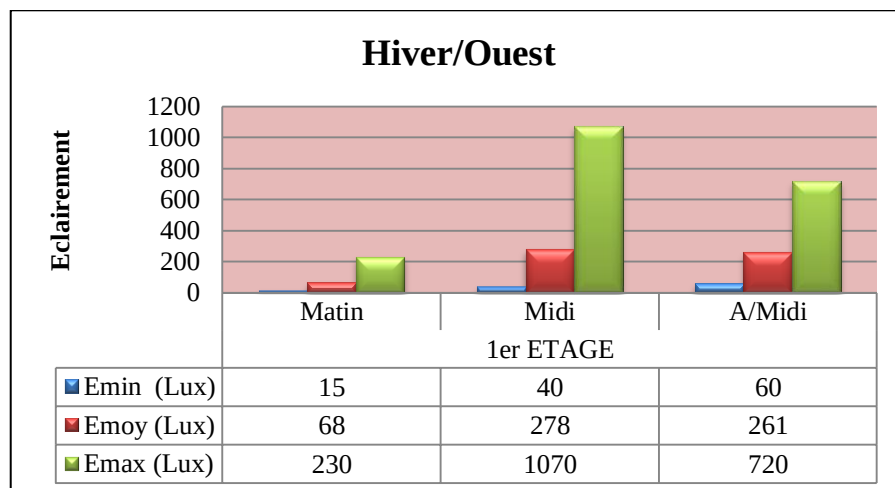
Source: Auteur

Les valeurs maximales d'éclairement $E_{\max}$ relevées près de la fenêtre fermée sans stores ont atteint des chiffres élevés (1600 Lux à 8h30 – 1440Lux à 12h30mn pour descendre à 700Lux vers 16h00mn). Les valeurs minimales d'éclairement ont été relevées à proximité du mur de fond (opposé au mur de la fenêtre) et ont affiché des chiffres très faibles durant la journée comme indiqué sur le graphe n°VI.20.

L'indice d'uniformité pour cet échantillon (0.20) se trouve inférieur à la recommandation.

2/la pièce située au 1^{er} étage orientée Ouest

L'orientation de l'ouverture influence directement la quantité de la lumière captée.

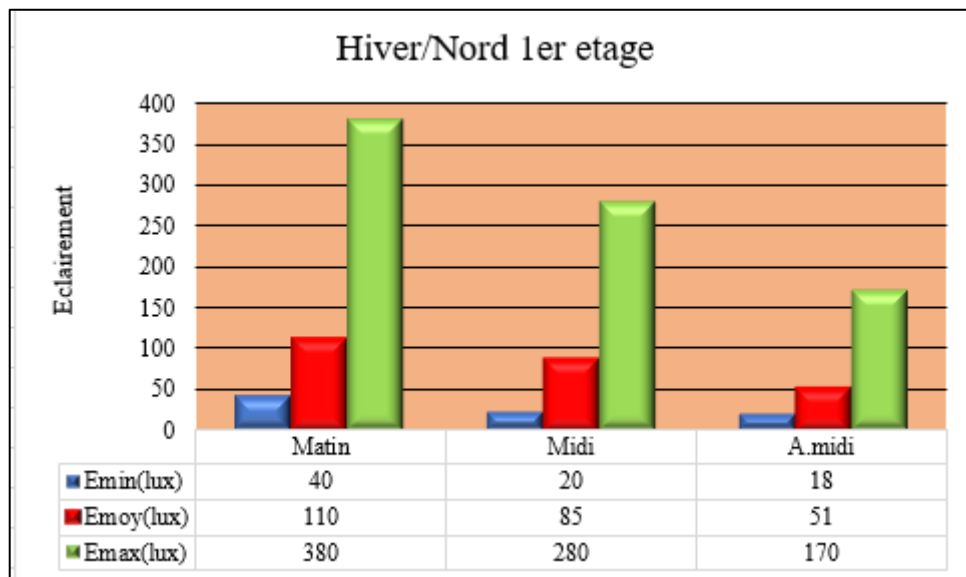
**Graphe VI. 21: les variations lumineuses Hiver/Ouest**

Source: Auteur

Ainsi, l'échantillon situé au 1^{er} étage Ouest semble être mal éclairé le matin avec un niveau d'éclairement moyen de 68Lux et la valeur maximale ne dépasse pas 230Lux près de la fenêtre. Tandis qu'à Midi et l'après-midi les niveaux d'éclairement se rapprochent de la valeur de référence comme l'indique le graphe n°VI.21

3/la pièce située au 1^{er} étage orientée Nord

La quantité d'énergie solaire reçue en un endroit dépend souvent de l'ombrage des bâtiments avoisinants. En hiver, le soleil est bas sur l'horizon: la présence d'un arbre de plus 8m de hauteur se trouvant à proximité de la fenêtre et qui intercepte le soleil pendant cette période gêne grandement l'utilisation de la lumière naturelle c'est pourquoi l'éclairage électrique a fonctionné presque pour toute la journée dans cette pièce située au 1^{er} étage.

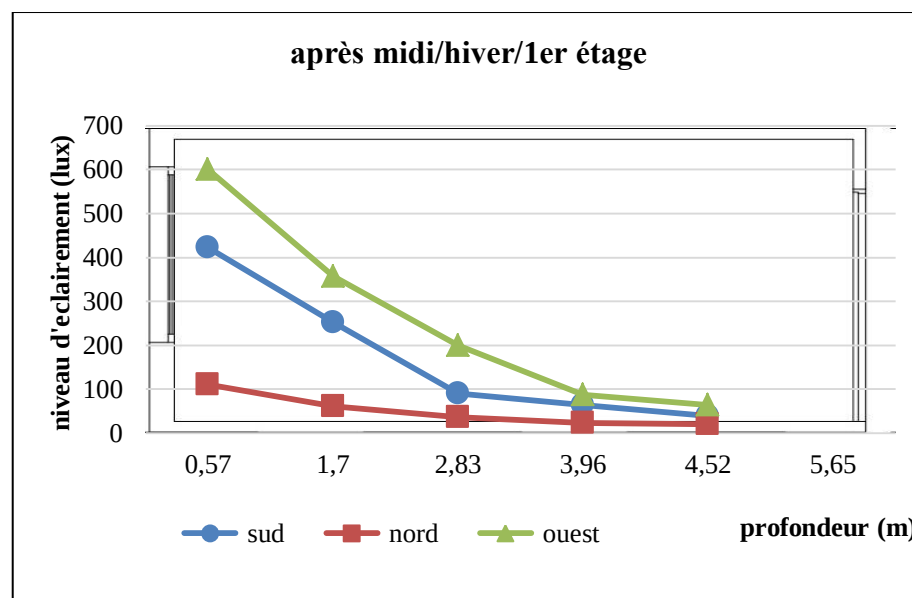
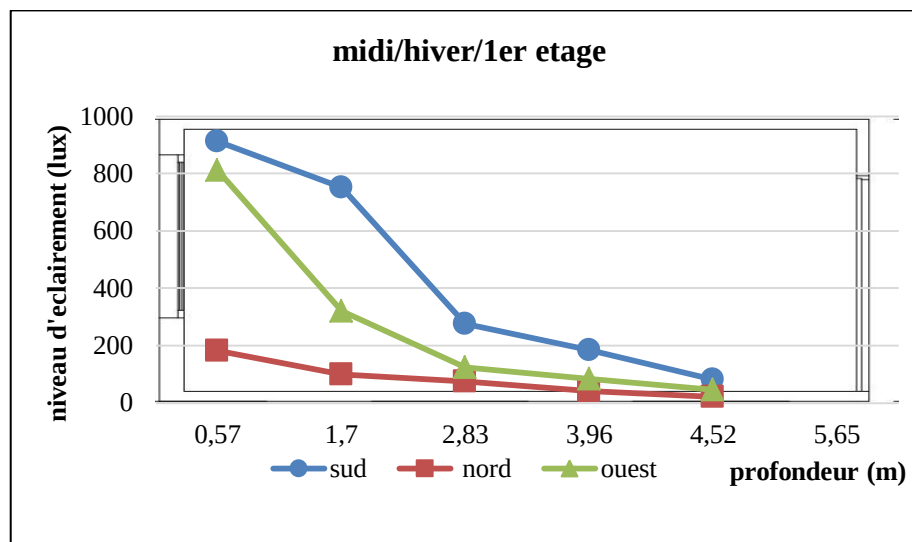
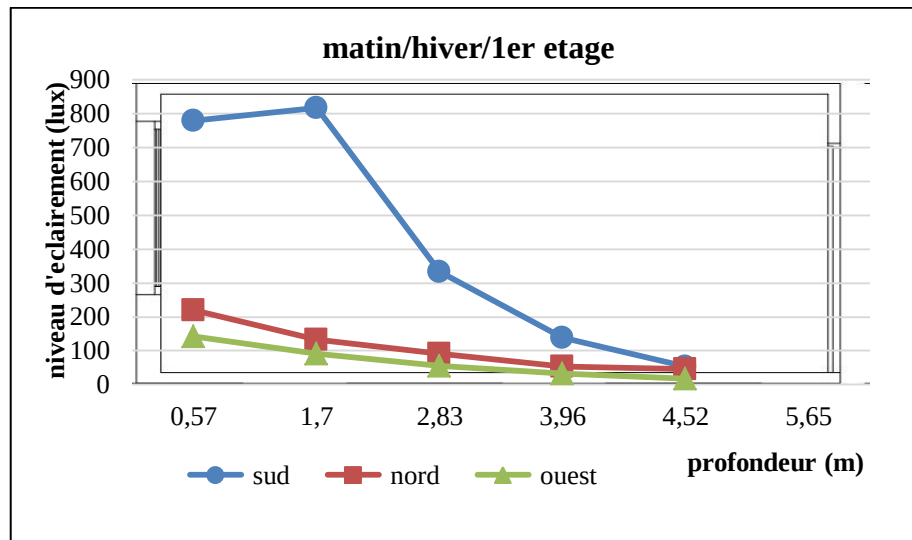


Graphe VI. 22 les variations lumineuses Hiver/Nord

Source: Auteur

Les valeurs maximale, minimale et la moyenne des éclairagements lumineux horizontaux enregistrés montrent que les valeurs de l'éclairement moyen ont baissé de 110Lux à 8h30mn et 85Lux à 12h30mn jusqu'à 51Lux vers 15h55mn.

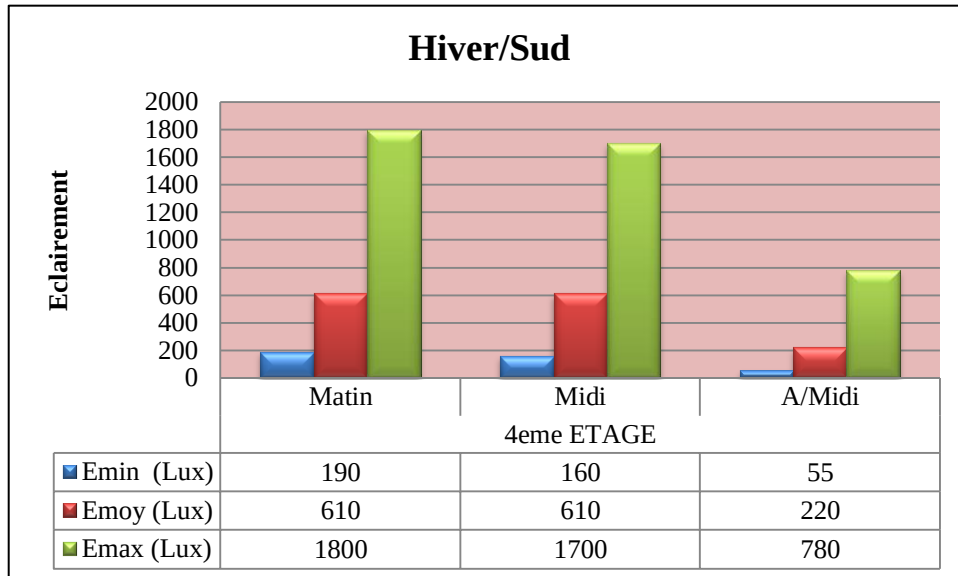
Néanmoins, la moyenne de l'indice d'uniformité pour cette journée (0.32) montre que l'éclairage général était uniforme.



Courbes VI. 1: les niveaux d'éclairement selon les périodes de la journée(1^{ER} étage)

4/la pièce située au 4^{ème} étage orientée Sud

Sous les conditions de ciel clair d'hiver pour le séjour situé au 4^{ème} étage il ressort que l'éclairage général de la pièce n'est pas uniforme avec un indice $I_u=0.27$ (de peu inférieur à l'indice de référence $0.3 < I_u < 0.4$). La lumière diffuse du ciel est disponible dans toutes les directions, l'apport est maximal sur la façade Sud en hiver.

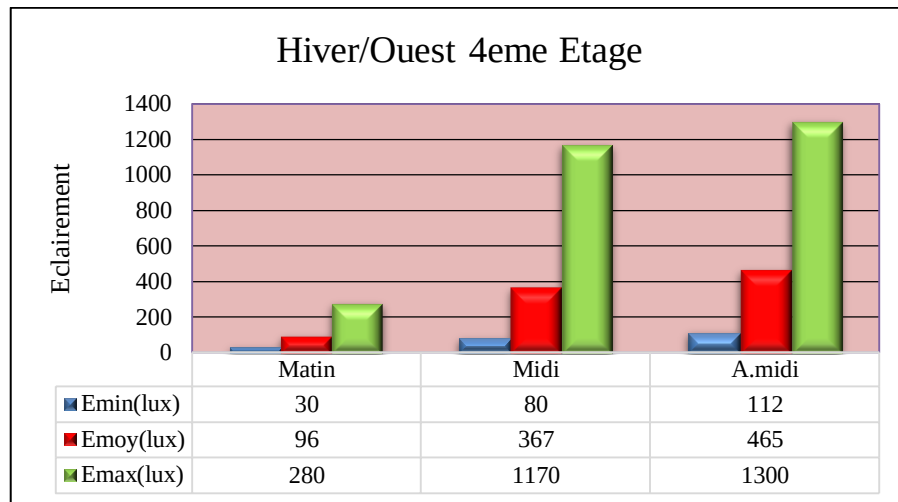


Graph VI. 23: les variations lumineuses Hiver/Sud
Source: Auteur

Les valeurs de l'Emoy pour le matin et pour midi sont similaires (610Lux) dépassant la norme. Néanmoins, l'après-midi (16h00mn) l'Emoy s'approche de 300Lux ce qui rend l'espace lumineux optimal pour les usagers.

5/la pièce située au 4^{ème} étage orientée Ouest

Pour l'espace de séjour situé au 4ème étage ; la quantité de la lumière naturelle répartie dans l'espace est insuffisante pour la période matinale avec une valeur d'éclairement inférieure à 100Lux. Tandis que pour la période de Midi et l'après-midi ; l'éclairement moyen augmente pour atteindre 367Lux à 12h42mn et 465Lux à 16h00mn.



Graphe VI. 24: les variations lumineuses pour l'Ouest à l'hiver

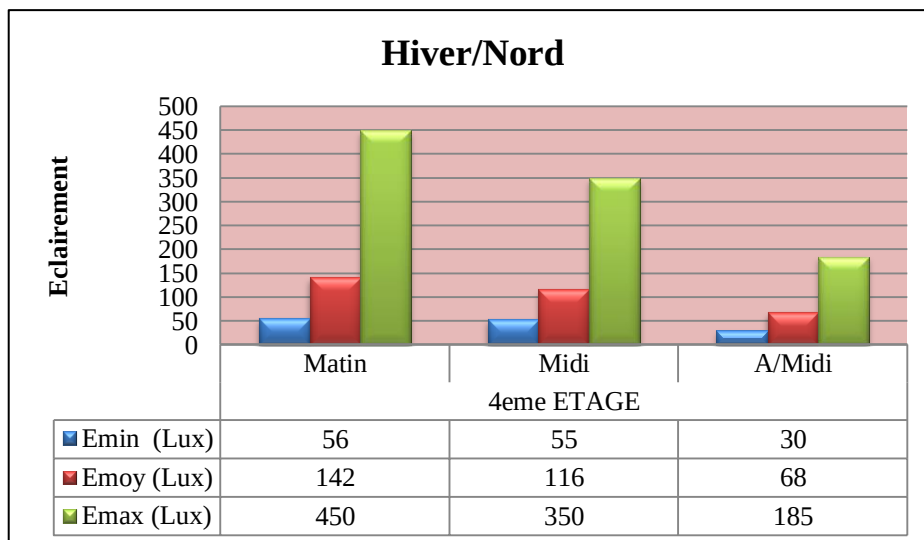
Source: Auteur

Les valeurs maximales de l'éclaircissement près de la fenêtre ont atteint des chiffres très élevés surtout à midi où l'éclaircissement moyen = 1170Lux.

L'indice d'uniformité pour cet échantillon: 0.26 ne se trouve pas très loin de la norme.

6/la pièce située au 4^{ème} étage orientée Nord

Pour cette période hivernale, les usagers de cet espace optent pour l'utilisation de l'éclairage combiné (naturel et électrique). Les valeurs moyennes de l'éclaircissement ont oscillé entre 142Lux à 8h32mn et 116Lux à 12h00mn jusqu'à 68Lux l'après-midi.

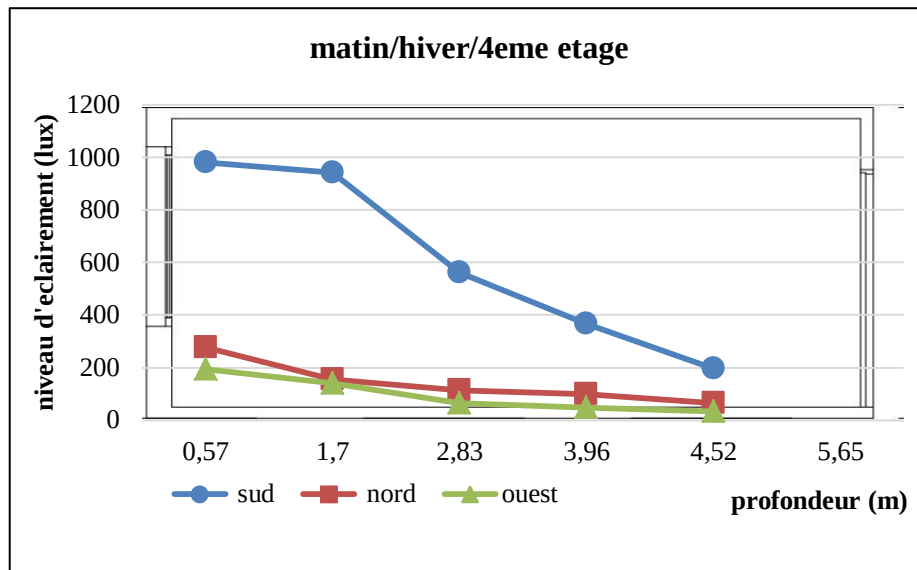


Graphe VI. 25: les variations lumineuses pour le nord (hiver)

Source: Auteur

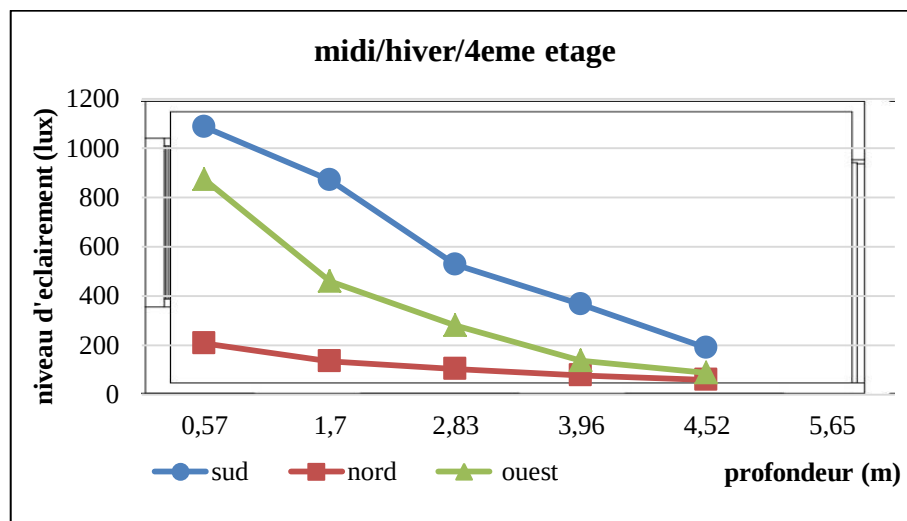
La valeur maximale a été relevée à 8h30mn près de l'ouverture alors que le niveau d'éclaircissement le plus bas a été affiché au fond de la salle l'après-midi à 15h55mn.

Néanmoins, l'indice d'uniformité affiche une valeur de 0.44 situé dans l'intervalle recommandé pour de tels espaces.



Courbes VI. 2: les niveaux d'éclairement selon les périodes de la journée Hiver (4^{ème} étage)

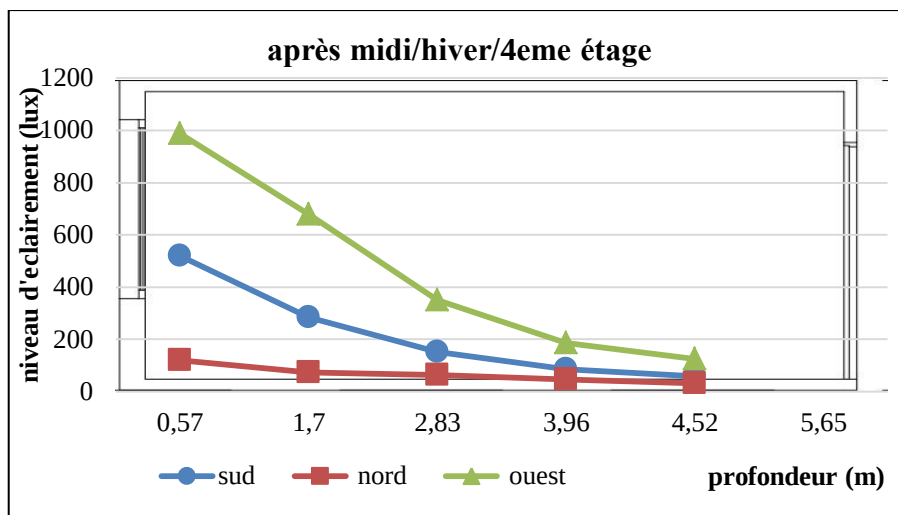
L'orientation sud offre un éclairage nettement supérieur, dépassant 1000 lux près de la fenêtre, puis décroissant à mesure que l'on s'éloigne. Les orientations nord et ouest, en revanche, affichent des niveaux d'éclairement faibles et stables autour de 100 à 200 lux. Cela illustre l'importance de l'orientation sud pour maximiser la lumière naturelle en hiver.



Courbes VI. 3: les niveaux d'éclairement selon les périodes de la journée Midi (4^{ème} étage)

À midi en hiver, au 4^e étage, l'éclairage est maximal au sud avec environ 1100 lux à 0,57 m, diminuant graduellement à mesure que la profondeur augmente. L'ouest présente un éclairage initial de 800 lux, qui décroît également de façon marquée. L'orientation nord

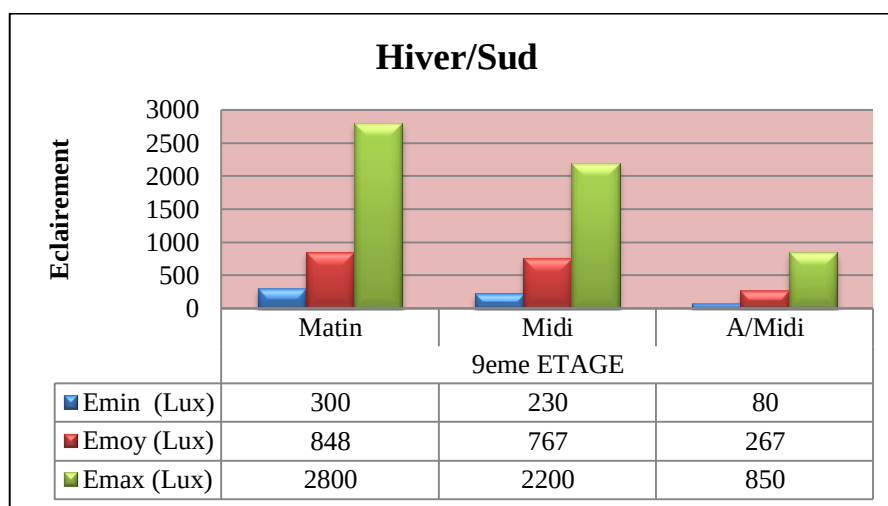
reste la plus faible, avec un éclairage constant d'environ 200 lux tout au long de la profondeur. Cela illustre que la lumière naturelle est bien plus abondante au sud, tandis que l'ouest en reçoit modérément et le nord très peu.



Courbes VI. 4: les niveaux d'éclairage selon les périodes de la journée. A. Midi (4^{ème} étage)

7/la pièce située au 9^{ème} étage orientée Sud

Il ressort à travers cette étude que la profondeur de la pièce a un impact majeur sur l'environnement lumineux. Le graphe n°.VI.26 montre qu'il y a (une forte baisse) un grand écart entre les valeurs enregistrées près de la fenêtre et celles prises au fond de la pièce du 9^{ème} étage.



Graphe VI. 26: les variations lumineuses Hiver/Sud.

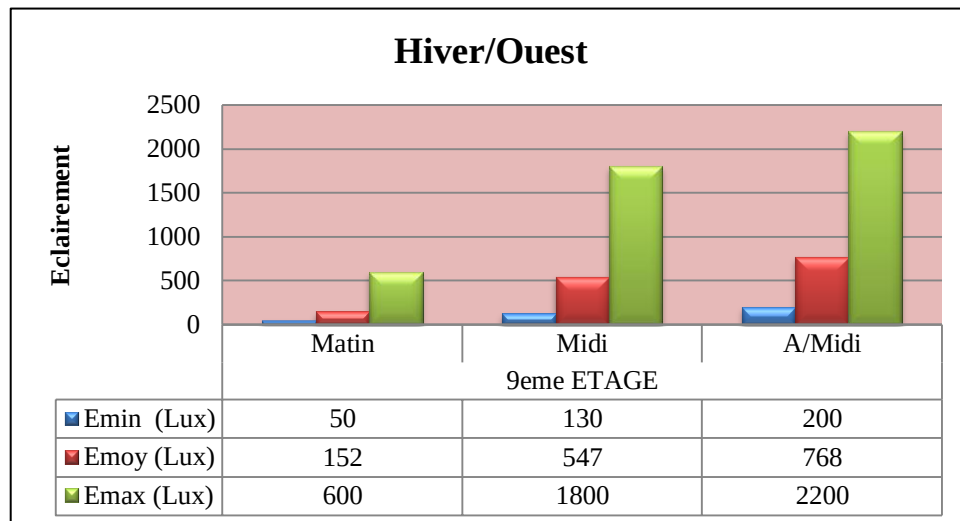
Source: Auteur

La valeur moyenne varie entre 848Lux à 8h20mn et 767Lux à 12h00mn puis descend à 267Lux l'après-midi (16h00mn). Néanmoins, l'indice d'uniformité $I_u=0.32$ indique qu'il y a

une bonne répartition lumineuse. La valeur maximale de l'éclairement relevée près de la fenêtre est de 2800Lux dû à la présence d'une tache solaire au moment de la prise des mesures, tandis que la valeur minimale 80 Lux est enregistrée au fond du séjour à 16h00mn.

8/la pièce située au 9^{ème} étage orientée Ouest

La pièce Ouest située au 9eme étage est exposée aux rayons solaires directs l'après-midi ce qui a engendré des éclairagements lumineux excessifs avoisinants 2200Lux près de la fenêtre.



Graphe VI. 27 les variations lumineuses pour l'Ouest (Hiver)

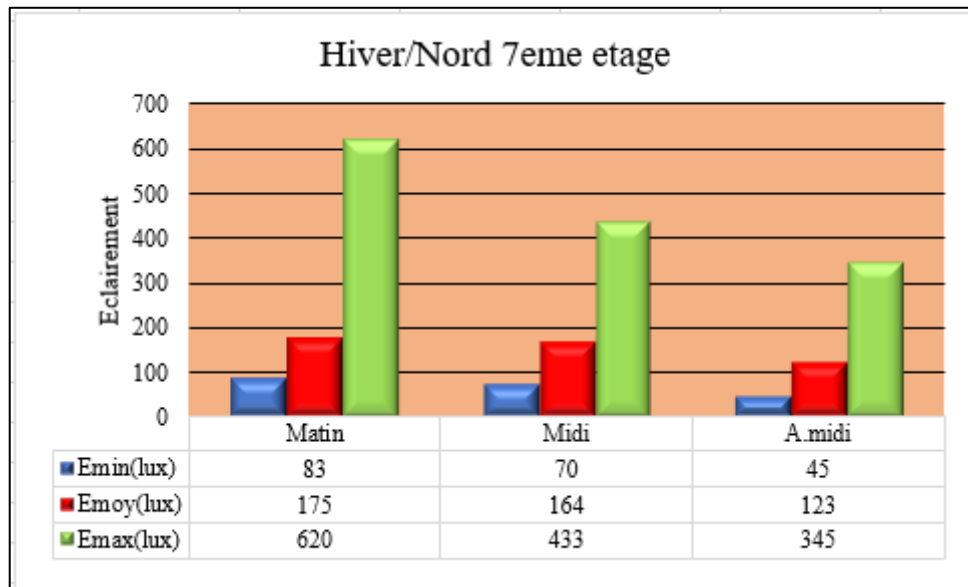
Source: Auteur

Les niveaux d'éclairement moyens enregistrés à midi et l'après-midi sont très élevés et dépassent la norme tandis que la valeur du matin est inférieure à 300Lux ce qui explique l'utilisation de l'éclairage électrique par les usagers en cette période.

La valeur minimale pour cette journée représentative qui est de 50Lux a été relevée le matin (8h00mn) alors que le niveau max a atteint 2200Lux vers 16h00mn. L'indice d'uniformité pour ce cas est de 0.26.

9/la pièce située au 7^{ème} étage orientée Nord

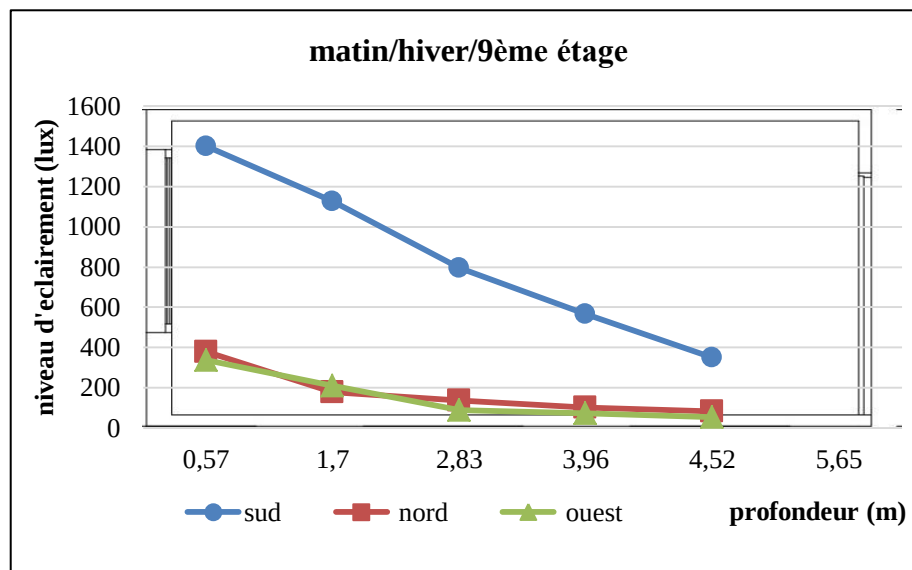
Les résultats des mesures ont montré que cette salle se trouve mal éclairée malgré sa localisation au 7^{ème} étage. La distribution des éclairagements relevés sur les différents points de la grille de mesure ont indiqué que: La valeur de l'éclairement moyen est inférieure à la norme qui est 300Lux pour les trois cas de mesures comme indiqué sur le graphe VI.28



Graphe VI. 28: les variations lumineuses pour le Nord (Hiver)

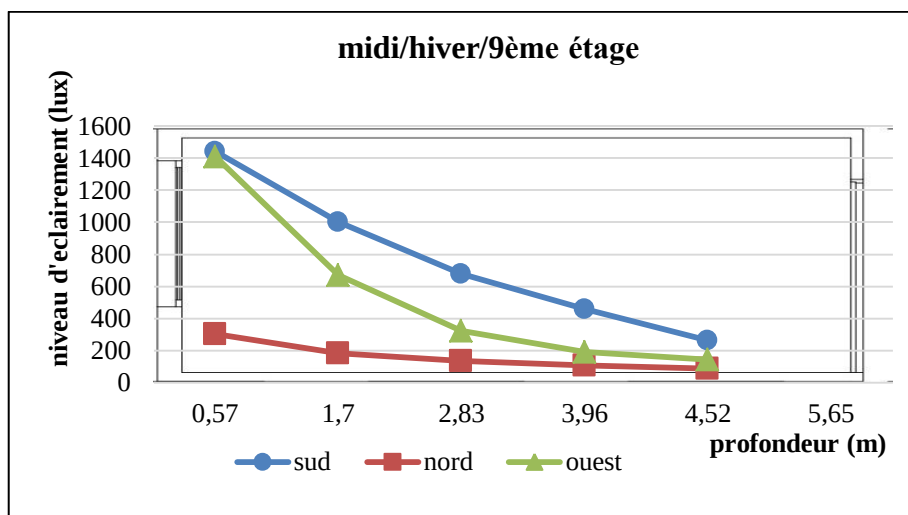
Source: Auteur

Néanmoins, la moyenne de l'indice d'uniformité (0.42) montre que l'éclairage général est uniforme pour cette journée.



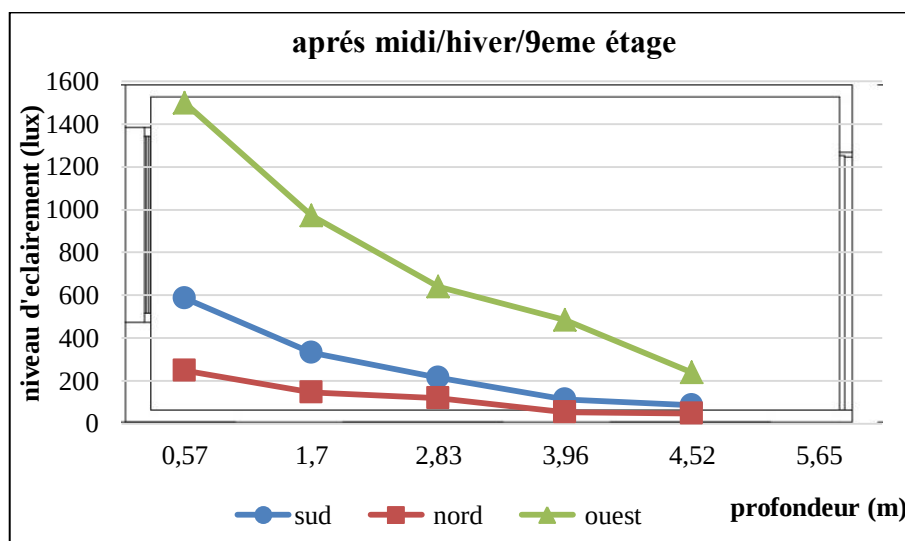
Courbes VI. 5: les niveaux d'éclairage selon les périodes de la journée (9^{ème} étage) matin

L'orientation sud fournit la lumière la plus intense, avec plus de 1400 lux près de la fenêtre, puis décroît en s'éloignant. Les orientations nord et ouest restent faibles, autour de 100 à 200 lux, indépendamment de la distance. Cela montre l'avantage lumineux de l'exposition sud en hiver.



Courbes VI. 6: les niveaux d'éclairement selon les périodes de la journée (9^{ème} étage) Midi

L'éclairement est maximal au sud, atteignant environ 1500 lux à faible profondeur, puis diminue progressivement en s'éloignant des fenêtres. L'ouest suit une tendance similaire, mais avec des valeurs légèrement inférieures, débutant à environ 1200 lux. En revanche, l'éclairement au nord reste faible et stable, autour de 200 lux. Cela souligne l'importance de l'orientation pour maximiser la lumière naturelle en hiver.



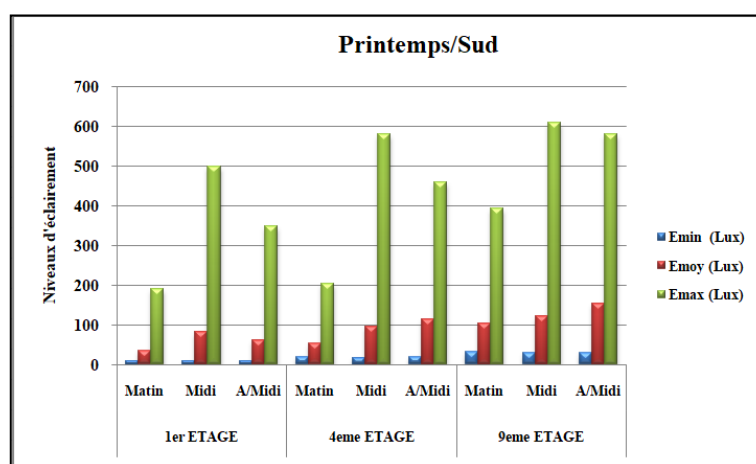
Courbes VI. 7: les niveaux d'éclairement selon les périodes de la journée (9^{ème} étage) A.Midi

En après-midi, l'éclairement est maximal à l'ouest, atteignant environ 1400 lux à faible profondeur, puis diminue progressivement. Au sud, les valeurs sont plus faibles, débutant à environ 500 lux et baissant de façon constante. L'orientation nord reste la moins éclairée, avec des niveaux stables autour de 200 lux. Cela indique que l'ouest reçoit le plus de lumière en fin de journée, tandis que le sud et surtout le nord sont moins exposés.

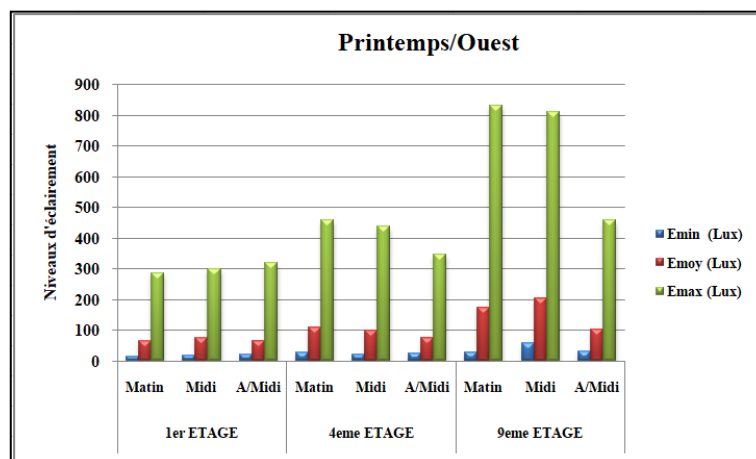
II.2. L'ENVIRONNEMENT LUMINEUX DES ECHANTILLONS (Campagne printanière):

Au Sud on note un grand écart entre les niveaux d'éclairement soulevés près des ouvertures par rapport aux niveaux en profondeur causant une répartition lumineuse non uniforme ce qui provoque un effet d'éblouissement dans le local.

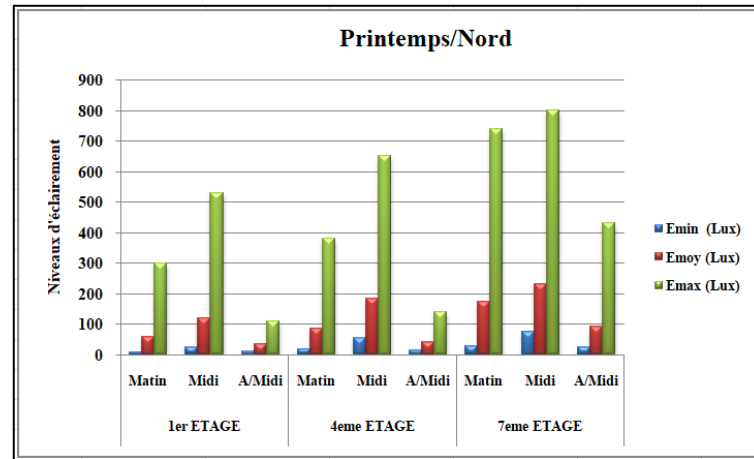
D'après les niveaux d'éclairement mesurés dans les espaces étudiés à orientation Nord, il est évident qu'ils soient dans la plupart des cas en dessous des niveaux acceptables et les normes internationales pour les valeurs de l'éclairement moyen. On observe que très peu de lumière du jour pénètre à l'intérieur de l'espace situé au 1^{er} étage même près des fenêtres.



Graphe VI. 29: les valeurs des niveaux d'éclairement pour les 3 étages (Sud)
Source: Auteur



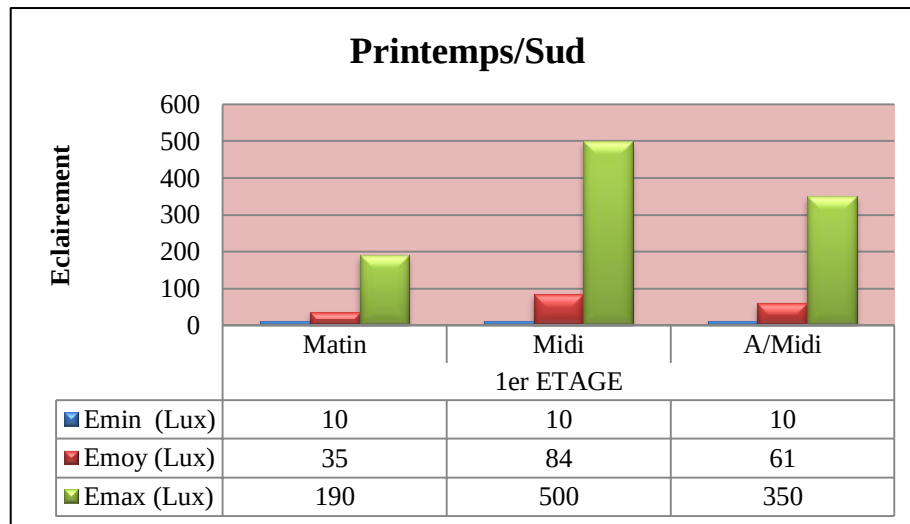
Graphe VI. 30: les valeurs des niveaux d'éclairement pour les 3 étages (Ouest)
Source: Auteur



Graphe VI. 31: les valeurs des niveaux d'éclairement pour les 3 étages (Nord)
Source: Auteur

1/la pièce située au 1^{er} étage orientée Sud

L'apport de lumière naturelle est au maximum sur la façade Sud en Hiver et entre saison. Néanmoins, le 21 Mars 2018 les résultats des mesures ont démontré que les valeurs moyennes de l'éclairement lumineux horizontal sont très faibles pour les trois temps de mesures comme mentionné sur le graphe VI.32. Ceci est dû à deux raisons: l'état du ciel presque nuageux et la présence d'un arbre proche de la fenêtre faisant obstacle à la pénétration de la lumière.

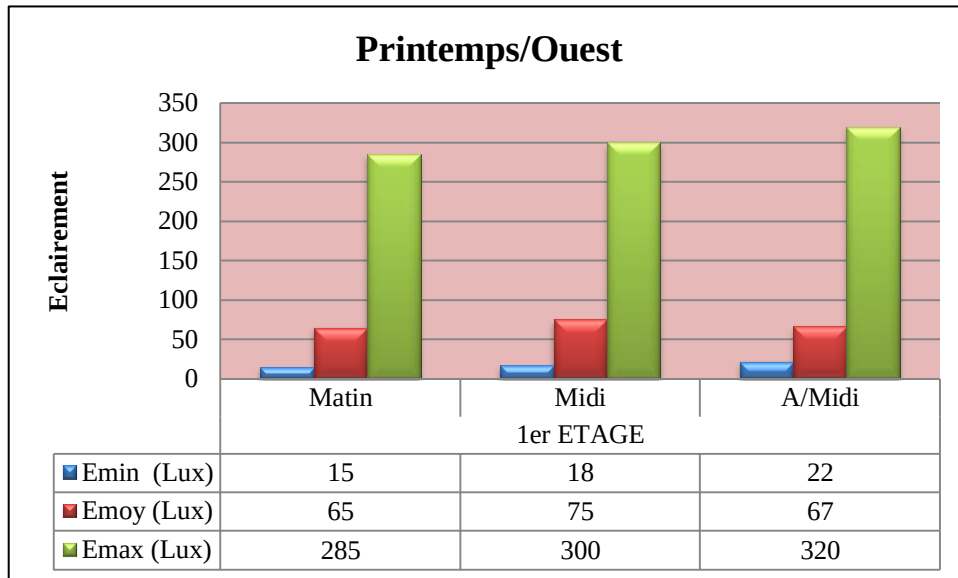


Graphe VI. 32: les variations lumineuses Printemps/Sud
Source: Auteur

Le fond du local se trouve en zone obscure très peu éclairée durant toute la journée avec une valeur de l'éclairement minimal ne dépassant pas 10 Lux et un indice d'uniformité $I_u=0.19$ donnant ainsi un éclairage non uniforme dans l'espace investigué.

2/la pièce située au 1^{er} étage orientée Ouest

Les résultats montrent que seule la zone proche de la fenêtre bénéficie d'un bon éclairage, il est donc clair que la lumière pénètre moins en profondeur avec des valeurs d'éclairement minimal allant de 15Lux en début de matinée jusqu'à 22Lux à 16h00mn.



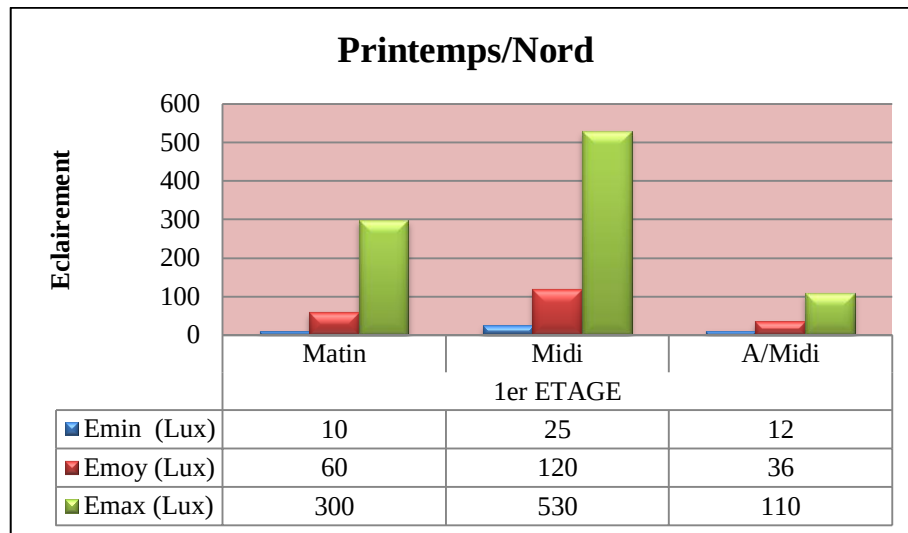
Graphe VI. 33: les variations lumineuses Printemps/Ouest
Source: Auteur

Alors que les valeurs d'éclairement moyen sont assez rapprochées pour les trois phases de la journée mais qui sont largement en dessous de la norme optimale pour un tel espace.

3/la pièce située au 1^{er} étage orientée Nord

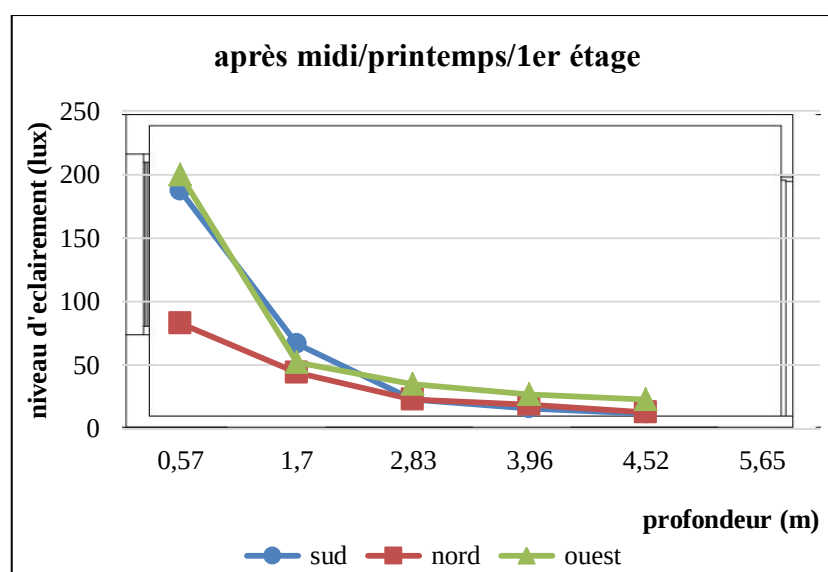
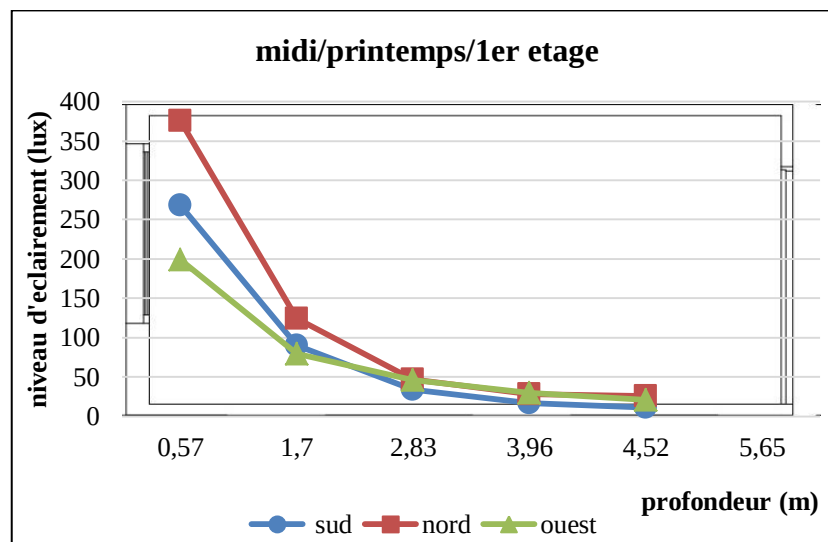
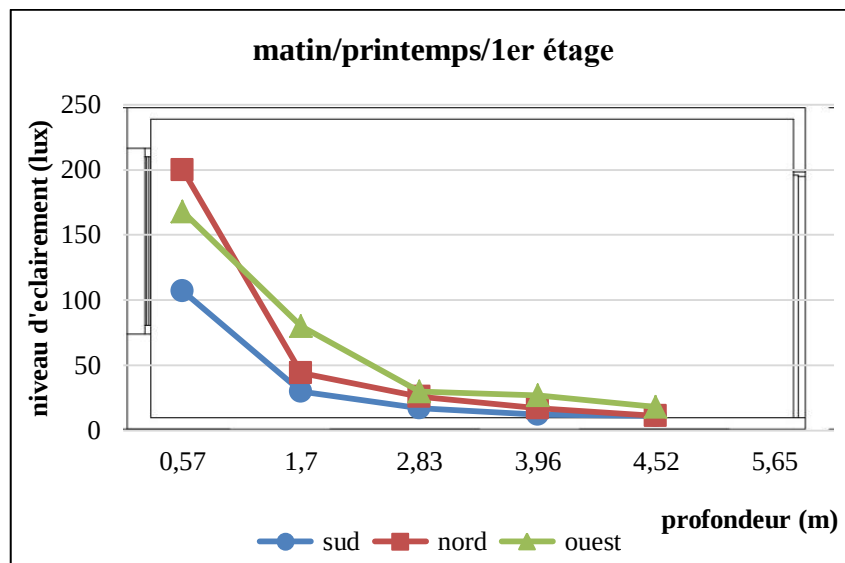
Malgré la disponibilité de la lumière naturelle à l'extérieur ; le système d'éclairage naturel dans cet échantillon n'arrive pas à procurer une quantité lumineuse suffisante à l'intérieur.

L'obstruction extérieure (l'arbre) rend la pièce sombre et inconfortable. Le graphe VI.34 montre que la valeur de l'éclairement moyen prise à 12h30mn est le double de celle prise le matin (8h30mn).



Graphe VI. 34 les variations lumineuses Printemps/Nord
Source: Auteur

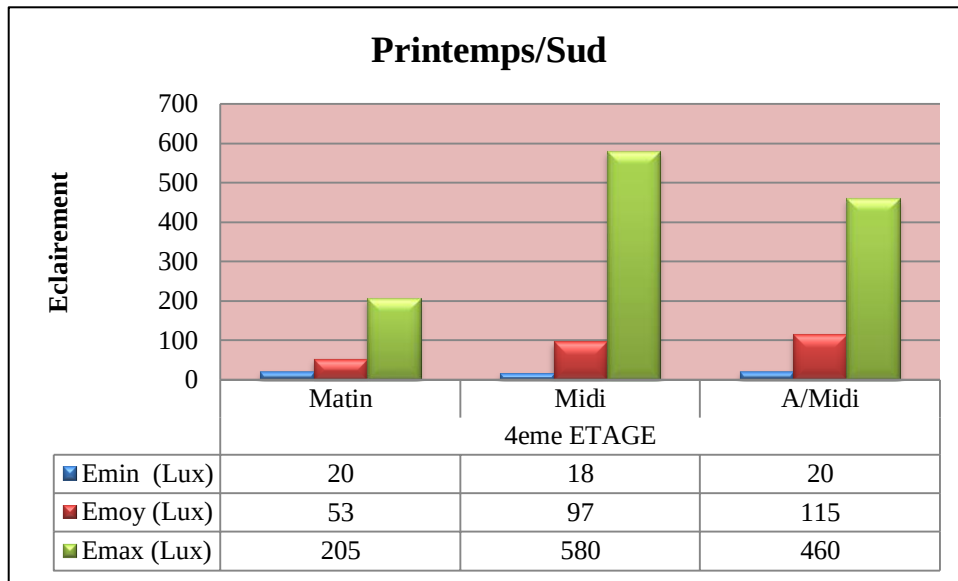
Par ciel presque nuageux, ces valeurs d'éclairement augmentent jusqu'à $E_{\max} = 530 \text{ Lux}$ près de la fenêtre à midi puis baissent jusqu'à 110 Lux à proximité de l'ouverture vers 16h. Le niveau le plus bas $E_{\min} = 10 \text{ Lux}$ est enregistré à 8h30mn au fond du local.



Courbes VI. 8: les niveaux d'éclairement selon les périodes de la journée du 1^{er} étage au printemps

4/la pièce située au 4^{ème} étage orientée Sud

En printemps ; sous des conditions de ciel presque nuageux ; l'environnement lumineux de cet espace situé au 4ème étage semble être insuffisant pour le déroulement de certaines activités. Malgré l'augmentation des valeurs des éclairagements moyens qui passent de 53Lux enregistrées à 8h30mn jusqu'à 115Lux l'après-midi et qui restent inférieures à la norme (300Lux). Les valeurs minimales d'éclairage enregistrées au fond opposé au mur de la fenêtre ont affiché des valeurs ne dépassant pas 20Lux pour chacune des trois prises de mesures.

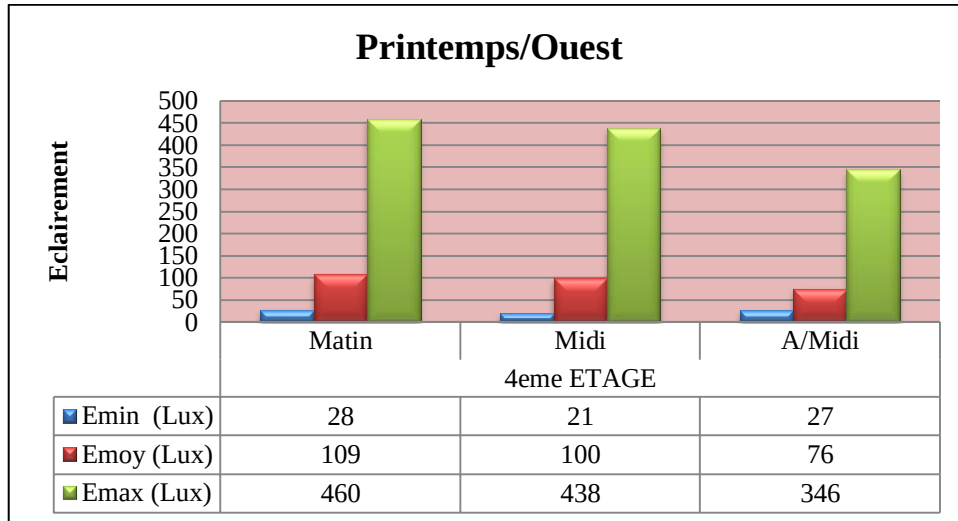


Graphe VI. 35: les variations lumineuses Printemps/Sud

Source: Auteur

5/la pièce située au 4^{ème} étage orientée Ouest

Les mesures démontrent une faible fluctuation des valeurs de l'éclairage moyen pour la première et la deuxième prise de mesures (109Lux à 8h30mn et 100Lux à 12h30mn) qui baissent ensuite pour atteindre 76 Lux à 16h ce qui fait que l'espace est mal éclairé. La valeur maximale d'éclairage: 460Lux relevée près de la fenêtre est prise à 8h30mn.

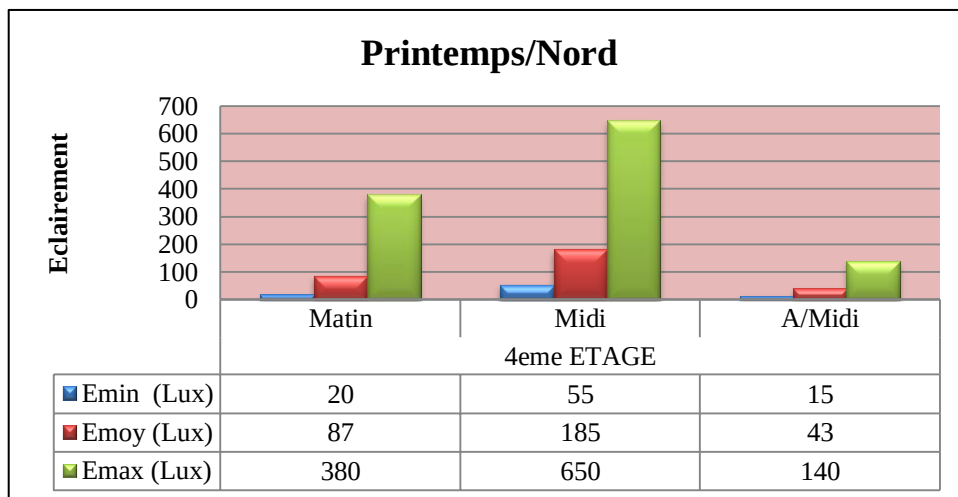


Graphe VI. 36: les variations lumineuses Printemps/Ouest
Source: Auteur

Le graphe n° VI.36 montre une diminution des valeurs d'éclairement moyen pour la pièce orientée Ouest et située au 4eme étage. Il ressort que l'éclairage général de la chambre est presque uniforme pour cette journée ; avec un indice $I_u=0.28$

6/la pièce située au 4^{ème} étage orientée Nord

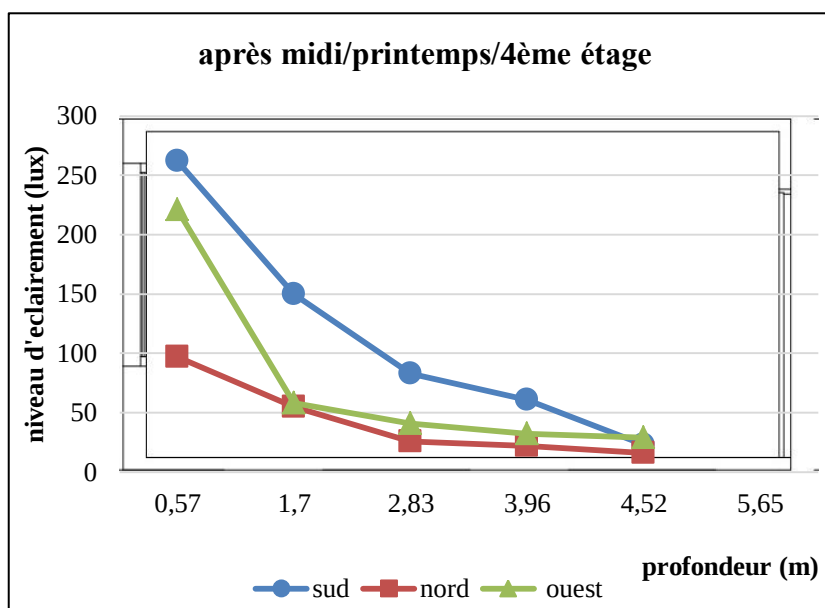
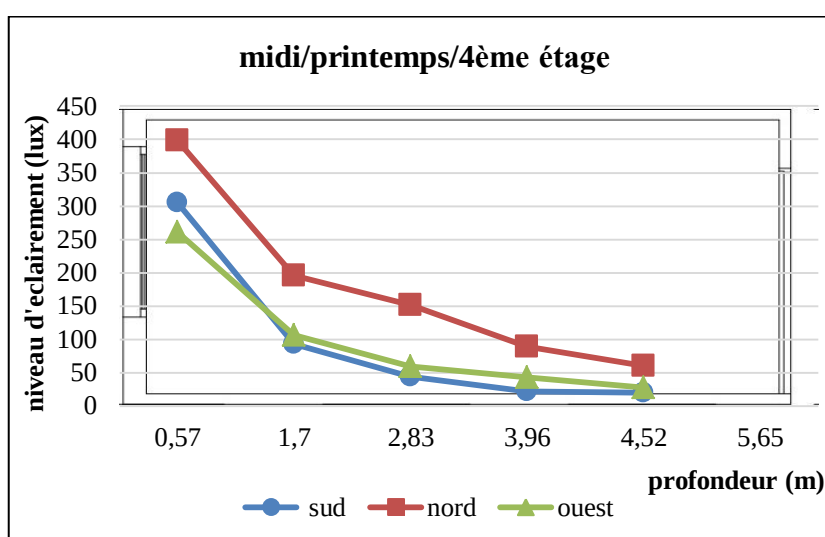
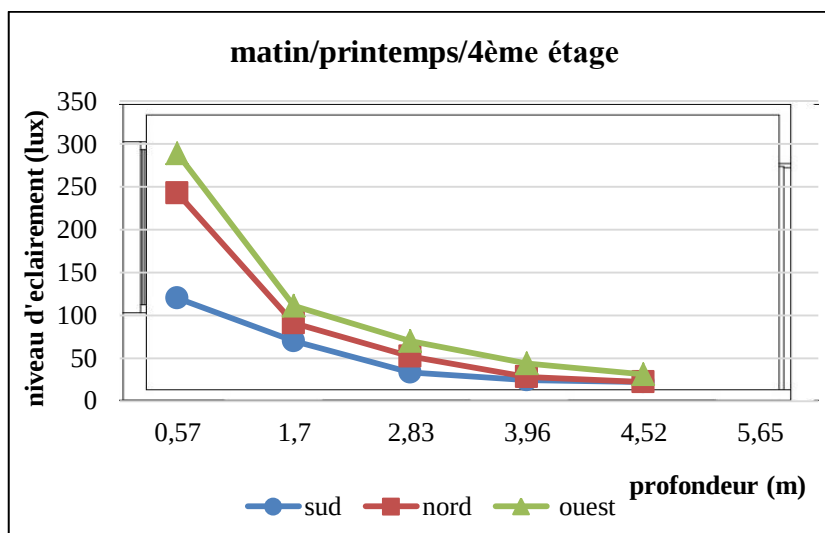
La zone la moins éclairée représente la majeure partie de la surface de la pièce ce qui explique le grand écart entre les valeurs maximales et minimales pour les trois prises de mesure.



Graphe VI. 37: les variations lumineuses Printemps/Nord
Source: Auteur

Les valeurs moyennes sont inférieures à 300Lux ce qui fait que l'environnement lumineux naturel s'accompagne de l'éclairage électrique car la moitié de la pièce se trouve dans une zone sombre pour toute la journée.

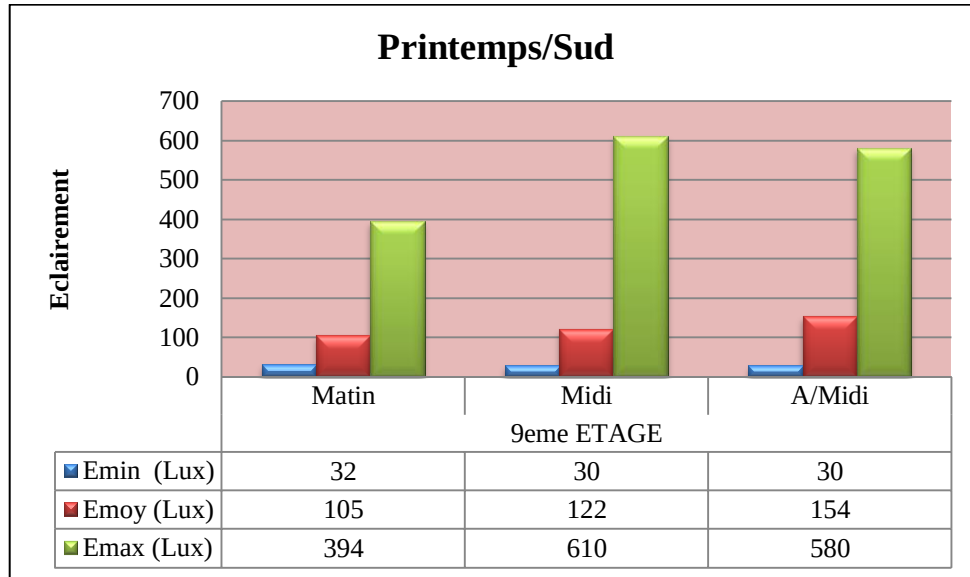
Un indice d'uniformité $I_u=0.29$ donnant ainsi un éclairage uniforme dans l'espace investigué.



Courbes VI. 9: les niveaux d'éclairement selon les périodes de la journée 4^{ème} étage printemps

7/la pièce située au 9^{ème} étage orientée Sud

Les résultats montrent que pour le local situé au 9eme étage les valeurs d'éclairement moyens varient et augmentent de 105Lux à 8h30mn, 122Lux à 12h30mn jusqu'à 154Lux à 16h00mn. Toutefois, ces niveaux d'éclairement enregistrés sur plan utile restent largement inférieurs à la norme de référence.

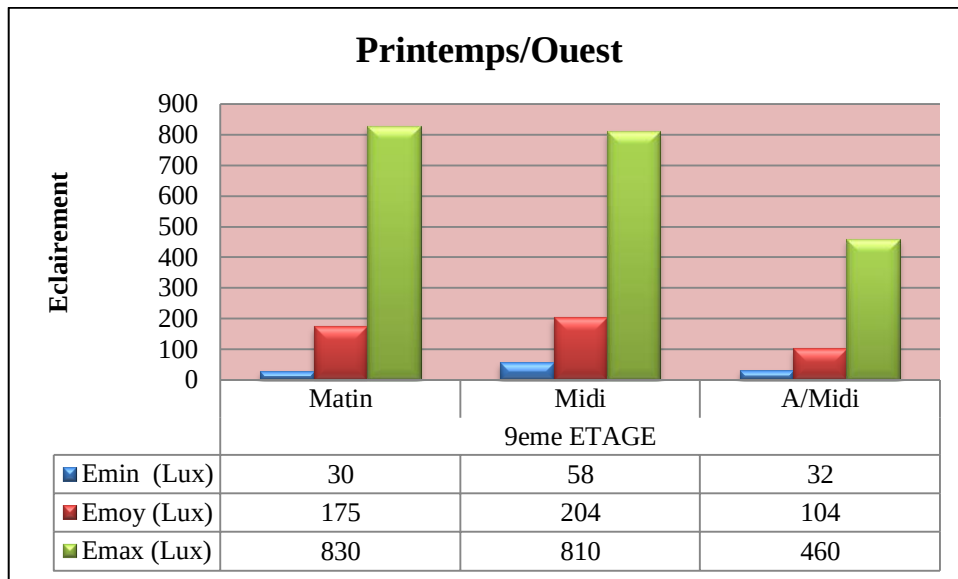


Graphe VI. 38: les variations lumineuses Printemps/Sud
Source: Auteur

La valeur minimale $E_{\min} = 30\text{Lux}$ a été affichée au fond du local l'après-midi alors que la maximale d'éclairement $E_{\max} = 610\text{Lux}$ est enregistrée près du mur de fenestration à 12h30mn. La moyenne de l'indice d'uniformité pour cette journée (0.26) montre que l'éclairage général n'était pas uniforme.

8/la pièce située au 9^{ème} étage orientée Ouest

Pour cette journée du 22 Mars les niveaux d'éclairement moyen enregistrés sont aussi inférieurs à la norme optimale. Le graphe n° VI.39 indique aussi un écart considérable entre les valeurs maximales et les valeurs minimales de l'éclairement pour les trois moments. Ce graphe indique un changement graduel des valeurs d'éclairement moyen qui sont inférieurs à la valeur d'éclairement normatif.



Graph VI. 39: les variations lumineuses pour printemps/Ouest

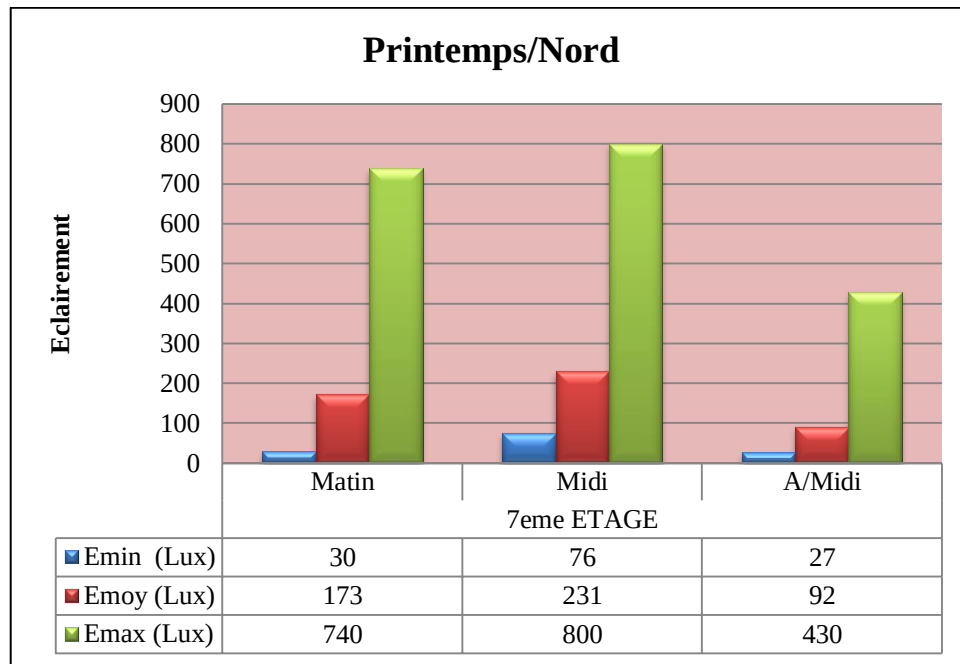
Source: Auteur

Les valeurs maximales pour les prises du matin et à midi dépassent 800Lux à cause de la présence de quelques taches solaires près de la fenêtre (zone 1^{er} rang) puis diminuent jusqu'à atteindre 460Lux vers 16h00mn.

La moyenne de l'indice d'uniformité pour cette journée (0.25) montre que l'éclairage général n'était pas uniforme.

9/la pièce située au 7^{ème} étage orientée Nord

Les variations excessives et non uniformes des valeurs d'éclairage horizontal relevé sur plan de travail créent un contraste dans l'environnement lumineux.

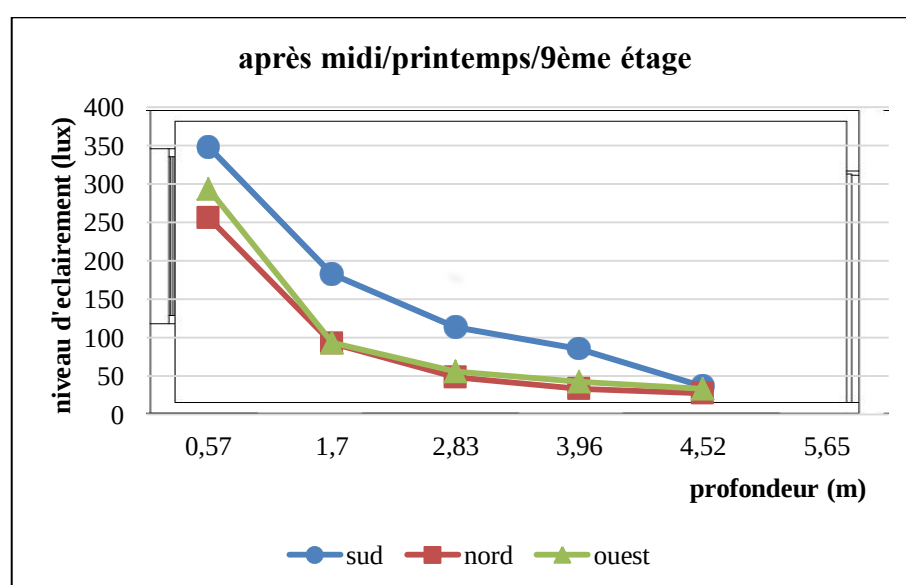
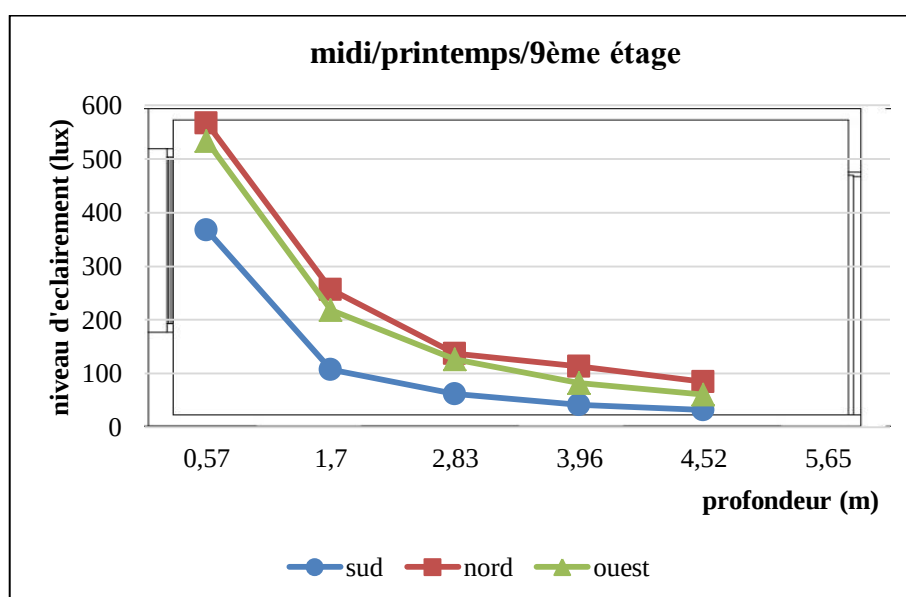
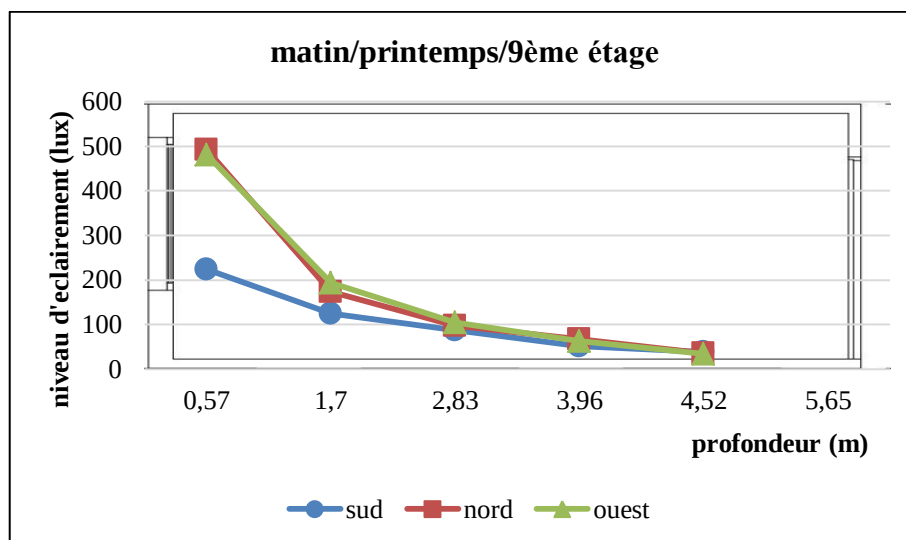


Graphe VI. 40: les variations lumineuses pour le Nord/Printemps

Source: Auteur

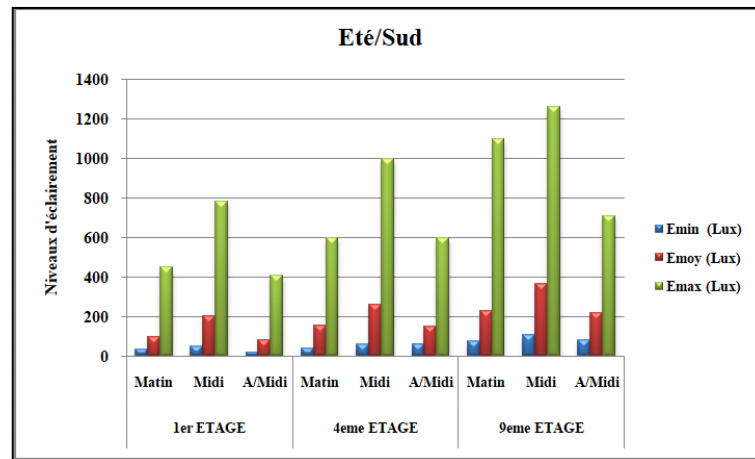
Le graphe n° VI.40 indique que la pièce est partagée en trois zones bien distinctes: la 1ère zone (premier rang) avec des valeurs maximales allant jusqu'à 800 Lux à 12h00mn pour baisser jusqu'à 430 Lux l'après-midi.

Et la zone du 2ème rang avec des valeurs très basses (27 Lux à 16h) ceci malgré la position de la pièce située au 7ème étage. L'éclairage général n'est pas uniforme avec un indice d'uniformité=0.27

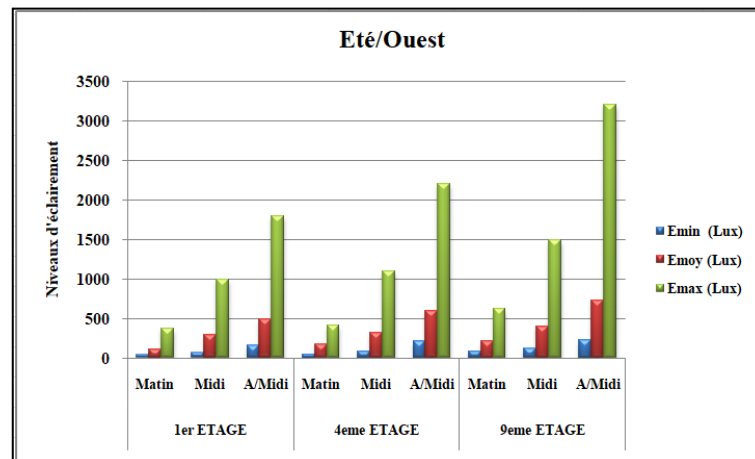


Courbes VI. 10: les niveaux d'éclairage selon les périodes de la journée(9emeétage)Printemps

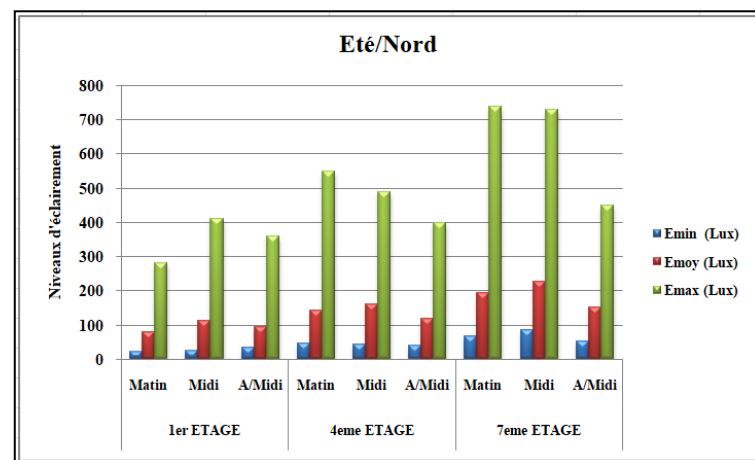
II.3. L'ENVIRONNEMENT LUMINEUX DES ECHANTILLONS (Campagne de l'été):



Graphe VI. 41: les variations lumineuses pour le sud/Été
Source: Auteur



Graphe VI. 42: les variations lumineuses pour le Ouest/Été
Source: Auteur

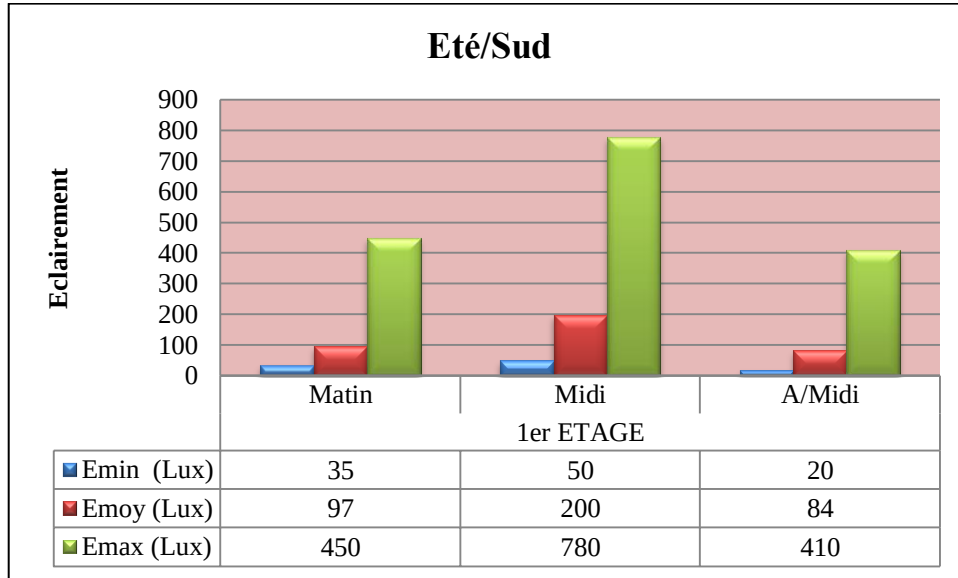


Graphe VI. 43 : les variations lumineuses pour le Nord/Été
Source: Auteur

1/la pièce située au 1^{er} étage orientée Sud

En été, la pénétration du soleil à une hauteur moins profonde qu'en hiver.

La diminution du niveau d'éclairement du local situé au 1^{er} étage suite à la présence d'un masque naturel (arbre) a fait que la quantité de la lumière naturelle soit fortement réduite à cause de cet obstacle (cela obstrue une grande partie de la lumière du jour)



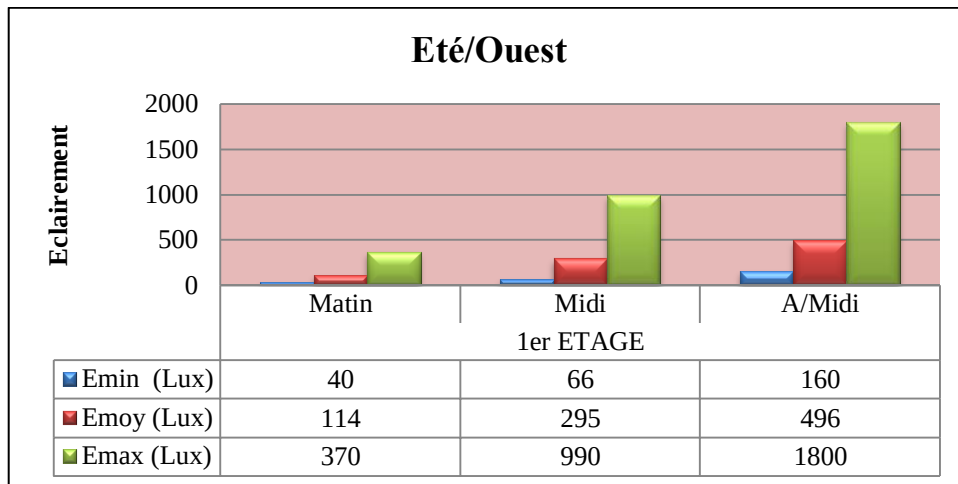
Graphe VI. 44: les variations lumineuses pour le sud/Été
Source: Auteur

Les mesures des éclairements lumineux horizontaux sur plan de travail ont démontré que la valeur de l'éclairement moyen à midi est élevée (200Lux) par rapport à l'éclairement moyen mesuré à 8h30mn et celui de 16h00mn. Le fond du local reçoit une faible quantité de lumière constatée pour les trois prises de mesures. La valeur maximale est affichée à 12h00mn (780Lux) dans l'axe central près de la fenêtre. L'éclairage général de la chambre est presque uniforme pour cette journée ; avec un indice $I_u=0.28$

2/la pièce située au 1^{er} étage orientée Ouest

En été le rayonnement solaire est plus important à l'Est pendant la matinée et durant l'après-midi à l'Ouest.

Le graphe n°VI.45 indique un changement graduel des valeurs d'éclairement. La répartition n'est optimale que vers 12h00 à 13h00 avec une valeur d'éclairement moyen égale à 295Lux (proche de la norme).

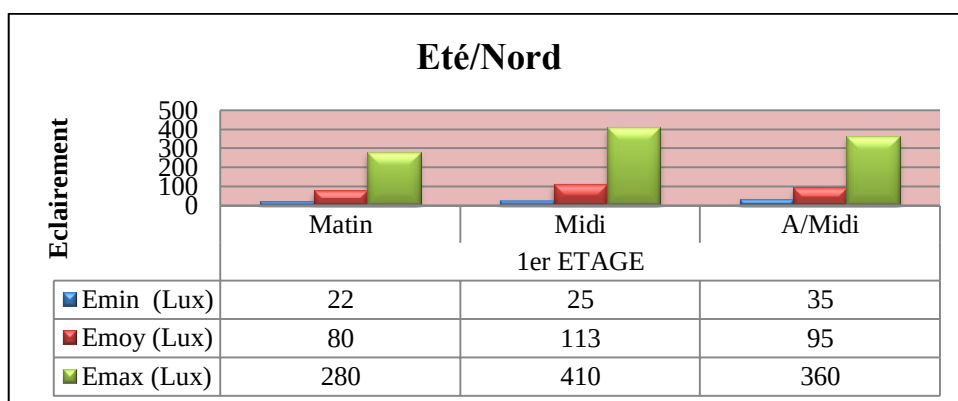


Graph VI. 45: les variations lumineuses pour l'Ouest/Été
Source: Auteur

L'augmentation des valeurs de l'éclairement maximal (passant de 370Lux à 8h00mn jusqu'à 1800Lux à 16h00) est causée par la présence de taches solaires avec la pénétration des rayons. La valeur minimale (40Lux) est enregistrée à 8h00mn dans la partie amont du local. L'indice d'uniformité a une valeur de 0.30 pour cette journée.

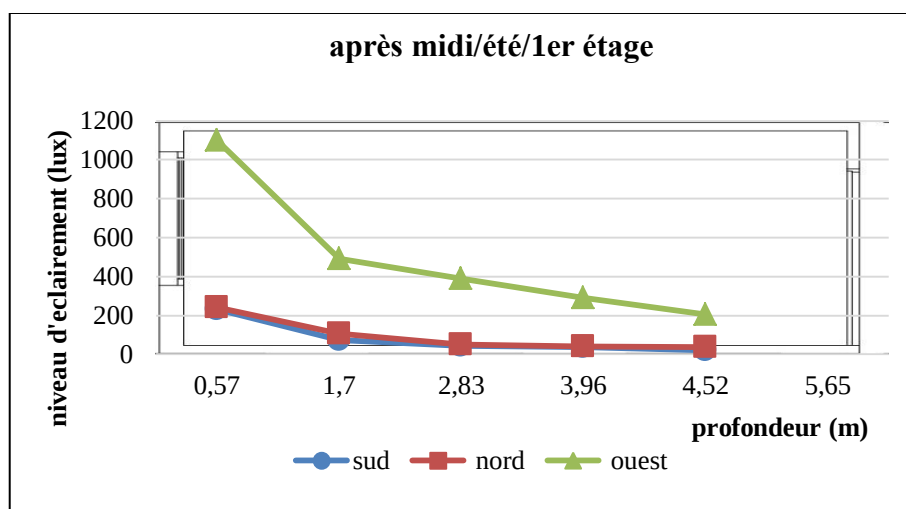
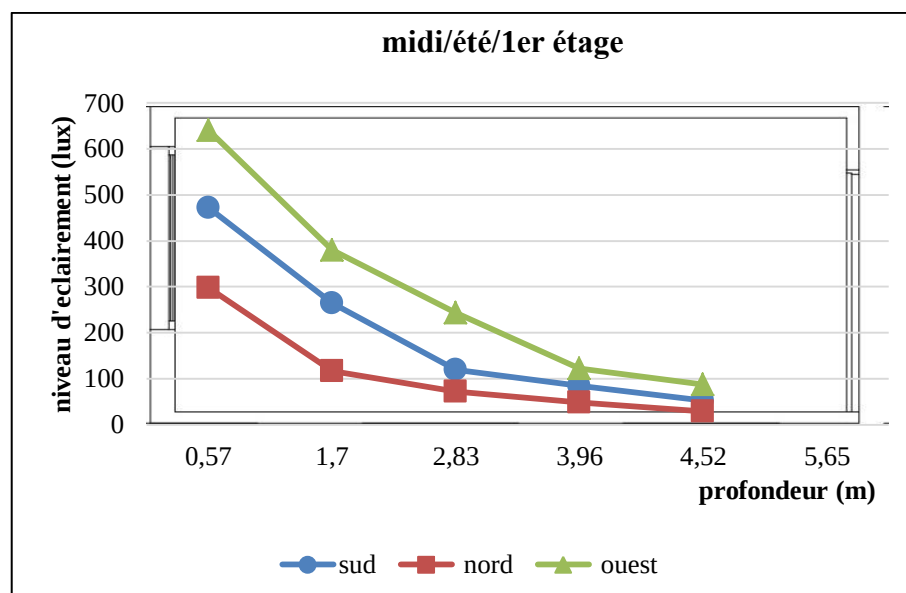
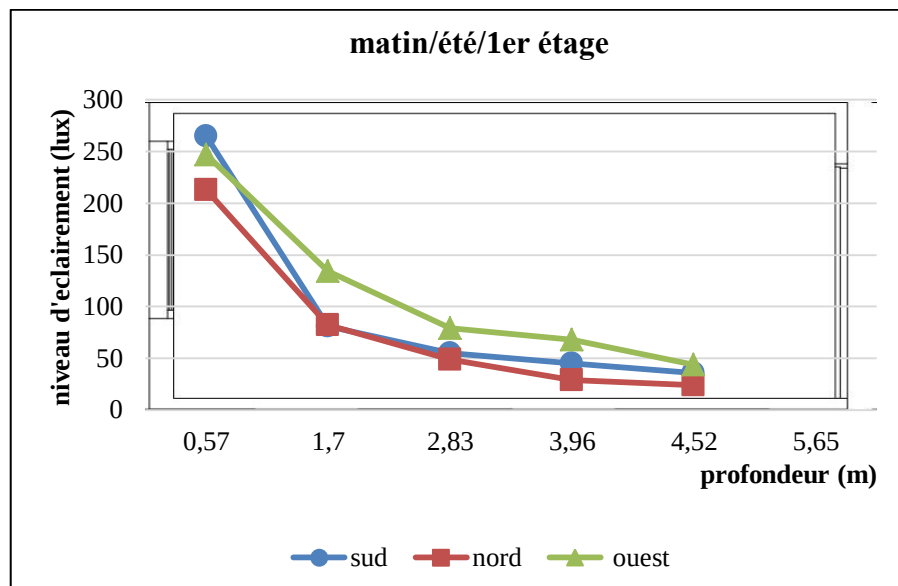
3/la pièce située au 1^{er} étage orientée Nord

La lumière diffuse par le ciel est disponible dans toutes les directions. Elle suscite peu d'éblouissement mais peut être considérée comme insuffisante dans de nombreux cas comme ici ; les résultats montrent que pour la salle de séjour du 1^{er} étage à orientation Nord, l'éclairement moyen sur plan horizontal utile est inférieur à la norme pour les trois prises de mesures de la journée comme indiqué sur tableau n°VI.46



Graph VI. 46: les variations lumineuses pour le Nord/Été
Source: Auteur

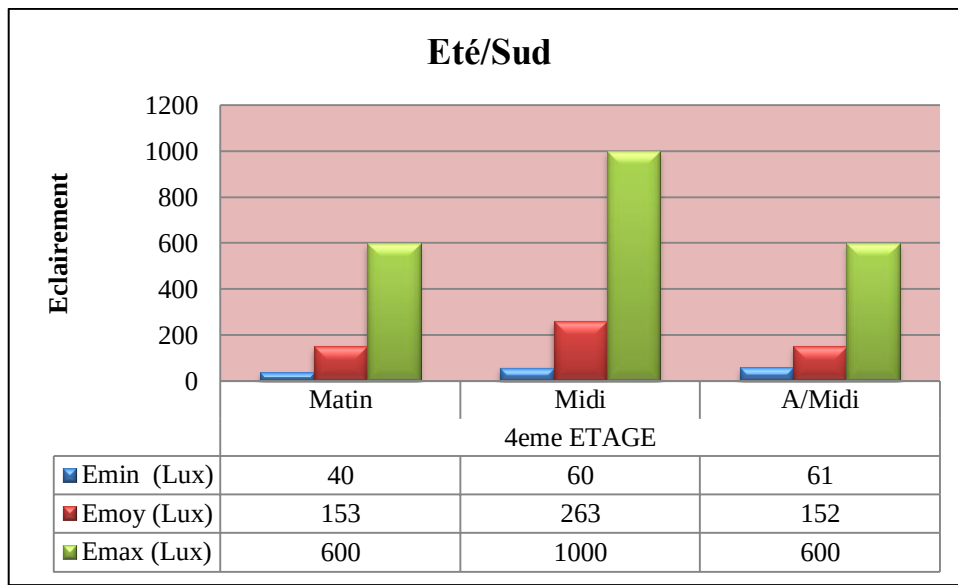
Les valeurs minimales ont affiché à proximité du mur de fond des niveaux très faibles durant toute la journée néanmoins, la pièce paraît assez lumineuse avec un indice d'uniformité =0.29



Courbes VI. 11: les niveaux d'éclairement selon les périodes de la journée (1^{ER} étage) Eté.

4/la pièce située au 4eme étage orientée Sud

Le tableau n°VI.47 montre que pour l'espace de séjour situé au 4eme étage connaît une asymétrie des conditions d'éclairage naturel entre le matin et l'après-midi en comparaison avec les résultats de midi, 1000Lux est la valeur maximale relevée à 12h00mn: moment où le ciel s'est dégagé pour quelques temps. Le niveau d'éclairement le plus bas est enregistré à 8h00mn au fond de la pièce de séjour.

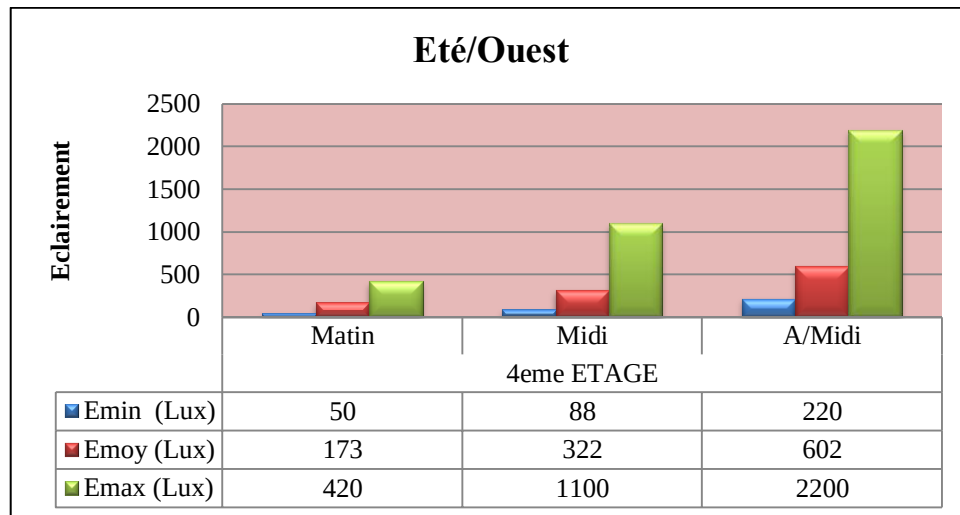


Graphe VI. 47: les variations lumineuses pour le sud/Été
Source: Auteur

Cet échantillon montre aussi que les valeurs d'éclairement moyen n'ont pas atteint la valeur de référence souhaitée (optimale). Par contre la moyenne de l'indice d'uniformité se conforme à la norme: $I_u=0.30$

5/la pièce située au 4^{eme} étage orientée Ouest

Pour les conditions de ciel partiellement nuageux le 21 Juin ; dans la salle située au 4eme étage et orientée vers l'Ouest ; le niveau d'éclairement atteint 2200Lux à proximité de la fenêtre ce qui a créé des zones d'éblouissement. Ces valeurs d'éclairement très élevées ne concernent qu'une bande étroite le long du mur et ceci est lié à la hauteur du soleil.



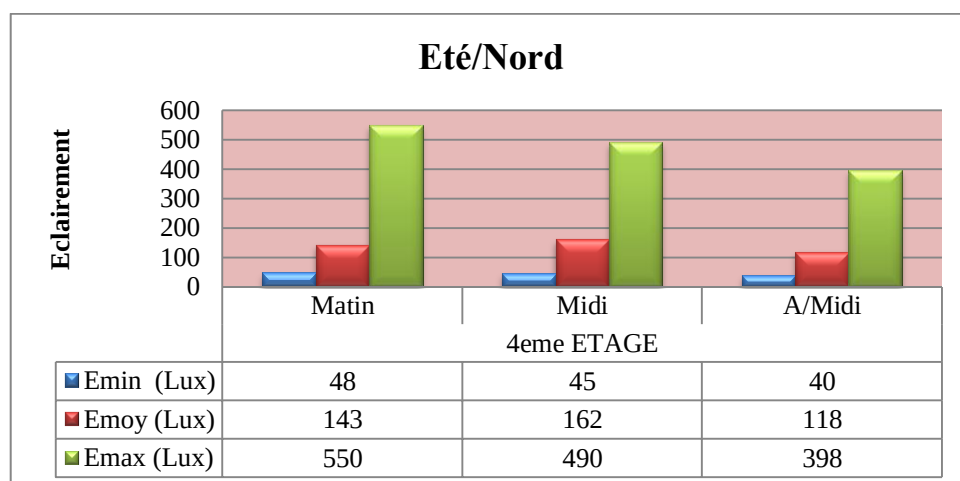
Graph VI. 48: les variations lumineuses pour l'Ouest/Été.

Source: Auteur

La valeur de l'éclairement moyen relevée à midi est proche de la norme puis augmente graduellement pour atteindre 602Lux à 16h00. 50Lux est la valeur minimale mesurée à 8h30mn près du mur opposé.

6/la pièce située au 4eme étage orientée Nord

Le graphen°VI.49 indique les valeurs maximales, minimales et la moyenne des éclairagements lumineux horizontaux relevés sur plan de travail pour la journée du 21 Juin. Les pénétrations solaires sont très faibles réduisant ainsi les risques d'éblouissement et de surchauffe. Le niveau le plus élevé de la journée a été enregistré vers 8h00mn à proximité de la fenêtre ; alors que la valeur la plus basse mesurée au fond du local $E_{\min}=40\text{Lux}$ a été repérée en après-midi (16h00mn).

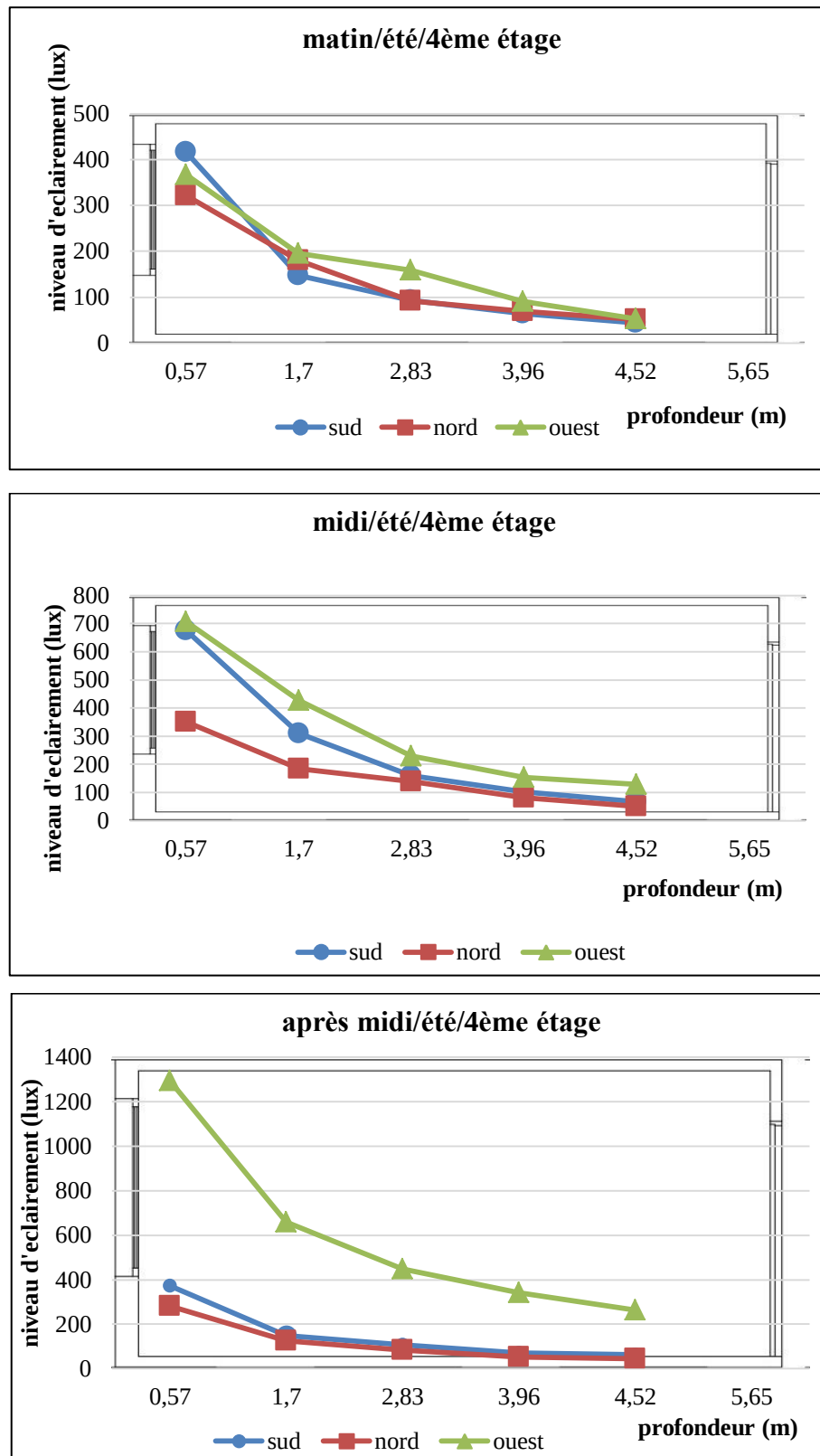


Graph VI. 49 es variations lumineuses pour le Nord/Été.

Source: Auteur

Les trois valeurs de l'éclairement moyen sont inférieures à la valeur normative.

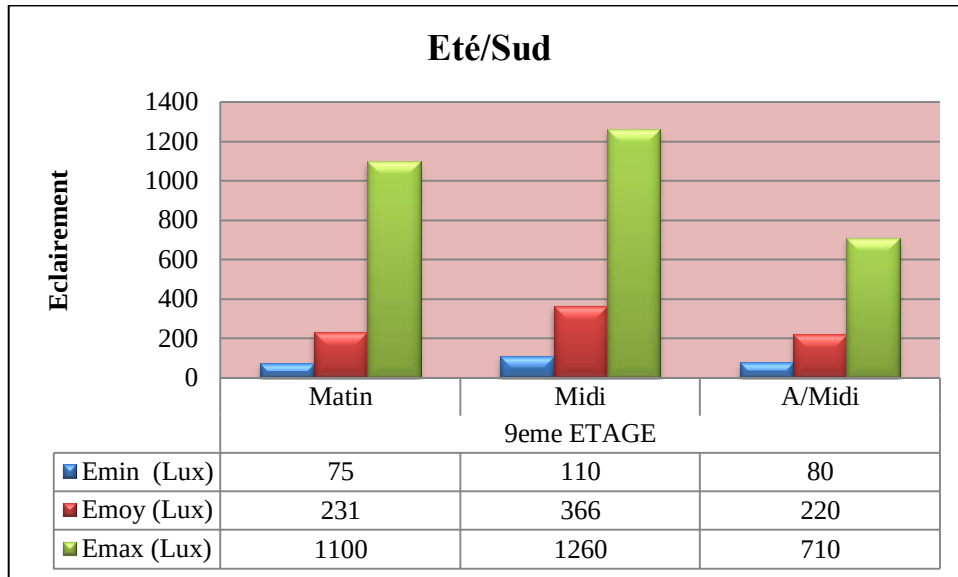
Pour avoir plus d'information sur la clarté générale de la pièce on a fait appel à l'indice d'uniformité I_u qui nous a donné une moyenne optimale de 0.32 sur toute la surface.



Courbes VI. 12: les niveaux d'éclairage selon les périodes de la journée (4ème étage) Été.

7/la pièce située au 9eme étage orientée Sud

Il ressort de l'étude que pour le séjour situé au dernier niveau à orientation Sud les valeurs de l'éclairement moyen s'approchent de la référence (300Lux) à l'inverse des autres cas analysés. Avec un indice d'uniformité qui affiche une valeur de 0.33



Graphe VI. 50: les variations lumineuses le Sud/Été.

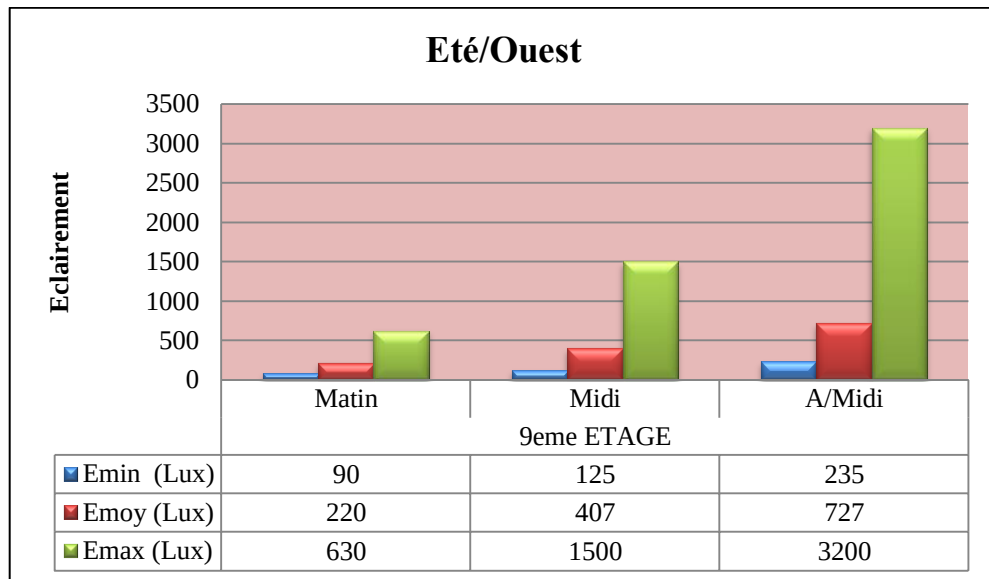
Source: Auteur

Néanmoins, le grand écart entre les valeurs enregistrées sur les différents points de la grille de mesures et la variation excessive créent un contraste dans l'environnement lumineux de la pièce (c'est dû à la présence de taches solaires).

8/la pièce située au 9eme étage orientée Ouest

La présence du soleil permet au rayonnement solaire direct d'entrer dans un local et qui tracent une zone extrêmement lumineuse sur le plan de travail. Le niveau d'éclairement le plus élevé a été enregistré à 16h00mn avec un pic de 3200Lux.

Un environnement lumineux caractérisé par une différence dans les valeurs des niveaux d'éclairement moyen relevées pour les trois périodes comme l'indique le graphe n° VI.51 et qui sont loin de la norme.



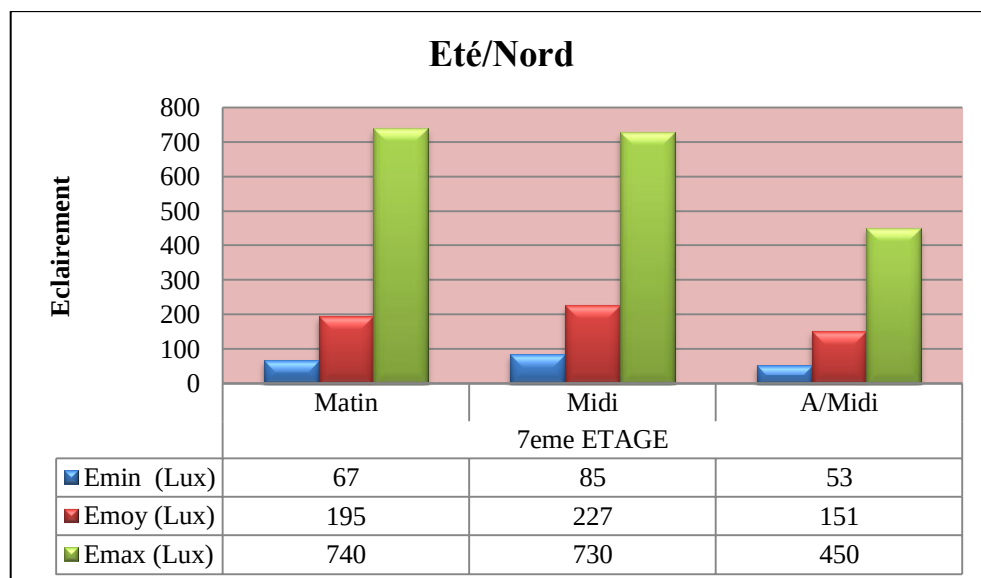
Graphe VI. 51: les variations lumineuses pour l'Ouest/Été
Source: Auteur

90Lux est la plus basse valeur enregistrée au fond de la pièce à 8h00 mn pour cette journée.

Il ressort que l'éclairage général de la pièce située au 9eme étage est uniforme avec un indice d'uniformité de 0.35

9/la pièce située au 7eme étage orientée Nord

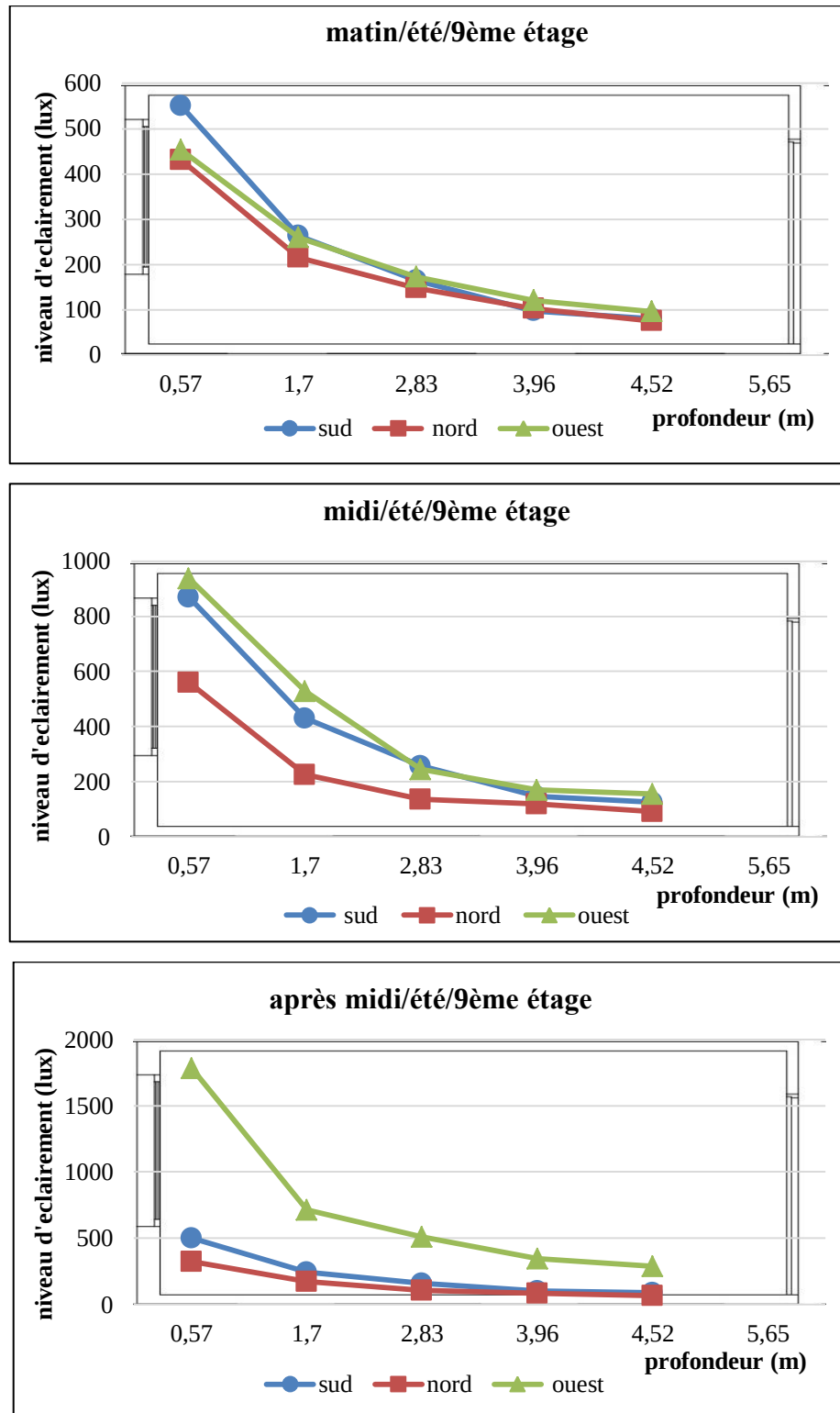
Pour la pièce située plus haut (7eme étage), les niveaux minimal, maximal et moyen recueillis augmentent progressivement jusqu'à 12h00mn à 13h puis diminuent pour l'après midi en affichant 450Lux à proximité de la fenêtre.



Graphe VI. 52: Les variations lumineuses pour le Nord/Été.
Source: Auteur

Cet échantillon montre aussi que les valeurs d'éclairage moyen n'ont pas atteint la valeur

de référence souhaitée (optimale). Par contre la moyenne de l'indice d'uniformité se conforme à la norme: $I_u=0.35$



Courbes VI. 13: les niveaux d'éclairement selon les périodes de la journée (9^{ème} étage) Eté.

II.4. SYNTHÈSE DEL'ÉVALUATION OBJECTIVE

Les mesures d'éclairement effectuées sur des pièces situées à différents étages révèlent que les niveaux d'éclairement restent généralement inférieurs aux normes recommandées. Les variations des valeurs mesurées dépendent de l'orientation des pièces, de l'étage et des conditions environnementales, telles que l'état du ciel ou les taches solaires. Les pièces orientées Sud et Ouest enregistrent parfois des pics élevés, dépassant 800 Lux à midi, notamment aux étages supérieurs, mais ces niveaux restent insuffisants dans les zones éloignées des fenêtres. Au 1er étage, des obstacles comme les arbres limitent considérablement la pénétration de la lumière, tandis qu'au 9eme étage, des contrastes marqués entre les zones lumineuses et sombres persistent, malgré des valeurs d'éclairement moyen proches des normes. L'éclairage général, caractérisé par des indices d'uniformité faibles (entre 0.28 et 0.35), manque d'homogénéité, ce qui affecte la qualité lumineuse globale des espaces. En somme, la lumière naturelle, bien qu'abondante par moments, ne parvient pas à assurer une répartition uniforme et optimale.

CONCLUSION

L'analyse des résultats nous a permis de faire ressortir les facteurs déterminant l'éclairement reçus dans nos espaces sélectionnés, une même pièce peut recevoir un niveau d'éclairement différent selon son orientation et le niveau où elle se trouve pour différentes périodes de l'année.

Ce travail a fourni une base pour identifier les problèmes généraux liés à la pénétration de la lumière du jour dans les espaces domestiques. Les résultats ont permis de générer des modèles et de sélectionner les variables pour l'étude de la simulation. Les activités dans une pièce de séjour exigent un bon niveau d'éclairage ainsi qu'une bonne répartition de la lumière sans qu'il y ait de forts contrastes qui fatiguent les yeux et diminuent la concentration sur le travail. Les résultats de cette recherche peuvent également être bénéfiques pour les bâtiments résidentiels situés dans des régions ayant des caractéristiques climatiques similaires.

Chapitres VII
Evaluation de l'éclairage naturel par
simulation

INTRODUCTION

Ce travail de simulation a été conçu pour approfondir l'analyse des résultats obtenus sur le terrain, en mettant l'accent sur des facteurs clés tels que l'orientation des pièces, le type de ciel, et les différentes périodes de la journée. En parallèle, il permet d'examiner l'impact des caractéristiques des fenêtres sur les niveaux d'éclairement, afin de mieux comprendre les disparités observées, notamment dans les zones éloignées des ouvertures. Cette approche vise à reproduire fidèlement les conditions réelles tout en identifiant les facteurs qui influencent les variations de l'éclairement lumineux. En s'appuyant sur cette analyse, il devient possible de mieux cerner les faiblesses actuelles et d'envisager des solutions optimisées pour améliorer la répartition de la lumière naturelle à travers les espaces étudiés.

Il vise à approfondir la compréhension des variables de conception appliquées à la salle de séjour, en explorant comment elles peuvent être utilisées pour améliorer les conditions d'éclairage naturel dans les espaces étudiés. Les résultats obtenus permettront d'identifier les paramètres ayant le plus d'impact positif sur les conditions visuelles dans le cadre du cas d'étude choisi.

Il explore comment les variables de conception, appliquées à la salle de séjour, peuvent améliorer l'éclairage naturel et identifier les paramètres ayant le plus d'impact sur les conditions visuelles. Il s'appuie sur des simulations pour analyser l'influence de l'orientation et de la taille des ouvertures dans un climat semi-aride, en vue d'élaborer des recommandations pour une conception bioclimatique optimisée.

I. DOMAINE D'UTILISATION DE LA SIMULATION EN ECLAIRAGE NATUREL :

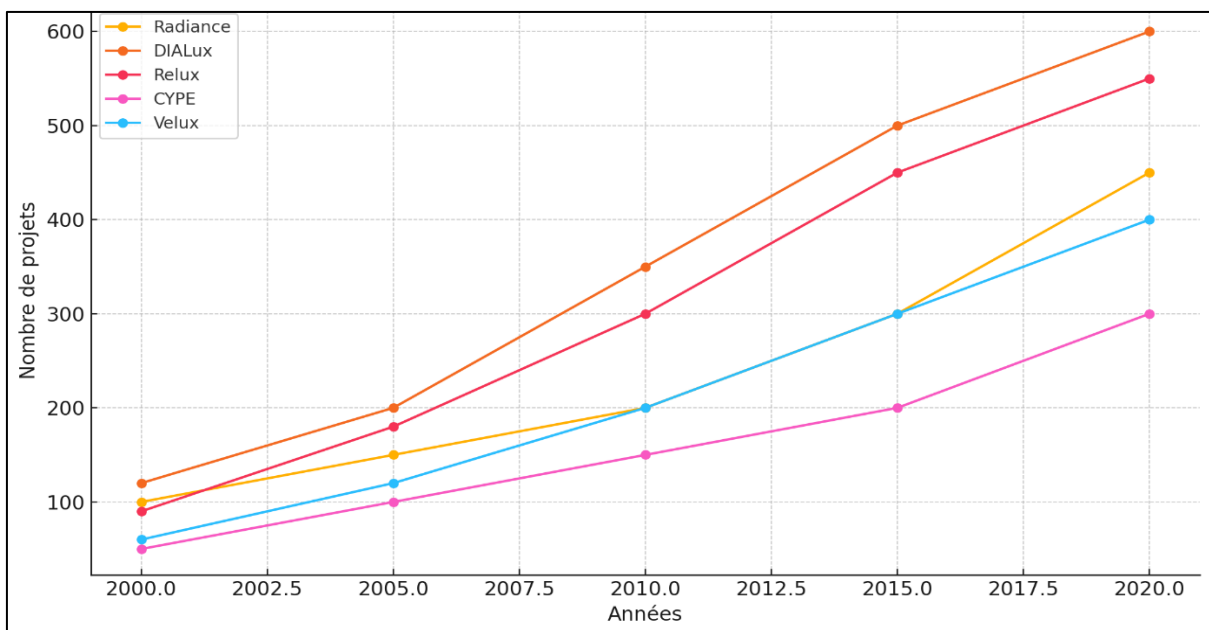
La simulation de l'éclairage naturel est un outil essentiel dans de nombreux domaines, notamment l'architecture, l'urbanisme et l'ingénierie, pour optimiser l'utilisation de la lumière naturelle dans les espaces bâtis. Elle permet de prédire et d'évaluer l'ensoleillement et les niveaux de luminosité dans un bâtiment, contribuant ainsi à la conception d'environnements lumineux confortables, esthétiques et économes en énergie. Par exemple, dans le secteur de la construction durable, la simulation est utilisée pour orienter les bâtiments, choisir les matériaux des façades ou intégrer des dispositifs tels que des brise-soleils ou des puits de lumière.

Dans la conception de bureaux et des espaces publics ou résidentiels, la simulation aide à répondre aux normes de confort visuel et à minimiser les zones d'éblouissement ou de

surchauffe. Elle permet également de planifier la disposition intérieure en tenant compte des variations saisonnières de la lumière naturelle, réduisant ainsi la dépendance à l'éclairage artificiel et les coûts énergétiques associés. Par ailleurs, dans l'urbanisme, les simulations sont essentielles pour étudier l'impact des projets de construction sur l'ensoleillement des espaces voisins, garantissant un équilibre entre densité urbaine et qualité de vie (Graphe n°VII.1).

Enfin, dans le secteur résidentiel, la simulation de l'éclairage naturel revêt une importance particulière, car elle influence directement le confort des habitants, la qualité de vie, et l'efficacité énergétique des logements. En intégrant la lumière naturelle dès les premières étapes de conception, les architectes et designers peuvent optimiser l'orientation des fenêtres, la disposition des pièces et le choix des matériaux, garantissant ainsi un éclairage naturel suffisant tout au long de la journée. Cela permet de réduire la dépendance à l'éclairage artificiel et d'améliorer le bien-être des occupants en leur offrant des espaces lumineux et accueillants.

L'importance économique est également à signaler. Une bonne gestion de la lumière naturelle contribue à diminuer les coûts d'énergie, car les besoins en éclairage artificiel et en climatisation sont réduits. Par exemple, en concevant des maisons qui captent efficacement la lumière du soleil en hiver et la bloquent en été (grâce à des auvents ou des volets), on améliore l'efficacité thermique du bâtiment tout en créant des environnements agréables à vivre.



Courbes VII. 1: Evolution temporelle de l'adoption des logiciels d'éclairage naturel.

Source (ICEB et VAD, 2023).

Enfin, sur le plan de la durabilité, la simulation de l'éclairage naturel dans les habitations s'inscrit dans une démarche de construction écologique. Elle permet de respecter les normes environnementales et de répondre aux attentes croissantes des propriétaires en matière de performances énergétiques et de confort visuel, tout en valorisant les biens immobiliers dans un marché de plus en plus soucieux de ces aspects. Ainsi, la lumière naturelle devient un atout majeur dans la conception de logements durables, fonctionnels et attrayants.

I.1. TYPES DE LOGICIELS UTILISES EN ECLAIRAGE NATUREL:

Les logiciels utilisés en éclairage naturel se divisent en plusieurs types en fonction de leurs fonctionnalités et de leurs objectifs. Les logiciels d'analyse avancée, tels que Radiance ou Velux Daylight Visualizer, sont conçus pour évaluer précisément les performances de la lumière naturelle dans un bâtiment, souvent en s'appuyant sur des méthodes comme le raytracing ou le photon mapping. Ces outils conviennent particulièrement aux études nécessitant une grande précision, comme l'optimisation des apports lumineux ou le respect des normes énergétiques. D'autres outils, comme DIALux et Relux, sont polyvalents, permettant de combiner les simulations d'éclairage artificiel et naturel, tout en offrant une interface intuitive adaptée à une utilisation professionnelle ou débutante. Enfin, des logiciels généralistes comme 3ds Max, dotés de plugins spécifiques (ex. V-Ray), sont principalement utilisés pour créer des visualisations esthétiques de scénarios lumineux, plutôt que pour des analyses techniques détaillées.

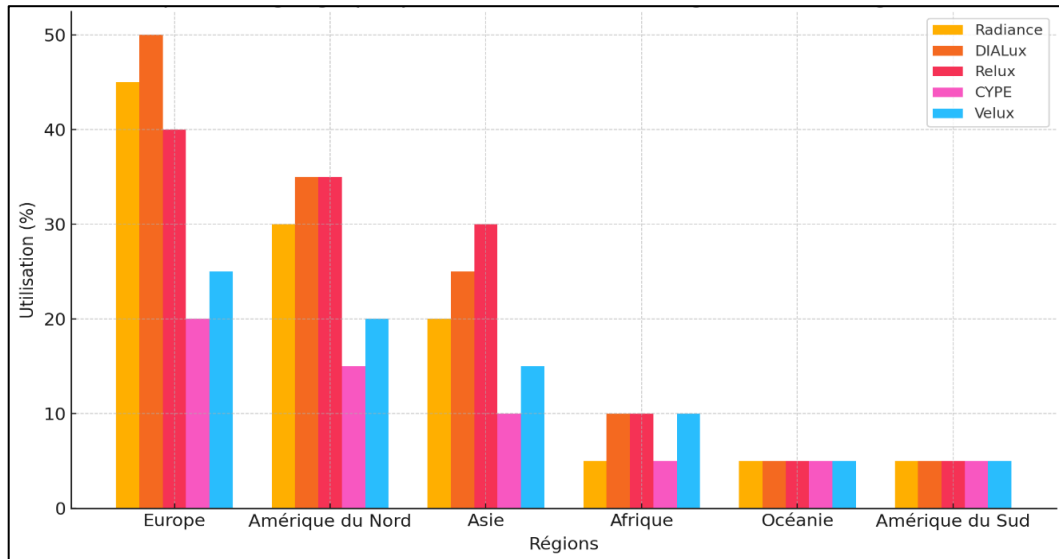
Chaque type de logiciel répond à des besoins distincts, allant de la précision technique à la visualisation créative (tableau n°VII.1)

Tab VII. 1: les différents types de logiciels.
Source: (Deroisy, Deneyer 2011)

Logiciel	Éditeur	Méthode	Modélisation	Types de ciel	Résultats
Ecotect Analysis	Autodesk	Split flux formula	Géométries simples, surfaces diffuses, maillage paramétrable	Ciel couvert CIE, ciel uniforme CIE, soleil direct	Éclairements (lux), facteurs de lumière du jour (%), visualisation d'ombres
CYPE Architecture	CYPE	Raytracing avec gestion BIM intégrée	Surfaces diffuses, maillage paramétrable	Tout type de ciel	Facteurs de lumière du jour (%), éclairements (lux), visualisations 3D
DIALux	DIAL GmbH	Radiosity (raytracing pour les visualisations)	Géométries complexes, surfaces diffuses, maillage paramétrable	Ciel couvert CIE, ciel intermédiaire, ciel clair (soleil direct)	Éclairements (lux), luminances (cd/m^2), visualisation des scènes
Relux Pro	ReluxInformatik	Radiosity (raytracing pour les visualisations)	Géométries complexes, surfaces diffuses, maillage paramétrable	Ciel couvert CIE, ciel clair CIE (sans soleil direct)	Éclairements (lux), luminances (cd/m^2), facteurs de lumière du jour (%)
Velux Daylight Visualizer	Velux	Raytracing + photon mapping	Géométries complexes (via import fichiers 3D), surfaces diffuses ou mixtes	15 types de ciel, dont ciel couvert CIE, ciel intermédiaire, ciel clair CIE	Éclairements (lux), luminances (cd/m^2), visualisation des scènes
Radiance	LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory)	Raytracing (extension photon mapping disponible)	Toutes géométries, tout type de surface, maillage paramétrable	Tout type de ciel	Éclairements horizontaux, cylindriques, verticaux (lux), luminances (cd/m^2)
Ladybug Tools	Community Open-Source	Analyse paramétrique avec couplage Radiance	Modèles géométriques complexes, maillage paramétrable	Ciel couvert, ciel intermédiaire, ciel clair	Autonomie lumineuse (sDA), éblouissement (ASE), éclairements (lux)
Honeybee	Community Open-Source	Simulation avancée via EnergyPlus et Radiance	Modèles géométriques complexes, surfaces mixtes	Ciel couvert CIE, ciel clair	Facteurs de lumière du jour (%), luminances (cd/m^2), performances saisonnières
Autodesk Insight	Autodesk	Analyse intégrée BIM (couplée à Revit)	Surfaces diffuses, intégration avec des modèles BIM	Tout type de ciel	Apports solaires, éclairements (lux), visualisation énergétique

Le graphe n°VII.1 montre la répartition géographique de l'utilisation des logiciels d'éclairage naturel en pourcentage. On observe une prédominance de l'utilisation en Europe et en

Amérique du Nord, où DIALux et Relux semblent les plus populaires. En Asie et en Afrique, l'utilisation est également significative, mais davantage répartie entre différents logiciels comme Radiance et Velux. Les autres régions, comme l'Océanie et l'Amérique du Sud, affichent des taux d'adoption plus faibles et homogènes pour tous les logiciels. Cela reflète des préférences régionales influencées par les besoins locaux et l'accès aux technologies.



Graphes VII. 1 Répartition géographique de l'utilisation des logiciels d'éclairage naturel.
Source: Leysens, 2012

II. PROCEDURE DE LA SIMULATION:

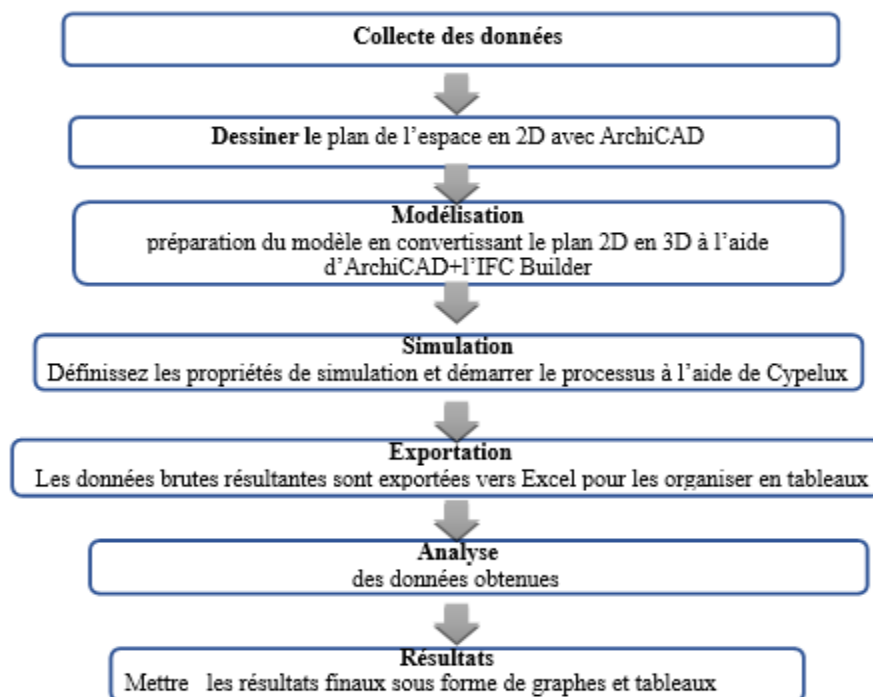


Fig VII. 1 Méthode de simulation.
Source: Auteur 2024

II.1. PRESENTATION DES OUTILS (LOGITIELS) CHOISIS POUR L'ETUDE:

II.1.1. LE LOGICIEL DE SIMULATION CYPE

CYPE est un logiciel de conception et de calcul destiné aux professionnels du bâtiment, spécialisé dans la modélisation des structures, les installations techniques et les analyses énergétiques, notamment pour les projets BIM. Il permet d'optimiser les performances des bâtiments tout en respectant les normes en vigueur.

CYPELUX est un module de la suite CYPE dédié à la conception et au calcul de l'éclairage artificiel et naturel des bâtiments. Il permet d'analyser la répartition lumineuse, en intégrant les normes d'éclairage et les exigences énergétiques.

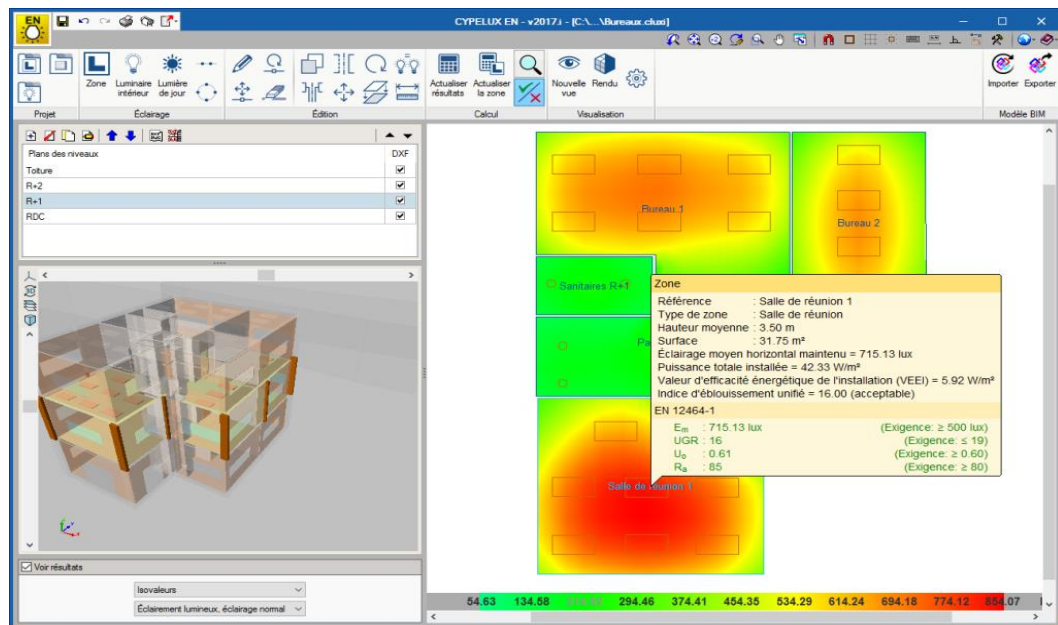


Fig VII. 2: Fonctionnalités du logiciel CYPELUX

Source: Auteur 2024

II.1.1.1. Fonctions principales

CYPE offre une gamme étendue de fonctionnalités qui couvrent plusieurs disciplines de l'ingénierie et de l'architecture.

Ingénierie structurelle: Grâce à des modules comme CYPECAD et StruBIM, les utilisateurs peuvent concevoir des structures complexes en béton, acier, bois, ou mixtes. Les outils permettent de modéliser et d'analyser les efforts, les déformations, et les états limites, tout en respectant les normes internationales (Figure n° VII.2).

Installations et équipements: CYPE intègre des solutions pour la conception et le calcul des systèmes de chauffage, ventilation, climatisation (CVC), plomberie, et électricité. Ces

fonctionnalités incluent des outils spécifiques pour l'analyse des charges et des flux énergétiques, garantissant une efficacité maximale.

Performance énergétique et acoustique: Le logiciel propose des modules pour simuler les gains thermiques, les déperditions, et les niveaux d'éclairage naturel et artificiel. Il évalue également l'isolation acoustique des bâtiments, permettant de répondre aux exigences environnementales croissantes.

Intégration BIM: CYPE est compatible avec les formats IFC (Industry Foundation Classes), ce qui facilite son intégration dans les flux de travail BIM. Cette compatibilité permet une collaboration fluide entre architectes, ingénieurs, et gestionnaires de projet.

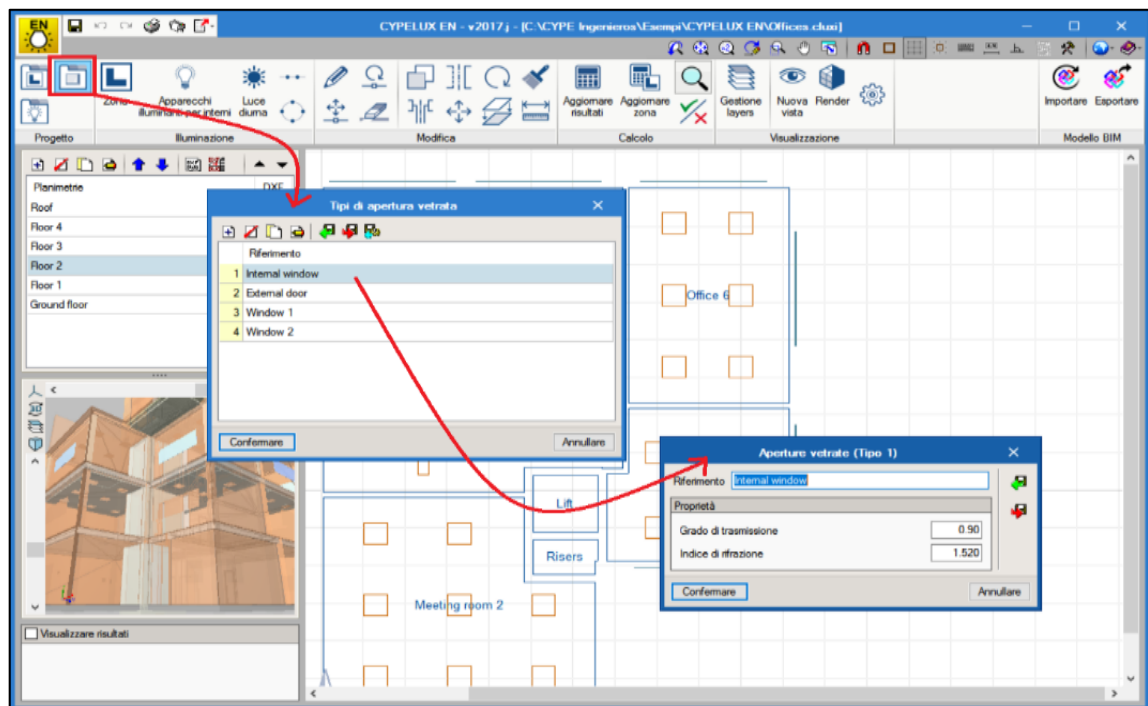


Fig VII. 3: Fonctionnalités du logiciel CYPELUX
Source: Auteur 2024

II.1.1.2. Domaines d'application CYPE est largement utilisé dans divers projets, notamment

Les bâtiments résidentiels et commerciaux: Pour la conception structurelle et l'optimisation énergétique. (Figures n° VII.3 et 4)

Les infrastructures urbaines: Dans des projets complexes nécessitant une coordination entre plusieurs disciplines.

La réhabilitation énergétique: Pour évaluer les performances existantes et proposer des

améliorations conformes aux standards modernes.

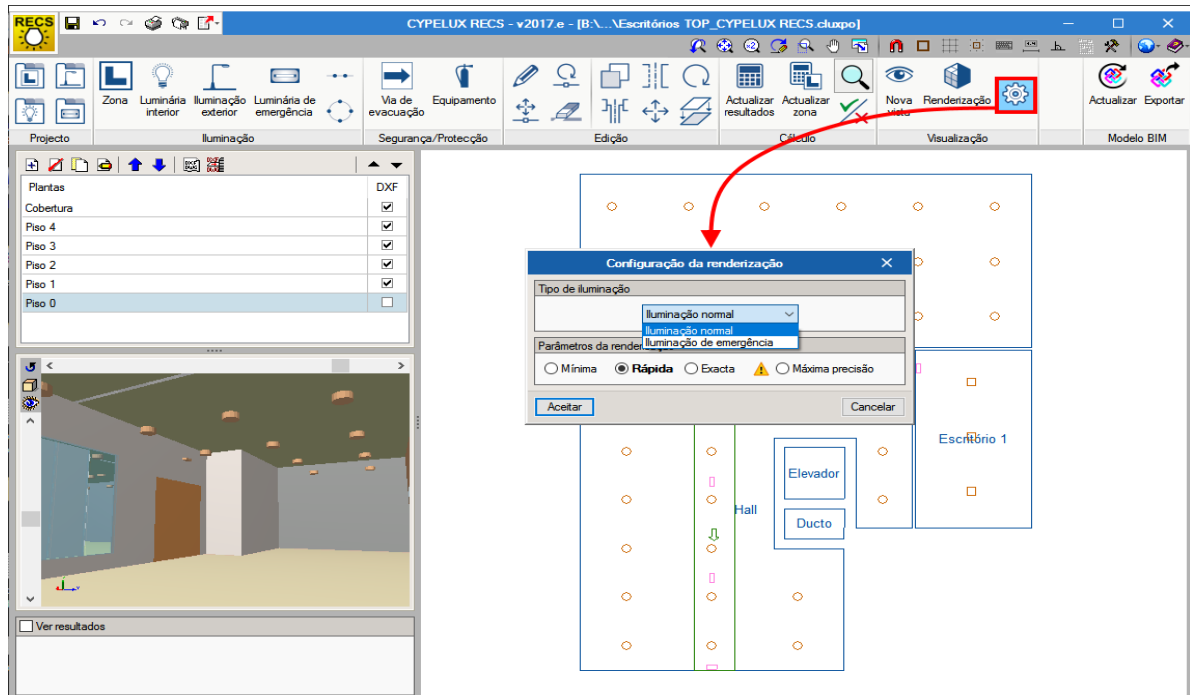


Fig VII. 4: Utilisation du logiciel CYPELUX
Source: Auteur 2024

II.1.1.3. Certification et conformité aux normes internationales

CYPE est reconnu pour son respect des normes et certifications internationales en matière de construction, d'éclairage et d'efficacité énergétique. Le logiciel intègre des réglementations spécifiques à de nombreux pays, telles que la RT 2012 et la RE 2020 en France, ou encore les directives européennes sur l'efficacité énergétique des bâtiments. Pour l'éclairage, CYPELUX respecte un large éventail de normes internationales liées à l'éclairage artificiel et naturel, ainsi qu'à l'efficacité énergétique et au confort visuel. Cet outil suit des normes telles que la CIE 140 (Commission Internationale de l'Éclairage) ou les exigences locales liées au confort visuel et à la performance énergétique. Ces certifications garantissent la conformité des projets réalisés avec CYPE aux standards les plus rigoureux du secteur.

Cette conformité garantit que les projets réalisés avec CYPE répondent aux exigences réglementaires en matière de sécurité, de durabilité, et de confort.

II.1.2. LE LOGICIEL ARCHICAD:

Utilisé comme programme de modélisation dans cette recherche. ArchiCAD, développé par Graphisoft, est un logiciel BIM puissant conçu pour la modélisation 3D et la gestion des projets architecturaux. Il permet de créer des maquettes numériques détaillées en 3D tout en

génération automatique des plans 2D, des coupes, et des élévations.

Grâce à ses éléments paramétriques (murs, dalles, toitures), ArchiCAD facilite la conception de structures complexes. Son moteur de rendu CineRender offre des visualisations réalistes, idéales pour présenter des projets. En intégrant des données sur les matériaux et les performances thermiques, ArchiCAD permet une gestion précise des informations tout en favorisant la collaboration avec les autres parties prenantes via le format IFC. Polyvalent et intuitif, ArchiCAD est particulièrement adapté aux projets résidentiels, commerciaux, et aux rénovations.

II.1.3. LE LOGICIEL MATLAB:

MATLAB (Matrix Laboratory) est un logiciel de calcul numérique et un environnement de programmation développé par MathWorks. Il est largement utilisé dans les domaines scientifiques, techniques, et d'ingénierie pour résoudre des problèmes complexes nécessitant des calculs mathématiques avancés. MATLAB prend en charge les matrices, les algèbres linéaires, les équations différentielles, l'optimisation, et plus encore. Il offre des outils puissants pour créer des graphiques 2D et 3D, des visualisations interactives, et des animations.

Ce logiciel va nous permettre, en utilisant des programmes conçus pour les besoins de l'étude de regrouper les données, afin de pouvoir les traiter, soit par des calculs en pourcentages, soit par la visualisation des données en deux et trois dimensions pour évaluer la répartition lumineuse à l'intérieur de la pièce.

II.2. PROCEDURE DE MODELISATION

Le modèle 3D a été construit pour le cas situé au 1^{er} étage à l'aide de l'IFC Builder. L'IFC Builder qui est un outil puissant et accessible qui aide à créer des modèles numériques de bâtiments conformes au standard IFC (Industry Foundation Classes), en s'inscrivant dans une démarche collaborative BIM. Il permet de créer des modèles architecturaux avec des définitions précises des murs, dalles, toitures, fenêtres, portes, etc. (figure n°VII.5).

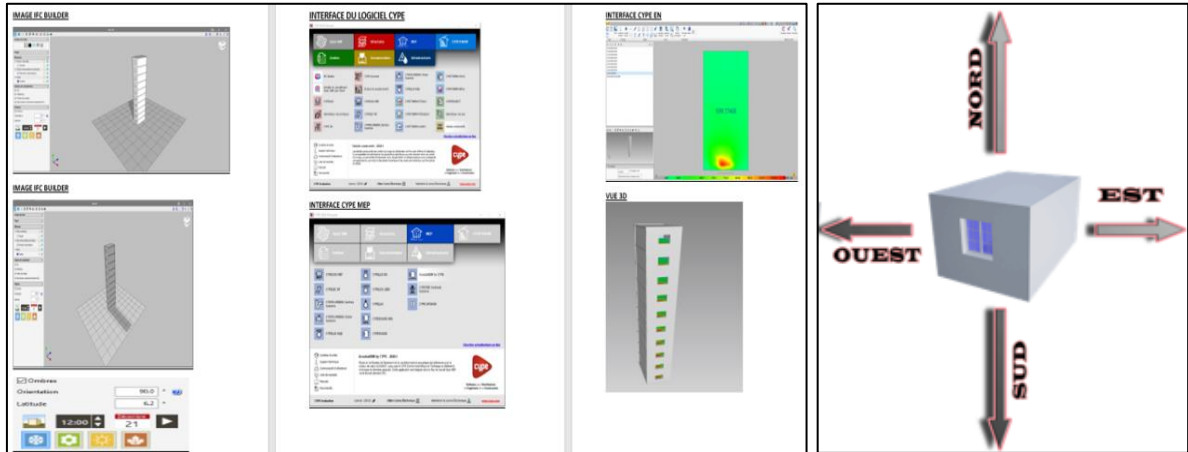


Fig VII. 5: Les étapes de la modélisation
Source: Auteur 2024

Le processus de simulation de la lumière naturelle commence par la modélisation précise du volume et le paramétrage des matériaux selon leurs coefficients de réflexion. La localisation réglée en définissant la latitude, la longitude et la position du soleil, permettant d'analyser la quantité de la lumière à des dates et heures précises, détermine les données solaires pour analyser différents types de ciels. (Figure n°VII.6).

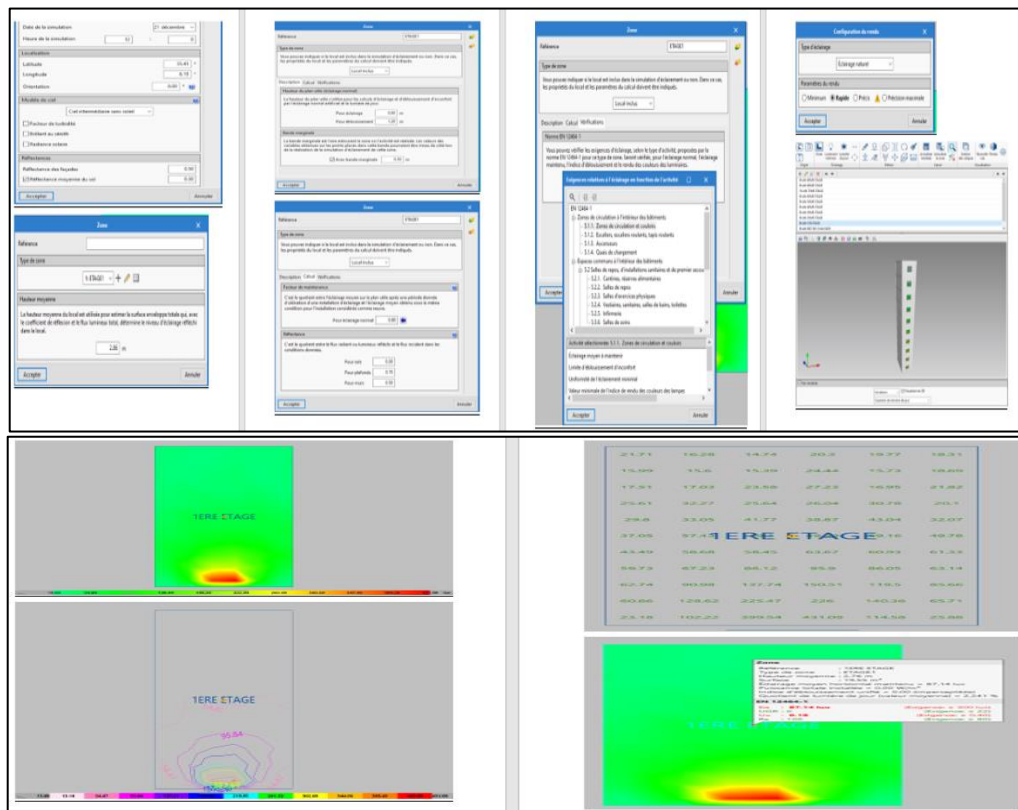


Fig VII. 6: Procédure et Choix des matériaux.
Source: Auteur 2024

Les photomètres, placés dans une grille de 6x11 points à une hauteur de 80 cm correspondant au niveau du plan de travail., permettent d'obtenir des mesures détaillées, avec les résultats exportés pour une analyse approfondie.

Le rendu peut être ajusté pour afficher l'éclairement, le FLJ (Facteur de Lumière du Jour) ou l'indice d'uniformité, tandis que les résultats sont exportés sous format CSV. (Voir Annexe 4)

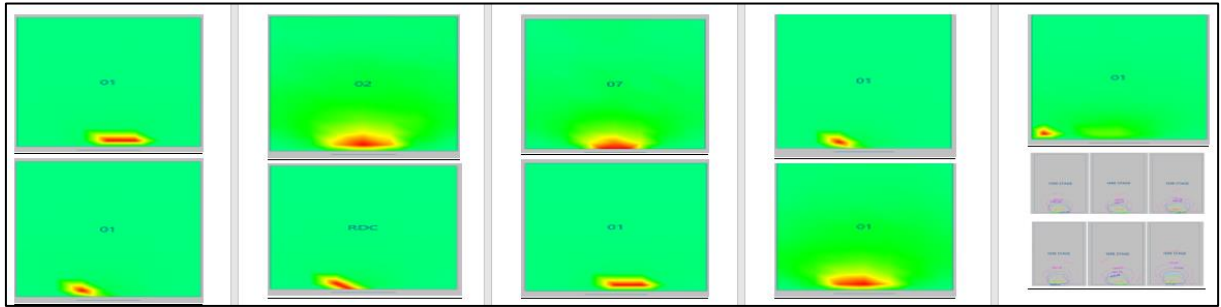


Fig VII. 7: Rendu de la simulation par le logiciel CYPELUX

Source: Auteur 2024

II.3. PROCEDURE DE VALIDATION

Avant d'entamer les simulations, nous avons effectué des calculs pour valider le modèle à l'aide de R^2 (coefficient de détermination), qui permet de comparer les valeurs mesurées (M) et simulées (S). Voici la formule pour R^2 :

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (M_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2} \dots\dots\dots \text{Equation (1)}$$

Où:

- M_i : Valeur mesurée pour le i -ème point.
- S_i : Valeur simulée pour le i -ème point.
- $\bar{M}$: Moyenne des valeurs mesurées, donnée par:

$$\bar{M} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_i. \dots\dots\dots \text{Equation (2)}$$

- n : Nombre total de points de comparaison.

Pour effectuer ce calcul ; si:

- $R^2 = 1$: Les valeurs simulées correspondent parfaitement aux valeurs mesurées.
- $0 \leq R^2 < 1$: Les valeurs simulées ont une certaine corrélation avec les valeurs mesurées, mais la correspondance n'est pas parfaite.
- $R^2 < 0$: Les valeurs simulées expliquent encore moins bien les variations que la moyenne des valeurs mesurées.

L'équation de régression linéaire est utilisée pour modéliser la relation entre une variable dépendante M (valeurs mesurées) et une variable indépendante S (valeurs simulées). Elle est exprimée sous la

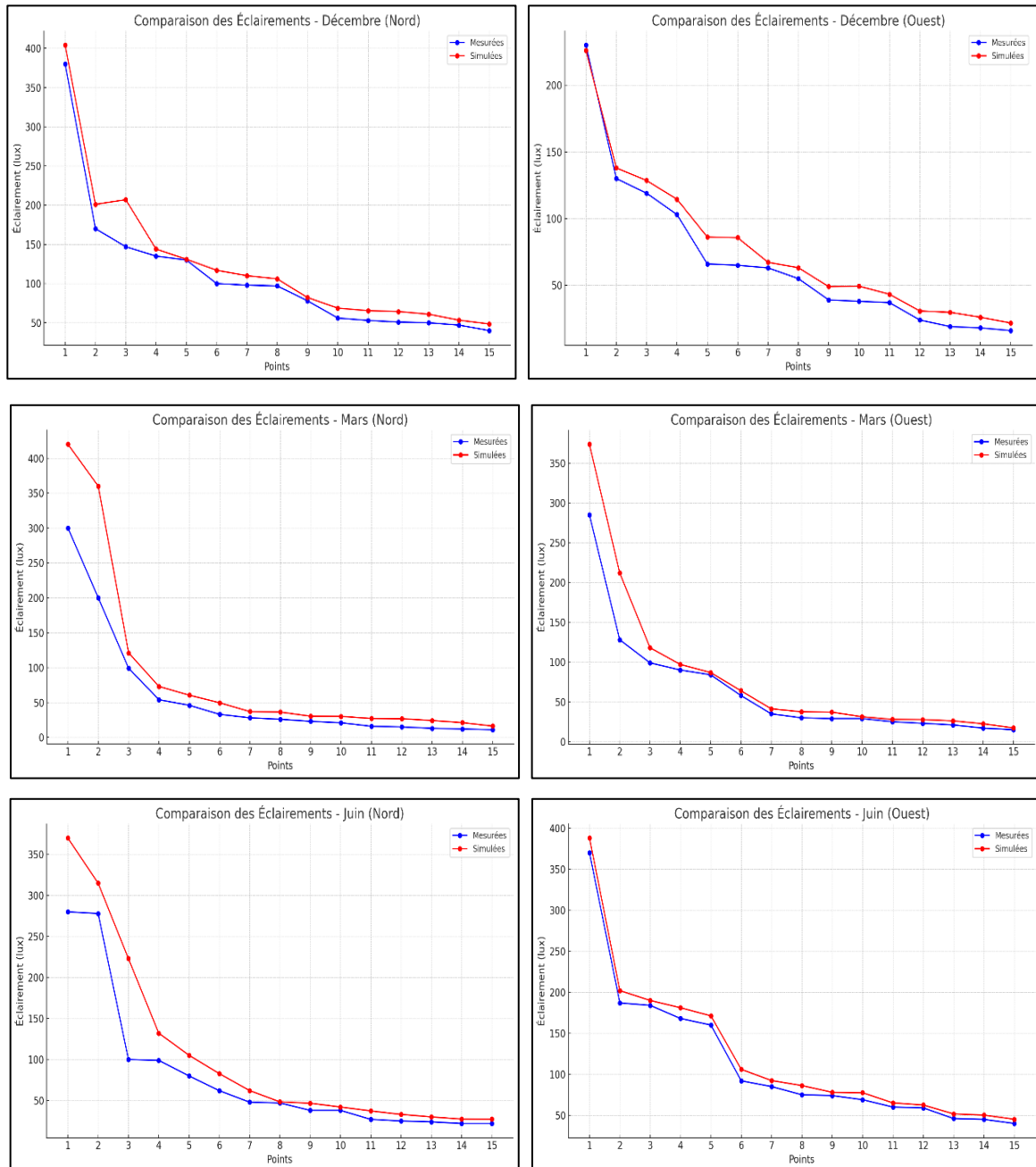
forme suivante:

$$M = aS + b \dots\dots\dots \text{Equation (3)}$$

Où:

- M: Les valeurs mesurées sur le terrain.
- S: Les valeurs simulées.
- a: Le coefficient de pente, indiquant la variation de M pour une unité de variation de S.
- b: L'ordonnée à l'origine, représentant la valeur de M lorsque S=0.

Cette équation permet de prédire M à partir de S et d'évaluer la correspondance entre les deux séries de données.



Graphe VII. 2: Comparaison des valeurs d'éclairement simulées et mesurées.

Source: Auteur

Le modèle a été évalué en fonction de ses performances mois par mois et selon les orientations Nord et Ouest, à l'aide du coefficient de détermination R^2 (Graphe n°VII.3). En décembre, le modèle présente une bonne correspondance pour l'orientation Nord ($R^2=0.94$) et une très bonne corrélation pour l'Ouest ($R^2=0.962$). En mars, l'orientation Nord affiche un R^2 de 0.9751 avec une équation de régression $S=1.5006$, tandis que l'Ouest montre une corrélation similaire avec $R^2=0.9760$ et une équation $S=1.3455$. En juin, l'orientation Nord a un R^2 légèrement plus faible (0.9366) avec un modèle $S=1.2492$, mais l'orientation Ouest atteint une performance remarquable avec $R^2=0.986$. Globalement, l'orientation Ouest montre des corrélations légèrement supérieures à celles du Nord, avec les meilleures performances observées en mars et juin pour l'Ouest ($R^2>0.97$) et la plus faible en décembre Nord ($R^2=0.94$).

On doit préciser que les écarts relevés comme indiqué sur le graphe n°VII.2 résultent d'un ou de certains facteurs tels que:

- L'instrument de mesure (Luxmètre) peut ne pas être placé exactement aux mêmes points que ceux définis dans la simulation.
- Le mobilier ou les objets présents dans la pièce peuvent modifier les conditions lumineuses, du fait qu'ils ne sont pas modélisés dans la simulation.
- Les mesures peuvent être influencées par des objets ou des personnes présents lors de la prise des données sur le terrain.
- Les matériaux (peintures, vitrages) peuvent avoir changé depuis la construction ou être différents de celui spécifié dans la simulation.

Ces résultats indiquent que le modèle est globalement fiable et performant, avec une meilleure précision pour l'orientation Ouest.

II.4. TRAITEMENT DES DONNEES

Après avoir réalisé l'ensemble des simulations, nous disposons d'un nombre de données comprenant des images issues du photomètre, des iso-courbes et des fichiers CSV regroupant les valeurs obtenues (Annexe 04). Afin de traiter ces informations de manière efficace, nous prenons comme point de départ le critère de confort, répondant ainsi à la problématique posée.

Dans la présente recherche, nous proposons une approche d'évaluation de la performance

lumineuse du modèle basée sur le pourcentage de points entrant dans la zone de confort, du fait que la méthode de l'éclairement moyen proposé par plusieurs logiciels n'est pas représentative de l'éclairement 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 (éclairement direct) peut atteindre un niveau d'éclairement très important, tandis que le reste de la pièce reste sombre. (I. Nadji.2020).

Ainsi nous relèverons sur la grille de notre photomètre (66 points de calcul 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'éclairement est trop bas, et ceux où l'éclairement est trop important. Ceci se fera par le traitement des valeurs totales d'éclairement par l'utilisation des outils MATLAB et EXCEL ainsi que des tableaux représentatifs ; afin d'avoir une meilleure lecture des résultats.

III. EVALUATION DU CONFORT

En Algérie, la réglementation en matière de confort lumineux dans les bâtiments à usage résidentiels est principalement régie par deux textes. L'article 35 du décret n°91-175 impose des exigences sur l'éclairage et la ventilation des pièces principales, comme la superficie des baies ouvrantes ($1/8$ de la surface de la pièce) et leur protection contre le rayonnement solaire. Certaines exceptions s'appliquent aux régions en altitude ou dans le sud. La circulaire du 15 août 1989 stipule l'application provisoire des normes étrangères en matière de construction, en attendant l'élaboration de réglementations algériennes spécifiques.

L'approche de la zone du confort visuel (ZCV) proposée par Mardaljevic et Nabil (2005) est utilisée pour évaluer le confort visuel. Le concept est similaire à l'indicateur « Useful Daylight Illuminance » (UDI) introduit par J. Mardaljevic et A.Nabil (2005). L'UDI est défini comme l'occurrence d'éclairement qui se situent dans une fourchette considérée comme « utile » par les occupants (Mardaljevic et al., 2011). Le modèle de Mardaljevic et Nabil (2005) pour cette approche est basé sur le rendu spatial du niveau d'éclairement respecté à chaque point de la grille de calcul. L'éclairement naturel utile (UDI) est appliqué en déterminant à chaque point de calcul l'apparition des niveaux de lumière naturelle (J. Mardaljevic 2012),

III.1. INDICATEURS

Une approche basée sur des indicateurs simples calculés à l'aide d'une méthode statistique et adaptée aux objectifs de cette recherche liée à la disponibilité de la lumière naturelle. Les indicateurs retenus pour l'évaluation du confort visuel intérieur et pour mesurer et analyser l'intensité et l'ampleur de l'inconfort (selon les modèles de confort sélectionnés) sur la base des niveaux d'éclairement dans les espaces étudiés sont les suivants:

III.1.1. LA ZONE DE CONFORT VISUEL (ZCV)

Un niveau d'éclairement dans la plage de 100 à 300 lux est considéré comme efficace soit comme la seule source d'éclairage ou en conjonction avec un éclairage artificiel. L'éclairement lumineux de l'ordre de 300 à environ 3 000 lux est souvent perçu soit comme souhaitable, soit du moins tolérable. Cependant, il convient de noter que ces valeurs sont basées sur des études de bâtiments non résidentiels où l'éblouissement sur les dispositifs d'affichage visuel peut être un problème (J.Mardaljevic, 2006). En revanche, les tâches dans le cadre domestique ne se limitent pas aux bureaux et aux écrans d'affichage.

Il convient donc de noter qu'il existe une incertitude considérable quant aux limites supérieures privilégiées pour bâtiments résidentiels (J.Mardaljevic et al., 2011). De plus, sur la base du niveau de l'éclairement moyen, la conformité à la limite supérieure de 3000 lux n'est pas appropriée car elle n'éviterait pas des niveaux d'éclairement lumineux qui sont trop élevés dans certaines parties de la pièce évaluée.

Ainsi, la limite supérieure pour l'éclairement de la lumière du jour utilisé pour cette recherche est de 500 lux (pour l'exécution de tâches visuelles à contraste élevé et de petite taille) et la limite inférieure est de 100 lux (pour les espaces où des tâches visuelles simples sont effectuées), comme prescrit par le Illuminating Engineering Society of North America (IESNA, 2000) (tableau VII.2). Bien qu'il soit important de noter que les limites supérieures d'acceptabilité peuvent être ajustées à une valeur plus élevée en fonction de l'utilisation réelle et le type d'activités qui se déroulent dans une pièce particulière ; Dans cette recherche, la zone de confort visuel est obtenue lorsque l'éclairement moyen de la lumière du jour sur le plan de travail de la pièce (0,80m au-dessus du sol fini) se trouve entre 100lux et 500lux.

Tab VII. 2: Valeurs d'éclairage
Source l'IESNA lighting hand book (2000)

Type d'activité	Eclairage
Espaces publics	30 Lux
Simple orientation pour courtes visites	50 Lux
Espaces de travail pour tâches visuelles simples	100 Lux
Réalisation de tâches visuelles à contraste élevé et de grandes tailles	300 Lux
Réalisation de tâches visuelles à contraste élevé et de petites tailles	500 Lux
Réalisation de tâches visuelles à faible contraste et de petites tailles	1000 Lux

III.1.2. LES ZONES D'INCONFORT VISUEL (ZIV)

La zone d'inconfort visuel (**ZIV**) représente le pourcentage du nombre de points au cours d'une période donnée au cours de laquelle les niveaux d'éclairage dans un espace est considéré comme excessif ou insuffisant. Comme Précédemment indiqué, les limites supérieure et inférieure définies dans cette étude comme étant une plage de confort visuel intérieur sont respectivement de 500 lux et 100 lux.

- Ainsi, (**ZIV_I**) est utilisé pour calculer le pourcentage de points pour la période de temps pendant lequel l'éclairage d'une pièce est inférieur à 100 lux.
- Et (**ZIV_S**) est utilisé pour calculer le pourcentage de points supérieurs à 500 lux entrant dans la zone d'inconfort visuel dans la pièce.

On peut donc supposer que le confort est atteint lorsque l'éclairage d'une pièce est supérieur à (**ZIV_I**) et inférieur à (**ZIV_S**).

III.1.3. INDICE D'UNIFORMITÉ

Bien que les niveaux d'éclairage moyens puissent être appropriés, la satisfaction de l'occupant à l'égard de l'éclairage ; l'état d'une pièce peut toujours être compromis si l'éclairage n'est pas uniformément réparti dans la pièce. L'œil humain ne peut s'adapter qu'aux surfaces les plus brillantes de son champ, donc un espace lumineux sur le périmètre et nettement plus sombre au fond de la pièce et peut ressembler à une grotte, même lorsqu'il est éclairé électriquement. L'« indice d'uniformité », est une variable qui peut être utilisé pour étudier la distribution de la lumière du jour dans un espace. C'est le rapport de l'éclairage interne, E_{in} (Lim et Kim, 2012). Il peut être exprimé comme indiqué dans l'équation ci-dessous: $U_0 = E_{min}/E_{max}$ Équation VII.4

Des rapports d'uniformité plus élevés indiquent que les niveaux de lumière dans la pièce sont

plus uniformes. Malgré tout en ce qui concerne la distribution de la lumière du jour dans une pièce, l'institut agréé des ingénieurs des services du bâtiment (CIBSE, 2006) recommandent un rapport d'uniformité pour la distribution de l'éclairage naturel de l'ordre de 0,3 à 0,4 pour les pièces éclairées latéralement.

III.1.4. L'ORIENTATION

La comparaison des résultats obtenus pour la même pièce soumise à des orientations différentes nous permettra d'évaluer l'influence de cette dernière sur l'éclairement. Pour cela nous prendrons un seul étage, premier étage: pièce recevant le moins d'éclairage naturel, avec une mauvaise répartition de l'éclairage, sur trois dates (le 21 Décembre-le 21 Mars-le 21 Juin).

IV. RESULTATS DE LA SIMULATION

Les simulations effectuées dans cette étude ont permis de générer des données de types images photomètre des iso valeurs et des fichiers CVS traités par Excel et 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 intermédiaire étant les plus dominants dans la ville de Batna (voir figure IV.17, chapitre IV).

Nous présenterons ici les graphes et tableaux détaillés pour le cas d'étude situé au 1er étage le reste des données sera présenté en annexes (voir Annexe 4).

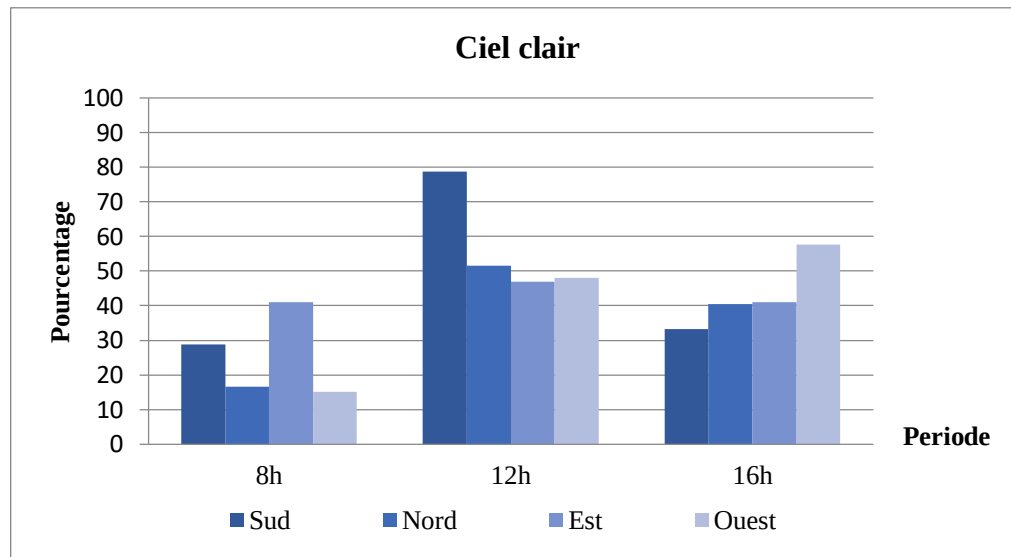
IV.1. ANALYSE DES PERFORMANCES LUMINEUSES DES CAS D'ETUDE SOUS CIEL CLAIR

Les recherches précédentes sur les simulations rencontrées lors de la préparation de cette étude ont été menées dans la plupart des cas sous ciel couvert. Cependant, afin de rendre notre travail plus représentatif des conditions réelles du site, nous avons analysé les résultats pour deux types de ciel prédominants dans l'environnement étudié ; ciel clair et ciel intermédiaire.

IV.1.1. ANALYSE DES RESULTATS POUR LE MOIS DE DECEMBRE SOUS CIEL CLAIR

IV.1.1.1. Analyse des résultats de la (ZCV) zone de confort visuel (Eclairement 100 Lux à 500 Lux):

Les résultats des simulations montrent l'évolution des conditions lumineuses en fonction des orientations et des heures de la journée.



Graph VII. 3: (ZCV) zone de confort visuel (Eclairement 100 Lux à 500 Lux) pour le 21 Décembre sous ciel clair.

A 8h du matin, la pièce orientée Est est mieux éclairée avec un pourcentage de 41 % de points entrant dans la zone de confort visuel., tandis que le Nord et l'Ouest restent faibles avec des pourcentages respectifs de 16, 67 % et 15, 15 %, indiquant une faible quantité de lumière naturelle. A midi, une nette amélioration est constatée pour toutes les orientations, en particulier pour le Sud qui atteint 78, 78 %, montrant une bonne performance en termes de lumière naturelle, tandis que l'Ouest reste relativement modéré avec 48 %.

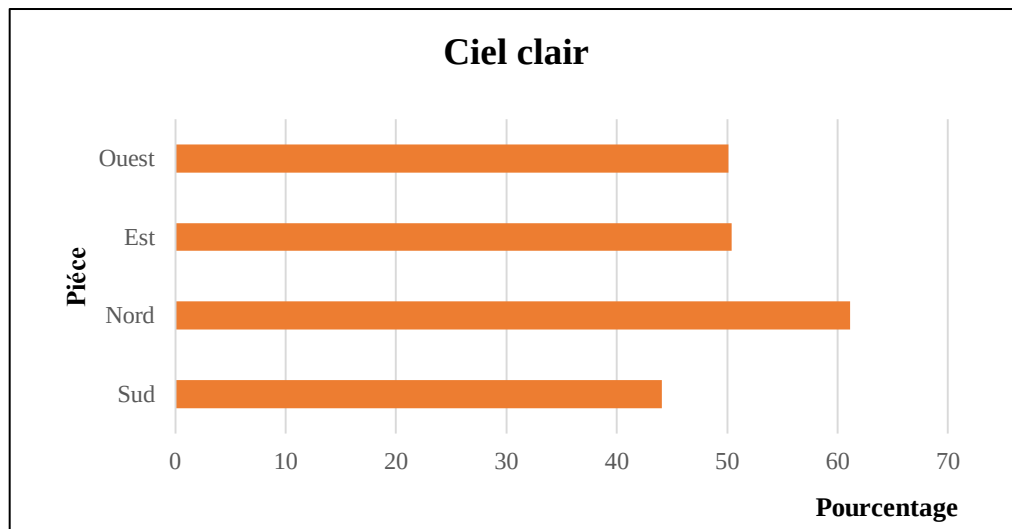
A 16h, la salle de séjour à orientation Ouest connaît une amélioration significative avec un pourcentage de 57, 58 %. Les autres orientations, notamment le Nord et l'Est, montrent des pourcentages de 40 %, indiquant une performance stable, mais moins optimale que celle de l'Ouest à cette heure. Ces résultats montrent que, sous ciel clair, les orientations Sud et Ouest offrent des conditions lumineuses plus favorables, notamment pendant les heures centrales de la journée, tandis que le Nord et l'Est sont relativement moins bien éclairés tout au long de la journée.

IV.1.1.2. Analyse des résultats de la (ZIV_I) zone d'inconfort visuel (Eclairement inférieur à 100 Lux)

La zone d'inconfort fait référence aux pourcentages des éclairagements inférieurs à 100 Lux impliquant des conditions lumineuses insuffisante pour garantir un confort visuel à l'intérieur de la pièce., Autrement dit ; la nécessité d'un éclairage artificiel supplémentaire.

Sous ciel clair en décembre, la lumière naturelle est plus présente, ce qui permet généralement d'avoir un meilleur niveau d'éclairement pendant la journée, particulièrement dans les orientations exposées au soleil. Toutefois, l'éclairement reste insuffisant dans certaines zones,

entraînant une partie de la pièce dans la zone d'inconfort visuel.



Graphique VII. 4: (ZIVI) zone d'inconfort visuel (Eclairage inférieur à 100 Lux) pour le 21 Décembre sous ciel clair.

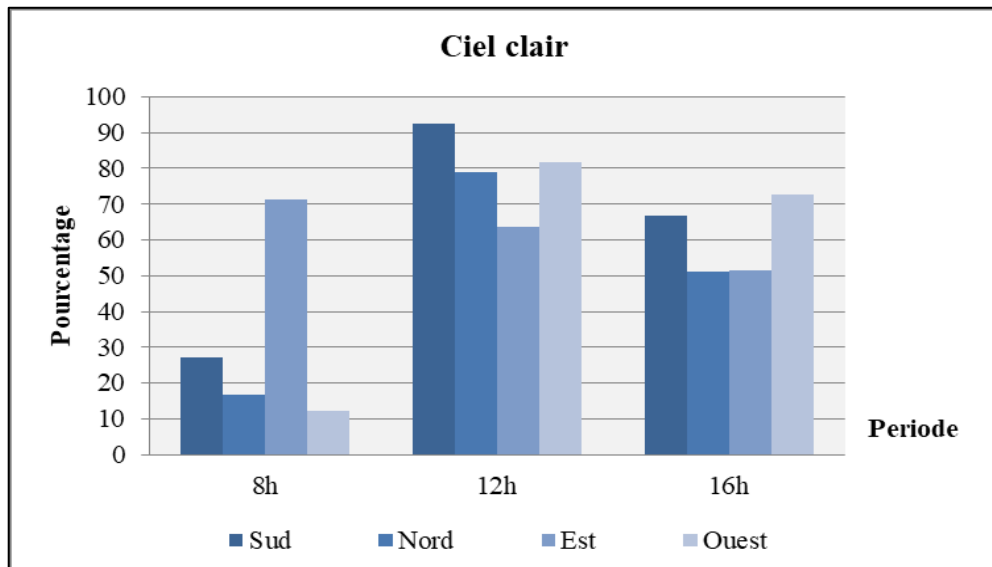
Les pourcentages de zone d'inconfort sont assez significatifs pour toutes les orientations, bien que la lumière naturelle soit plus intense que sous un ciel intermédiaire. La pièce à orientation Nord reste la plus touchée par un niveau d'éclairage insuffisant présentant la plus grande zone d'inconfort avec 61, 14%. Plus de la moitié de la pièce nécessite donc un éclairage artificiel pour garantir un confort visuel. suivie par les orientations Est et Ouest avec environ 50% dans la zone d'inconfort, bien que la chambre orientée vers l'Est bénéficie de la lumière du matin, ce qui reste insuffisant pour couvrir une grande partie de la pièce. Pareil pour l'Ouest où l'éclairage est plus important en après-midi, il reste insuffisant pour assurer un confort visuel complet puisqu'une partie de l'espace reste dans l'ombre et nécessite un éclairage artificiel pour maintenir un niveau de confort visuel. L'orientation Sud est la moins touchée avec un pourcentage de 44%.

Ces résultats montrent que, malgré l'intensité lumineuse importante en décembre, un éclairage supplémentaire est toujours nécessaire dans une grande partie de l'espace.

IV.1.2. ANALYSE DES RESULTATS POUR LE MOIS DE MARS SOUS CIEL CLAIR

IV.1.2.1. Analyse des résultats de la zone de confort (entre 100 Lux et 500 Lux) pour le mois de Mars:

Cette date a été choisie du fait qu'elle représente un ensoleillement moyen, avec une hauteur du soleil intermédiaire.



Graphe VII. 5: (ZCV) zone de confort visuel (Eclairage 100 Lux à 500 Lux) pour le 21 Mars sous ciel clair.

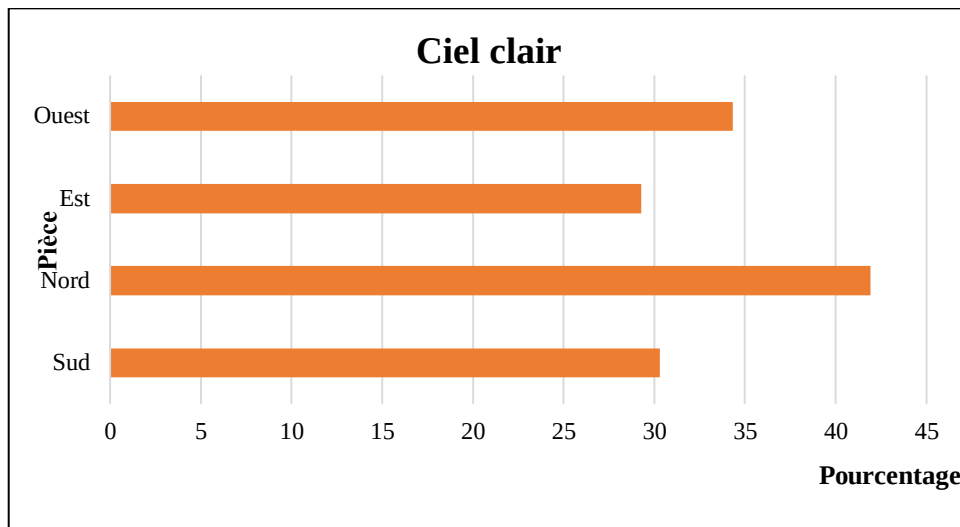
La pièce orientée Sud présente un pourcentage relativement bas de 27, 27 %, à 8h du matin, indiquant une faible quantité de lumière naturelle. La pièce orientée Est par contre, a un pourcentage plus élevé à 71, 21 %, suggérant une bonne intégration de la lumière. Les autres orientations (Nord, et Ouest) restent faibles avec des pourcentages de 16, 66 % et 12, 12 % respectivement. A midi, comme indiqué sur le graphe n°VII.6.une nette amélioration est observée avec des valeurs indiquant un bon confort lumineux pour la majorité des pièces. En après-midi, bien que l'intensité lumineuse diminue légèrement, les résultats restent relativement bons. Le séjour au Sud conserve un pourcentage de 66, 67 %, encore dans la plage de confort, tandis que le Nord et l'Est restent à des valeurs acceptables, respectivement 51, 52 % et 72, 7 %. L'orientation Ouest présente un pourcentage plus bas de 51 %, mais reste toujours dans la zone de confort.

Cette analyse montre que l'orientation et l'heure de la journée influencent considérablement l'apport lumineux naturel dans un espace de séjour, avec une meilleure performance du Sud et de l'Est durant la journée.

IV.1.2.2. Analyse des résultats de la (ZIV_I) zone d'inconfort visuel (Eclairage inférieur à 100 Lux)

Sous un ciel clair le 21 Mars, les niveaux d'éclairage commencent à être plus forts, en raison de l'allongement des journées et de l'angle plus favorable de l'ensoleillement. Cela permet généralement de réduire la zone d'inconfort dans les pièces, mais il peut encore y avoir

des zones nécessitant un éclairage artificiel pour garantir un confort visuel optimal.



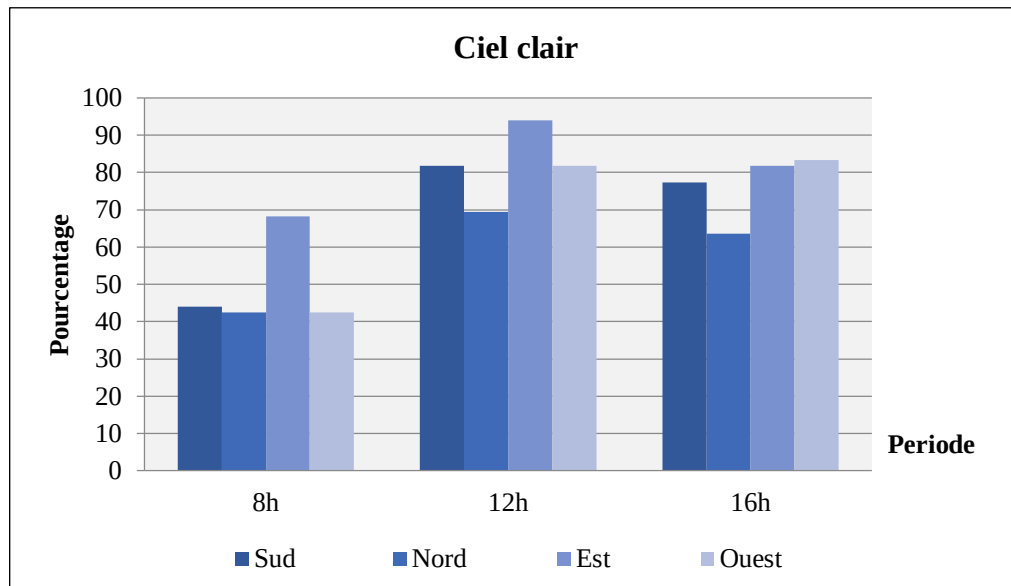
Graphes VII. 6: (ZIVI) zone d'inconfort visuel (Eclairage inférieur à 100 Lux) pour le 21 Mars sous ciel clair.

Les données relevées pour chaque orientation montrent que pour le Sud la majorité de la pièce est correctement éclairée naturellement avec la constitution d'une zone d'inconfort de 30% pour toute la surface c'est-à-dire moins de la moitié de l'espace. L'orientation Nord reçoit moins de lumière directe du soleil, et donc, plus de 40% de la pièce nécessite particulièrement un éclairage supplémentaire. Le pourcentage de 29, 28% dans la zone d'inconfort montre une situation favorable pour l'orientation Est, où la lumière naturelle du matin est généralement suffisante. Cependant, une petite partie de la pièce reste dans l'ombre et nécessite un éclairage artificiel pour maintenir un confort visuel optimal. La situation de l'espace situé à l'Ouest est presque similaire avec 34, 35% de l'ensemble des 66 points de calcul de l'éclairage se trouvent en dessous de 100 Lux représentant une zone d'inconfort ; bien que l'éclairage soit généralement suffisant l'après-midi.

IV.1.3. ANALYSE DES RESULTATS POUR LE MOIS DE JUIN SOUS CIEL CLAIR

IV.1.3.1. Analyse des résultats de la zone de confort (entre 100 Lux et 500 Lux) pour le mois de Juin sous ciel clair:

Les résultats montrent que, sous ciel clair en juin, toutes les orientations reçoivent un apport lumineux élevé tout au long de la journée, en particulier l'Est et l'Ouest, qui montrent des valeurs très proches des niveaux optimaux.

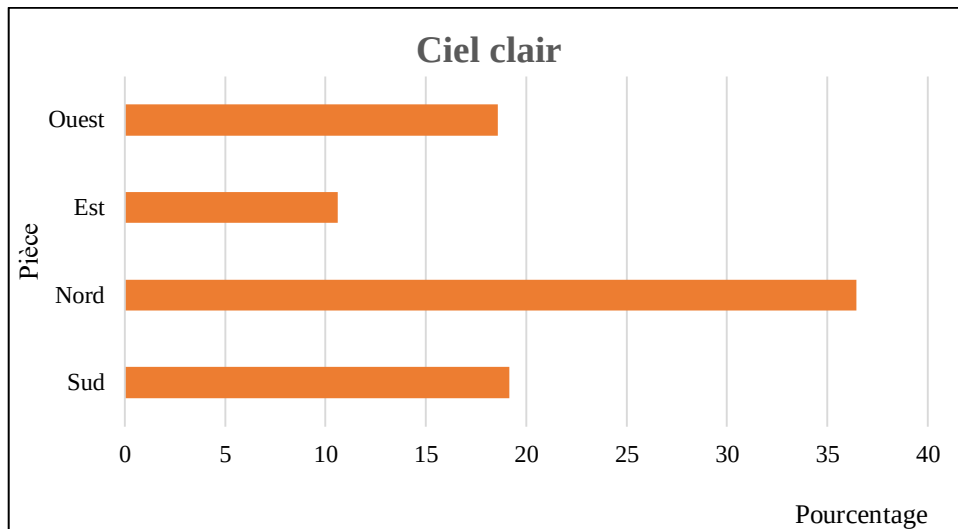


Graph VII. 7: (ZCV) zone de confort visuel (Eclairement 100 Lux à 500 Lux) pour le 21 Juin sous ciel clair.

Les simulations indiquent des valeurs très satisfaisantes pour les zones de confort visuel donc une bonne disponibilité en lumière naturelle dans la plupart des orientations à toutes les heures de la journée. **Graph n°VII.8** La pièce orientée Sud affiche à 8h un pourcentage de 43, 94 %, ce qui reste dans la zone de confort mais modéré. A midi, les conditions s'améliorent encore davantage. A titre d'exemple la pièce de l'Est à 93, 93 %, montre que les conditions optimales. Les résultats restent très bons avec des pourcentages qui restent élevés vers 16h avec des valeurs d'environ 63 % pour le Nord et à 83, 33 % pour l'Ouest.

IV.1.3.2. Analyse des résultats de la (ZIV₁) zone d'inconfort visuel (Eclairement inférieur à 100 Lux)

La zone d'inconfort représente l'espace dans lequel les niveaux d'éclairement sont insuffisants pour garantir un confort visuel optimal, ce qui nécessite l'usage d'éclairage artificiel supplémentaire. En juin, sous ciel clair, la luminosité naturelle est généralement plus intense, mais des zones peuvent encore être insuffisamment éclairées, d'où la nécessité d'analyse.



Graphique VII. 8: (ZIVI) zone d'inconfort visuel (Eclairement inférieur à 100 Lux) pour le 21 Juin sous ciel clair.

Le graphique n°VII.9 indique que le pourcentage de 10, 61% dans la zone d'inconfort est le plus bas parmi les orientations, ce qui signifie qu'en juin, l'éclairage naturel est généralement suffisant dans cette pièce, surtout durant la matinée. La valeur de 19, 15% dans la zone d'inconfort pour l'orientation sud est relativement bas, ce qui indique que la lumière naturelle est assez suffisante pour la majorité de l'espace. Cependant, une petite portion de la pièce reste dans l'incapacité de bénéficier de cette lumière. La zone d'inconfort dans une pièce orientée au nord reste assez importante avec 36, 46%, bien que la lumière naturelle soit généralement plus diffuse. Cette orientation, qui est plus exposée à l'ombre, requiert plus d'éclairage artificiel pour garantir un confort visuel pendant la journée, en particulier en début ou fin de journée.

IV.1.4. SYNTHÈSE DES RESULTATS SOUS CIEL CLAIR

Les simulations révèlent que, malgré des performances lumineuses globalement satisfaisantes sous ciel clair, des anomalies lumineuses apparaissent dans certaines orientations et périodes, créant des zones d'inconfort visuel (éclairement < 100 Lux) nécessitant un éclairage artificiel. Pour le 21 Décembre: L'orientation Nord est la plus affectée avec 61, 14 % de la surface en zone d'inconfort. Les orientations Est et Ouest montrent des anomalies similaires, touchant environ 50 % de l'espace, tandis que le Sud présente 44 % de zones d'ombre en matinée et fin d'après-midi. Au mois de Mars: Malgré une amélioration générale, l'orientation Nord conserve plus de 40 % d'inconfort, et 34, 35 % de la surface orientée Ouest reste mal éclairée en après-midi. Vers le 21 Juin: Les anomalies diminuent mais persistent, avec 36, 46 % de zones d'inconfort pour le Nord. Les orientations Sud et Est affichent encore 10 à 20 % d'espaces insuffisamment éclairés, principalement en après-midi.

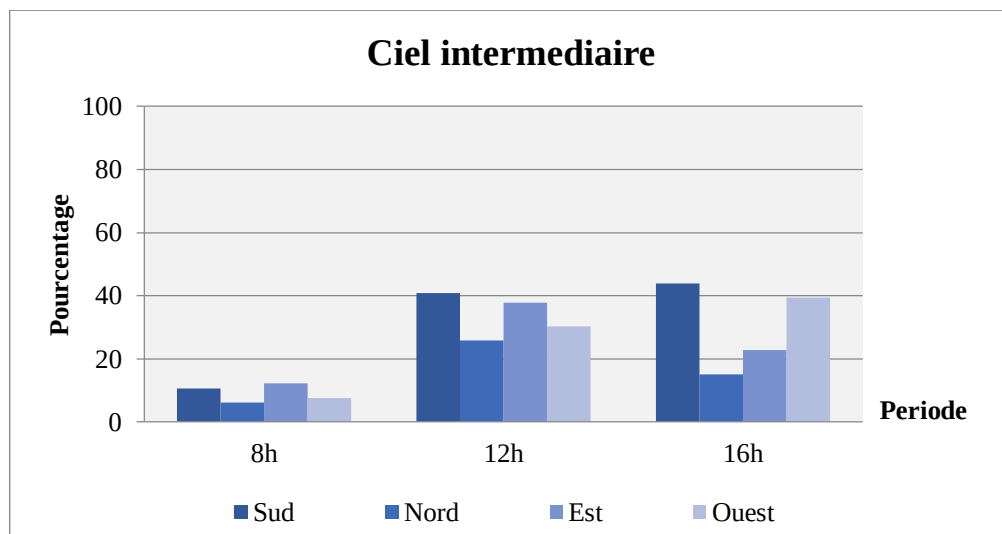
Globalement, les zones orientées Nord sont les plus touchées toute l'année, suivies des Est et Ouest à des moments spécifiques. Même l'orientation Sud, bien éclairée, connaît des zones d'ombre ponctuelles, justifiant des optimisations architecturales et un recours à l'éclairage artificiel.

IV.2. ANALYSE DES PERFORMANCES LUMINEUSES DES CAS D'ETUDE SOUS CIEL INTERMEDIAIRE

IV.2.1. ANALYSE DES RESULTATS POUR LE MOIS DE DECEMBRE SOUS CIEL INTERMEDIAIRE

IV.2.1.1. Analyse des résultats de la zone de confort (entre 100 Lux et 500 Lux) pour le mois de Décembre sous ciel intermédiaire:

Pour le 21 Décembre ; les résultats suggèrent que sous ciel intermédiaire, la salle à orientation Sud bénéficie de meilleures conditions lumineuses, tandis que les trois autres orientations restent moins bien éclairées, surtout en début et fin de journée Graphe n°VII.10.



Graphe VII. 9: (ZCV) zone de confort visuel (Eclaircement 100 Lux à 500 Lux) pour le 21 Décembre sous ciel intermédiaire.

Les pourcentages des zones de confort visuel à l'intérieur de l'espace sont relativement faibles le matin, indiquant une faible quantité de lumière naturelle à cette heure pour le Nord et l'Ouest respectivement à 6,06 % et 7,58 %. L'orientation Est est légèrement meilleure avec 12,2 %, mais reste en dessous de la moyenne. A midi, une nette amélioration est observée avec 40,9 % et 37,88 % pour les chambres à orientations Sud et l'Est, bien que les pourcentages restent modérés. Le Nord et l'Ouest continuent de montrer des résultats faibles.

Cependant A 16h, les pièces notamment celles du Nord (22, 73 %) et l'Est (15, 15 %), restent bien en deçà des seuils optimaux.

Ces résultats confirment que l'orientation Sud offre les meilleures conditions lumineuses mais des baisses à environ 50 % en fin d'après-midi, tandis que l'orientation Nord nécessite presque en permanence un éclairage artificiel. Les orientations Est et Ouest montrent des variations significatives selon l'heure, avec des performances modérées.

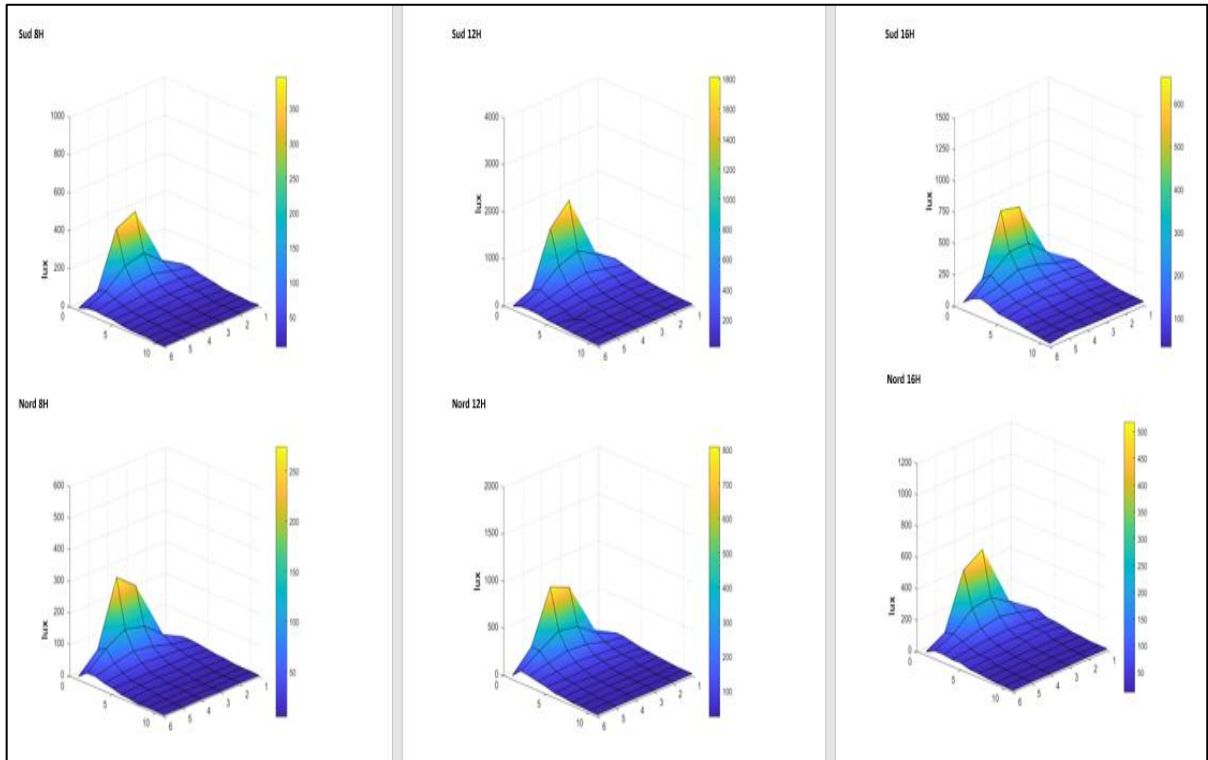


Fig VII. 8: Une partie des résultats traités sur Matlab
Source: Auteur 2024

La lumière naturelle est relativement modérée mais reste insuffisante pour garantir un confort visuel optimal. Une partie importante de l'espace nécessite un éclairage artificiel. L'éclairement diminue significativement, et la lumière naturelle devient insuffisante pour répondre aux besoins de confort visuel.

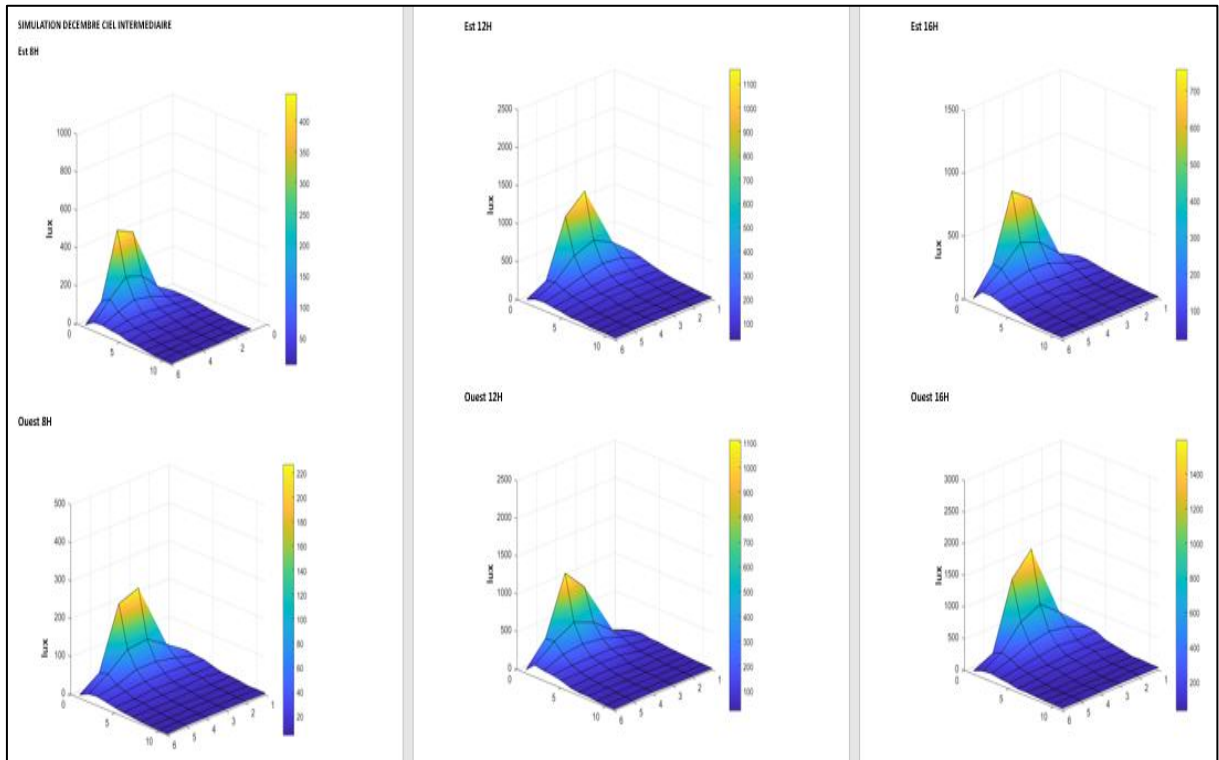
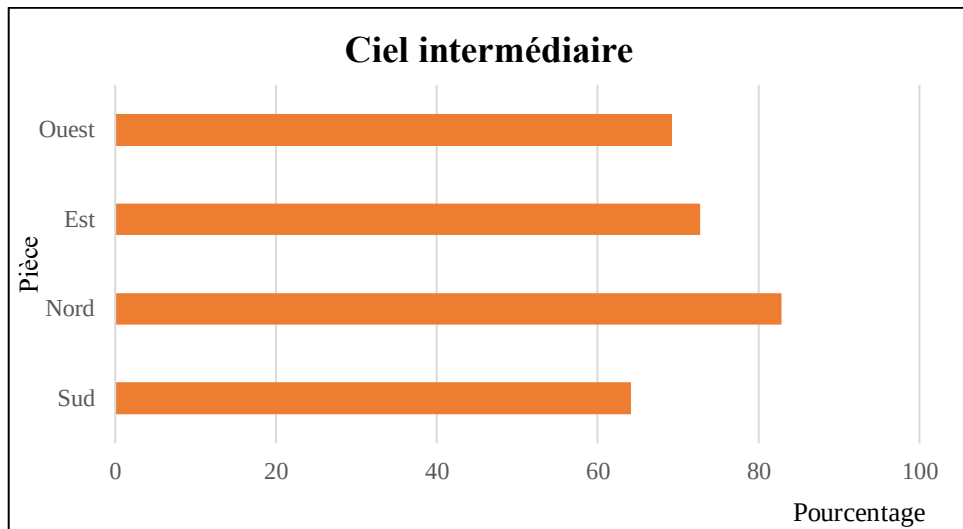


Fig VII. 9: Une partie des résultats traités sur Matlab pour le mois de Décembre
Source: Auteur 2024

IV.2.1.2. Analyse des résultats de la (ZIV_I) zone d'inconfort visuel (Eclairement inférieur à 100 Lux)

Sous un ciel intermédiaire, l'intensité de la lumière naturelle est plus faible en raison de la position du soleil et des conditions météorologiques. Cela peut entraîner une augmentation de la zone d'inconfort, nécessitant davantage d'éclairage artificiel pour garantir des conditions de confort visuel.

Le 21 Décembre, tous les pourcentages de la zone d'inconfort sont relativement élevés, en particulier pour les orientations Nord et Est. Cela montre que l'éclairage naturel est insuffisant pour garantir un confort visuel dans ces pièces, ce qui implique un besoin accru d'éclairage artificiel. L'orientation sud, bien que légèrement plus favorable, présente également une partie de la zone nécessitant un éclairage supplémentaire.



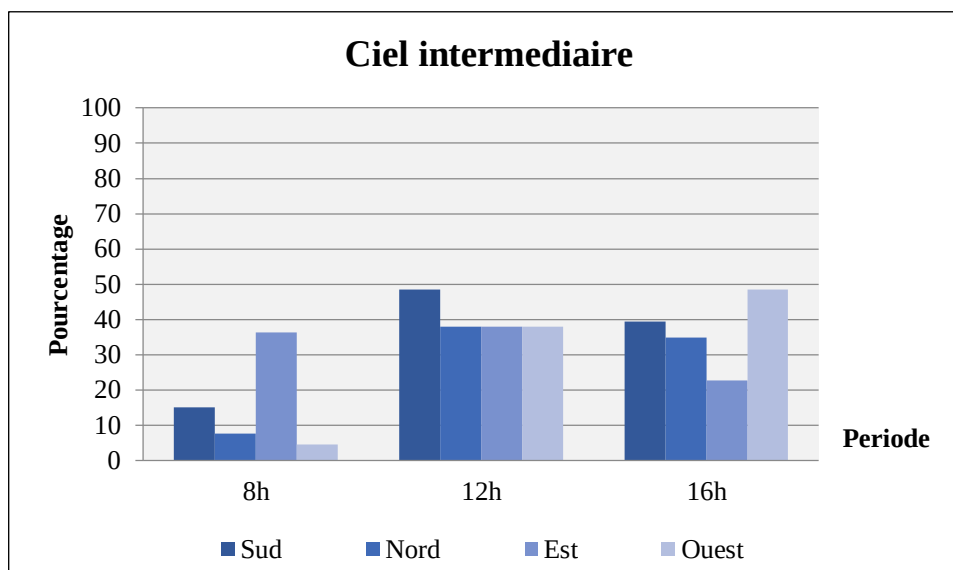
Graphique VII. 10: (ZIVI) zone d'inconfort visuel (Eclairement inférieur à 100 Lux) pour le 21 Décembre sous ciel intermédiaire.

Avec 82, 83% dans la zone d'inconfort, la salle de séjour à orientation nord nécessite une attention particulière où une grande part des niveaux d'éclairement est en dessous de 100Lux, donc sous un ciel intermédiaire cette orientation reçoit très peu de lumière directe du soleil, et dépend largement de l'éclairage artificiel.

IV.2.2. ANALYSE DES RESULTATS POUR LE MOIS DE MARS SOUS CIEL INTERMEDIAIRE

IV.2.2.1. Analyse des résultats de la zone de confort (entre 100 Lux et 500 Lux) pour le mois de Mars sous ciel intermédiaire:

Le matin, la pièce orientée Est est la mieux éclairée avec un pourcentage de 36, 37 % alors que celle orientée Sud présente un pourcentage relativement bas de 15, 15 %, indiquant une faible quantité de lumière naturelle. Les deux autres orientations (Nord et Ouest) restent faibles, respectivement à 7, 58 % et 4, 55 %. Une amélioration est notée pour toutes les orientations en milieu de journée, bien que les pourcentages de zone utile restent modérés. Le Sud atteint 48, 49 %, mais reste loin des seuils optimaux. Pour les espaces situés Est et Ouest avec des valeurs similaires d'environ 37 %, les niveaux d'éclairement restent insuffisants pour garantir un confort visuel optimal, ce qui nécessite l'usage d'éclairage supplémentaire. A 16h, les résultats montrent une diminution générale de l'intensité lumineuse. Le Sud est à 39, 4 %, et l'Ouest à 48, 49 %, mais les autres orientations (Nord et Est) sont inférieures, avec des pourcentages respectivement de 22, 73 % et 34, 84 %.

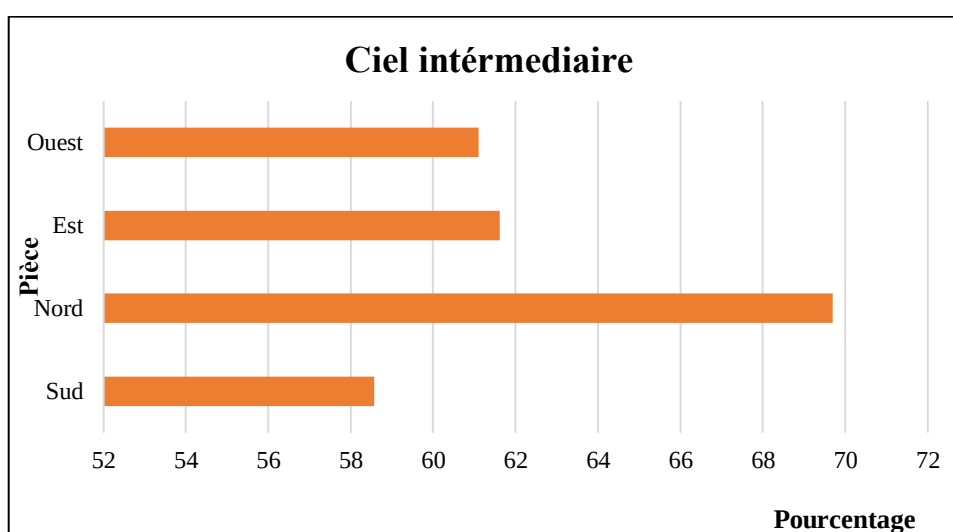


Graph VII. 11: (ZCV) zone de confort visuel (Eclairage 100 Lux à 500 Lux) pour le 21 Mars sous ciel intermédiaire.

Ces résultats montrent que, sous ciel intermédiaire, les pièces orientées Sud et Ouest restent légèrement plus lumineuses que celles orientées Nord et Est, mais dans l'ensemble, l'éclairage naturel reste modéré pendant la journée.

IV.2.2.2. Analyse des résultats de la (ZIV_I) zone d'inconfort visuel (Eclairage inférieur à 100 Lux)

L'analyse de la zone d'inconfort pour le mois de mars sous ciel intermédiaire, basée sur les pourcentages de l'éclairage inférieur à 100 Lux a montré l'évolution des conditions lumineuses à différentes heures de la journée et selon les orientations.



Graph VII. 12: (ZIV_I) zone d'inconfort visuel (Eclairage inférieur à 100 Lux) pour le 21 Mars sous ciel intermédiaire.

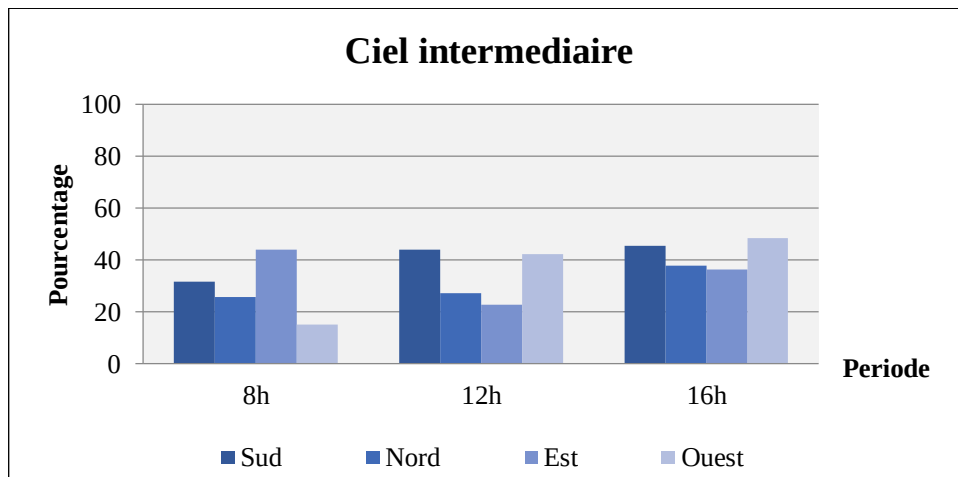
Un pourcentage de 58, 57% indique une proportion relativement élevée de la zone d'inconfort pour l'orientation Sud, ce qui signifie que plus de la moitié de la pièce nécessite un éclairage artificiel en raison d'un éclairement inférieur à 100 Lux. Bien que cet éclairement soit insuffisant pour un confort visuel optimal, il peut être compensé par un éclairage naturel durant certaines heures de la journée, mais l'ajout d'éclairage artificiel est fortement recommandé.

Avec 69, 69% de la zone d'inconfort, la pièce orientée au nord présente pourcentages des éclairements inférieurs à 100 Lux encore plus élevé que les autres orientations. Cette dernière est généralement moins favorisée par la lumière naturelle, ce qui explique un besoin en éclairage artificiel pour maintenir un niveau de confort visuel.

Pour les pièces à orientation Est et Ouest, avec 61% de la zone d'inconfort visuel. Cela suggère qu'une partie importante des pièces présente un éclairement insuffisant.

IV.2.3. ANALYSE DES RESULTATS POUR LE MOIS DE JUIN SOUS CIEL INTERMEDIAIRE

IV.2.3.1. Analyse des résultats de la zone de confort (entre 100 Lux et 500 Lux) pour le mois de Juin sous ciel intermédiaire:



Graphe VII. 13: (ZCV) zone de confort visuel (Eclairement 100 Lux à 500 Lux) pour le 21 Juin sous ciel intermédiaire.

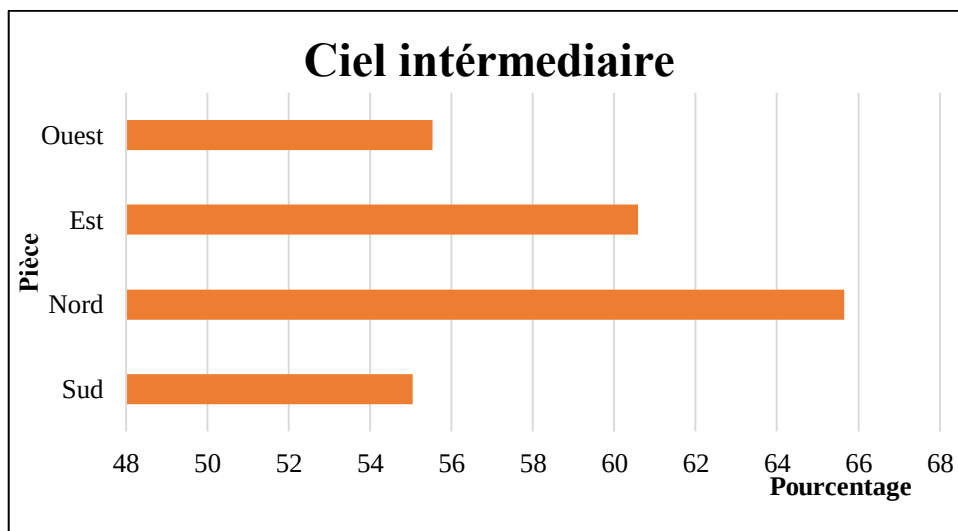
A 8h du matin, les résultats sont relativement faibles, en particulier pour l'orientation NORD avec 25, 76 %, et le OUEST avec 15, 16 %. Cependant, la pièce orientée Sud affiche un pourcentage plus élevé de 31, 82 %, bien que toujours inférieur à la moitié de la zone de confort. L'orientation EST se situe à 44 %, ce qui montre un éclairage relativement modéré à

cette heure.

On observe une légère amélioration en milieu de journée, avec des pourcentages plus élevés dans toutes les orientations. Le Sud atteint 43, 94 %, tandis que NORD est à 27, 28 % et l'Ouest à 42, 43 %. Le EST reste légèrement plus faible à 22, 73 %. Les résultats restent dans une plage plus ou moins acceptable, mais aucune orientation n'atteint des valeurs optimales pour les zones de confort souhaitées.

IV.2.3.2. Analyse des résultats de la (ZIV_I) zone d'inconfort visuel (Eclairage inférieur à 100 Lux)

L'éclairage lumineux varie en fonction des conditions météorologiques sous un ciel intermédiaire en juin, apportant une luminosité plus douce et parfois moins intense que sous un ciel clair. Cela peut entraîner une plus grande zone d'inconfort, où l'éclairage naturel est insuffisant pour garantir un confort visuel optimal.



Graph VII. 14: (ZIVI) zone d'inconfort visuel (Eclairage inférieur à 100 Lux) pour le 21 Juin sous ciel intermédiaire.

Les données relevées pour chaque orientation montrent qu'avec 65, 65% de la zone dans l'inconfort, la pièce orientée au Nord souffre d'une plus grande insuffisance en éclairage naturel, ce qui est généralement attendu pour cette orientation qui reçoit peu de lumière directe. Graphe n°VII.15 Pour le séjour de l'Est le pourcentage de 60, 59% dans la zone d'inconfort indique également un éclairage insuffisant. Bien que cette orientation bénéficie de la lumière du matin, la couverture de la lumière naturelle est moins intense que sous un ciel clair, et une partie de la pièce est donc dans l'incapacité de bénéficier d'une lumière suffisante.

Dans les salles à orientation Sud et Ouest ; la situation est similaire avec environ 55% bien que légèrement plus favorable, présente également une partie de la zone nécessitant un éclairage supplémentaire.

Sous ciel intermédiaire en juin, les pourcentages de zone d'inconfort sont relativement élevés pour toutes les orientations. Les niveaux de lumière naturelle sont moins intenses que sous un ciel clair, ce qui nécessite plus d'éclairage artificiel pour garantir un confort visuel.

IV.2.4. SYNTHESE DES RESULTATS SOUS CIEL INTERMEDIAIRE

Les zones orientées Nord, Est et Ouest sont systématiquement touchées par une insuffisance de lumière naturelle, quelle que soit la saison ou la période de la journée, avec des niveaux d'éclairement souvent inférieurs à 100 Lux. L'orientation Sud, bien que plus favorable, nécessite également un recours à l'éclairage artificiel, surtout en matinée et fin d'après-midi.

Ces résultats soulignent la nécessité d'optimiser les apports lumineux naturels par des stratégies d'aménagement et des dispositifs d'éclairage artificiels pour garantir un confort visuel optimal.

IV.3. ANALYSE DES PERFORMANCES LUMINEUSES DES CAS D'ETUDE EN FONCTION DE L'INDICE D'UNIFORMITE (I_u)

L'indice d'uniformité (I_u) évalue la répartition de la lumière naturelle dans une pièce. Selon le CIBSE, un indice I_u compris entre 0,30 et 0,40 est idéal pour assurer une bonne distribution de la lumière naturelle dans les pièces éclairées latéralement (CIBSE, 2006). Une valeur en dehors de cet intervalle peut indiquer une répartition inadéquate, compromettant le confort et l'efficacité des activités domestiques.

Tab VII. 3: Résultats de l'indice d'uniformité sous les 2 types de ciel.

Source: Auteur

		Ciel clair				Ciel intermédiaire			
	Mois	Sud	Nord	Est	Ouest	Sud	Nord	Est	Ouest
	Décembre	0.18	0.27	0.25	0.20	0.19	0.17	0.16	0.14
	Mars	0.25	0.29	0.28	0.22	0.17	0.18	0.16	0.14
	Juin	0.27	0.33	0.29	0.28	0.17	0.16	0.21	0.15

L'éclairage naturel est souvent mal réparti, surtout sous ciel intermédiaire, nécessitant des ajustements pour garantir un confort visuel optimal.

L'uniformité de la répartition lumineuse pour le ciel clair est meilleure qu'en ciel intermédiaire, mais seule l'orientation Nord en juin atteint une valeur recommandée (0, 33). Les autres orientations montrent une distribution lumineuse insuffisamment homogène, surtout en décembre. Les indices d'uniformité restent faibles sous ciel intermédiaire quelle que soit la saison et l'orientation, reflétant une forte hétérogénéité dans la répartition de la lumière naturelle.

Les résultats mettent en évidence que l'éclairage naturel dans ces pièces est souvent mal réparti, particulièrement sous ciel intermédiaire. L'ajout de dispositifs pour améliorer la diffusion lumineuse ou un recours à l'éclairage artificiel est donc essentiel pour garantir un confort visuel adéquat.

V. SYNTHESE GENERALE DES RESULTATS DE LA SIMULATION

Cette synthèse générale nous a permis de confronter les résultats sous ciel clair et ciel intermédiaire, en mettant en évidence l'influence de l'orientation, de l'heure et de la saison sur le confort visuel, les niveaux d'éclairement, et sur la distribution de la lumière.

V.1. Influence de l'orientation, de l'heure et de la saison sur les zones de confort visuel

Les simulations révèlent des insuffisances d'éclairement sous ciel clair et ciel intermédiaire, mais avec des disparités selon les orientations et les périodes. Sous ciel clair, les orientations nord, est, et ouest présentent des éclairagements souvent inférieurs à 100 Lux, particulièrement en décembre où le nord affiche 61, 14 % de zones d'inconfort, suivi des est et ouest avec environ 50 %.

- **Ciel clair:** Même si les performances lumineuses sont assez satisfaisantes, surtout pour l'orientations Sud, des zones d'inconfort subsistent comme même, particulièrement pour la pièce à orientation Nord.
- **Ciel intermédiaire:** Les conditions lumineuses sont significativement réduites, avec des pourcentages élevés de ZIVI pour toutes les orientations, justifiant un recours accru à l'éclairage artificiel.

Sous ciel intermédiaire, les insuffisances lumineuses sont encore plus prononcées, affectant des surfaces plus étendues. En mars, le nord reste le plus touché, avec plus de 40 % de zones insuffisamment éclairées sous ciel clair, et une dégradation sous ciel intermédiaire. En juin, bien que la quantité de la lumière soit plus significative sous ciel clair, le nord présente encore

36, 46 % de zones d'inconfort, et les orientations sud et est affichent 10 à 20 % de zones mal éclairées.

Sous ciel intermédiaire, les performances lumineuses sont globalement inférieures, rendant indispensable le recours à des dispositifs d'éclairage artificiel pour maintenir un confort visuel optimal toute l'année.

V.2. Influence de l'orientation, de l'heure et de la saison sur des niveaux d'éclairement moyen (Em)

Pour décembre:

- L'éclairement est fortement influencé par l'orientation et le moment de la journée.
- Seule l'orientation sud garantit un éclairement suffisant à 12h.
- L'orientation nord est la plus défavorable, les valeurs restant constamment en dessous de la norme.

Pour mars:

- L'éclairement est globalement meilleur qu'en décembre, surtout pour les orientations sud et ouest.
- Cependant, les orientations nord et est peinent encore à atteindre les 300 lux.

Pour Juin:

- Les variations sont moins marquées en mars, en raison de journées plus longues et d'un ensoleillement plus direct.
- En juin, période estivale marquée par un ensoleillement maximal, les niveaux d'éclairement naturel enregistrent une amélioration générale par rapport à décembre et mars. Cependant, des variations notables subsistent selon l'orientation et l'heure de la journée. Les pièces orientées nord restent les moins lumineuses, justifiant l'ajout d'éclairage artificiel pour garantir le confort visuel.

Les résultats montrent que les niveaux d'éclairement naturel dans les espaces varient selon l'orientation, l'heure de la journée et la saison, avec une valeur recommandée de 300 lux rarement atteinte dans certaines conditions.

V.3. Influence de l'orientation, de l'heure et de la saison sur l'indice d'uniformité (Iu)

L'indice d'uniformité (Iu) évalue la répartition homogène de la lumière naturelle dans un espace, avec des valeurs recommandées entre 0.3 et 0.4 pour assurer un bon confort visuel. Les résultats montrent que ces seuils sont rarement atteints, indiquant une répartition globalement non uniforme de la lumière.

- **Ciel clair:**
 - En décembre, mars, et juin, les orientations sud, nord, et est approchent légèrement des valeurs recommandées mais restent en dessous. L'orientation nord atteint 0.33 en juin, conforme aux recommandations, mais reste insuffisante les autres mois. L'orientation ouest affiche les indices les plus faibles, la rendant la moins performante.
- **Ciel intermédiaire:**
 - Toutes les orientations, pour chaque mois, présentent des valeurs bien en dessous de 0.3, traduisant une faible uniformité sous ces conditions météorologiques.
- **Variation saisonnière:**
 - En décembre, les indices sont particulièrement bas, reflétant des conditions d'éclairage hivernales limitées. En mars, une légère amélioration est constatée, notamment pour les orientations nord et est. En juin, les indices atteignent leur maximum sous ciel clair, surtout pour les orientations sud et nord. Cependant, même en été, la plupart des valeurs restent inférieures aux recommandations.
- La saison a un impact sur l'éclairement des espaces investigués.
- L'heure influence l'éclairement selon l'orientation de la pièce.
- L'orientation a une influence significative sur l'éclairage reçu.

CONCLUSION

Ce travail de simulation a permis de compléter l'analyse des données collectées sur le terrain en examinant des facteurs clés tels que l'orientation des pièces, les conditions climatiques (type de ciel), et les différentes périodes de la journée. En intégrant ces paramètres, il a été possible de mieux comprendre les disparités observées dans les niveaux d'éclairement naturel, notamment dans les zones éloignées des ouvertures.

L'étude s'est particulièrement intéressée à la salle de séjour en tant qu'espace représentatif, afin d'explorer comment les variables de conception, telles que l'orientation et les dimensions des ouvertures, influencent les conditions d'éclairage dans un climat semi-aride. Cette approche par simulation a permis d'identifier les faiblesses actuelles en matière de répartition lumineuse et de proposer des pistes pour optimiser les performances visuelles et énergétiques.

Une approche bioclimatique tenant compte de ces facteurs est essentielle pour concevoir des espaces adaptés aux variations climatiques locales, notamment dans les régions semi-arides où la lumière naturelle constitue une ressource abondante mais sous-utilisée.

Cette analyse ouvre la voie à des recommandations précises pour améliorer la qualité de l'éclairage naturel, réduire la consommation énergétique et promouvoir une architecture durable, mieux adaptée aux contraintes et aux atouts des environnements étudiés.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION

Cette recherche a contribué à la littérature existante sur l'éclairage naturel dans l'habitat collectif, en particulier dans les régions semi-arides comme Batna. Les résultats obtenus ont des implications pratiques importantes pour la conception des bâtiments dans cette région et, plus largement, pour d'autres régions similaires confrontées à des défis énergétiques et climatiques similaires.

Ce travail de recherche ancré dans une démarche scientifique rigoureuse et multidimensionnelle s'est inscrit dans une perspective visant à approfondir les connaissances sur l'impact de l'éclairage naturel dans les logements, en mettant en évidence les interactions complexes entre les aspects techniques, climatiques et sociaux qui influencent la qualité de l'éclairage naturel, le confort des habitants et l'efficacité énergétique des bâtiments. Ceci en partant d'un constat de conception souvent inadaptée avec des fenêtres mal orientées en s'appuyant sur la nécessité d'une révision profonde des pratiques architecturales pour s'adapter aux spécificités locales.

L'objectif de cette étude consistait à explorer aussi l'impact des fenêtres et de leur conception sur la performance lumineuse dans les immeubles collectifs à plusieurs étages situés à Batna, un contexte marqué par des spécificités climatiques et des défis liés à l'urbanisation croissante.

De plus ; cette recherche s'est intéressait à l'analyse des niveaux d'éclairement dans un échantillon représentatif d'appartements ce qui a permis de mettre en lumière l'impact des législations actuelles sur la conception architecturale et d'identifier des orientations susceptibles d'améliorer les conditions lumineuses des espaces de vie, favorisant ainsi un usage fonctionnel tout au long de la journée.

L'étude s'est particulièrement intéressée à la salle de séjour en tant qu'espace représentatif, afin d'explorer comment les variables de conception, telles que le niveau, l'orientation et la taille de l'ouverture, influencent les conditions de l'éclairage naturel.

En s'appuyant sur des analyses qualitatives et quantitatives, cette recherche a permis de répondre à une problématique centrale: dans quelle mesure la conception des fenêtres dans les immeubles résidentiels contribue-t-elle au confort visuel des occupants tout en optimisant l'efficacité énergétique ?

L'analyse des résultats a révélé que la performance lumineuse d'un bâtiment dépend d'une interaction complexe entre plusieurs paramètres ; ceci à travers:

Une approche, basée sur l'évaluation subjective de l'environnement lumineux des espaces sélectionnés, a permis de mettre en évidence des résultats significatifs concernant la satisfaction des occupants. Selon les réponses au questionnaire, la majorité des participants résident dans leur logement depuis plus de 10 ans, ce qui reflète une bonne connaissance de leur environnement lumineux. En été, le salon est l'espace le plus fréquenté (37 participants), tandis qu'en hiver, la chambre parentale devient l'espace privilégié (24 participants). Concernant la lumière naturelle, 20 participants la jugent moyenne et 16 la trouvent suffisante, ce qui témoigne d'une perception générale de non-satisfaction. La cuisine est identifiée comme la pièce la mieux éclairée, tandis que 20 participants estiment que le salon est perçu comme insuffisamment éclairé. L'éclairage électrique est largement utilisé (28 participants), souvent pendant de longues périodes (19), notamment en hiver, ce qui révèle une forte dépendance à ce type d'éclairage et un impact négatif sur la consommation énergétique. L'étage et la surface des fenêtres sont perçues comme des facteurs clés du confort lumineux, 33 participants estimant ces surfaces insuffisantes. Ces résultats soulignent l'importance d'améliorer la conception des fenêtres afin de mieux répondre aux besoins en lumière naturelle et de réduire la dépendance à l'éclairage artificiel.

Une deuxième approche (Evaluation objective) basée sur les mesures d'éclairement effectuées sur des pièces situées à différents étages révèlent que les niveaux d'éclairement restent généralement inférieurs aux normes recommandées. Les variations des valeurs mesurées dépendent de l'orientation des pièces, de l'étage et des conditions environnementales, telles que les nuages ou les taches solaires. Les pièces orientées Sud et Ouest enregistrent parfois des pics élevés, dépassant 800 Lux à midi, notamment aux étages supérieurs, mais ces niveaux restent insuffisants dans les zones éloignées des fenêtres. Au 1er étage, des obstacles comme les arbres limitent considérablement la pénétration de la lumière, tandis qu'au 9e étage, des contrastes marqués entre les zones lumineuses et sombres persistent, malgré des valeurs d'éclairement moyen proches des normes. L'étude de terrain a révélé des disparités significatives dans les niveaux d'éclairement lumineux, particulièrement dans les zones éloignées des ouvertures. Ce qui se traduit par des indices d'uniformité assez faibles, avec un manque d'homogénéité, affectant la qualité lumineuse globale des espaces. En somme, la lumière naturelle, bien qu'abondante par moments, ne parvient pas à assurer une répartition uniforme et optimale.

Une troisième approche par simulation a été conçue pour compléter et approfondir l'analyse des résultats obtenus sur le terrain, en mettant l'accent sur des facteurs clés tels que

l'orientation des pièces, le type de ciel, et les différentes périodes de la journée, afin de mieux comprendre les disparités observées. Cette approche vise à reproduire fidèlement les conditions réelles tout en identifiant les facteurs qui influencent les variations de l'éclairement lumineux.

Les résultats des simulations sous ciel clair révèlent que, malgré des performances lumineuses globalement satisfaisantes sous ciel clair, des anomalies lumineuses apparaissent dans certaines orientations et périodes, créant des zones d'inconfort visuel (éclairement < 100 Lux) nécessitant un éclairage artificiel. Pour le 21 Décembre: L'orientation Nord est la plus affectée avec 61, 14 % de la surface en zone d'inconfort. Les orientations Est et Ouest montrent des anomalies similaires, touchant environ 50 % de l'espace, tandis que le Sud présente 44 % de zones d'ombre en matinée et fin d'après-midi. Au mois de Mars: Malgré une amélioration générale, l'orientation Nord conserve plus de 40 % d'inconfort, et 34, 35 % de la surface orientée Ouest reste mal éclairée en après-midi. Vers le 21 Juin: Les anomalies diminuent mais persistent, avec 36, 46 % de zones d'inconfort pour le Nord. Les orientations Sud et Est affichent encore 10 à 20 % d'espaces insuffisamment éclairés, principalement en après-midi.

Globalement, les zones orientées Nord sont les plus touchées toute l'année, suivies des orientations Est et Ouest à des moments spécifiques. Même l'orientation Sud, bien éclairée, n'empêche qu'elle connaît des zones d'ombre ponctuelles, justifiant des optimisations architecturales et un recours à l'éclairage artificiel.

Les résultats des simulations sous ciel intermédiaire révèlent que Les zones orientées Nord, Est et Ouest sont systématiquement touchées par une insuffisance de lumière naturelle, quelle que soit la saison ou la période de la journée, avec des niveaux d'éclairement souvent inférieurs à 100 Lux. L'orientation Sud, bien que plus favorable, nécessite également un recours à l'éclairage artificiel, surtout en matinée et fin d'après-midi.

Ces résultats soulignent la nécessité d'optimiser les apports lumineux naturels par des stratégies d'aménagement et des dispositifs d'éclairage artificiels pour garantir un confort visuel optimal.

L'uniformité de la répartition lumineuse pour le ciel clair est meilleure qu'en ciel intermédiaire, mais seule l'orientation Nord en juin atteint une valeur recommandée (0, 33). Les autres orientations montrent une distribution lumineuse insuffisamment homogène, surtout en décembre. Les indices d'uniformité restent faibles sous ciel intermédiaire quelle

que soit la saison et l'orientation, reflétant une forte hétérogénéité dans la répartition de la lumière naturelle.

Cette approche par simulation a permis d'identifier les faiblesses actuelles en matière de répartition lumineuse. Les résultats mettent en évidence que l'éclairage naturel dans ces pièces est souvent mal réparti, particulièrement sous ciel intermédiaire. L'ajout de dispositifs pour améliorer la répartition lumineuse ou un recours à l'éclairage artificiel est donc essentiel pour garantir un confort visuel adéquat.

La synthèse générale nous a permis de confronter les résultats en mettant en évidence l'influence de l'orientation, de l'heure et de la saison sur le confort visuel, les niveaux d'éclairement, et sur la distribution de la lumière.

Les résultats montrent que:

-Les résultats montrent que les niveaux d'éclairement naturel dans les espaces investigués varient selon l'orientation, l'heure de la journée et la saison, avec une valeur recommandée de 300 lux rarement atteinte dans certaines conditions.

-L'indice d'uniformité (Iu) évalue la répartition homogène de la lumière naturelle dans un espace, avec des valeurs recommandées entre 0.3 et 0.4 pour assurer un bon confort visuel. Les résultats montrent que ces seuils sont rarement atteints, indiquant une répartition globalement non uniforme de la lumière.

-Les zones d'inconfort visuel sont principalement observées dans les espaces orientés Nord, où l'éclairement naturel est insuffisant toute l'année. Les orientations Est et Ouest présentent également des anomalies, avec des périodes où la lumière n'est pas homogène, notamment le matin ou l'après-midi. Bien que l'orientation Sud bien éclairée, n'empêche qu'elle connaît des zones d'ombre ponctuelles, (des zones d'ombre subsistent) justifiant des optimisations architecturales et un recours à l'éclairage artificiel.

Nous retiendrons à travers cette investigation que le niveau d'éclairement est fortement influencé par l'orientation et le moment de la journée:

- L'heure influence l'éclairement selon l'orientation de la pièce.
- La saison a un impact sur l'éclairement dans les espaces investigués.
- L'orientation a une influence significative sur l'éclairage reçu.

A travers l'analyse des résultats, les hypothèses de recherche ont été confirmées, apportant un

éclairage nouveau sur les défis liés à l'éclairage naturel dans les bâtiments résidentiels:

L'hypothèse principale selon laquelle l'approche quantitative de la politique du logement, centrée sur l'urgence et l'économie de moyens, conduit à une consommation énergétique excessive et à une insuffisance de confort visuel, a été largement confirmée. Autrement dit ; le logement social tel qu'il est conçu aujourd'hui ne répond pas pleinement aux normes de confort visuel ce qui entraîne une insuffisance de lumière naturelle dans les espaces intérieurs a été largement confirmée. Cette situation découle principalement de l'adoption de modèles standardisés qui ne tiennent pas compte des particularités climatiques de la ville de Batna et des besoins spécifiques des occupants. Ces éléments viennent corroborer l'hypothèse selon laquelle la réglementation actuelle, souvent générique, ne répond pas pleinement aux spécificités climatiques de Batna, ce qui limite leur efficacité en matière de performance lumineuse et de confort visuel.

De même, l'hypothèse selon laquelle les fenêtres des logements collectifs à Batna ne sont pas conçues de manière optimale pour garantir un confort visuel adéquat a également conduit à une sensation d'inconfort lumineux des occupants en raison de l'insuffisance de la lumière naturelle et de l'utilisation excessive de l'éclairage artificiel a été validée.

Afin d'améliorer ce confort tout en réduisant la consommation énergétique, il serait nécessaire de repenser la conception des fenêtres, optimiser l'orientation des bâtiments, et intégrer des matériaux permettant de maximiser l'entrée de lumière naturelle tout en minimisant les besoins en éclairage artificiel.

Cette thèse plaide donc pour une révision des pratiques architecturales, en encourageant l'adoption de solutions bioclimatiques adaptées aux besoins des habitants et aux conditions locales.

Ce travail de recherche a permis de mieux comprendre l'impact des caractéristiques architecturales, en particulier les fenêtres, sur les conditions d'éclairage naturel dans les immeubles collectifs à Batna. À travers une méthodologie combinant observations sur le terrain et simulation numérique, il a été possible d'identifier les paramètres clés influençant la répartition de la lumière naturelle, notamment l'orientation des pièces, la taille des ouvertures, le type de ciel et les périodes de la journée.

En conclusion, cette recherche met en évidence l'importance d'une conception réfléchie et

adaptée des fenêtres dans le contexte des immeubles résidentiels à Batna. Les résultats obtenus soulignent la nécessité de dépasser les approches standardisées pour adopter des solutions architecturales contextuelles et innovantes, capables de répondre aux défis climatiques, énergétiques et sociaux de manière durable.

RECOMMANDATIONS

Ces observations ont conduit à l'élaboration de recommandations concrètes pour une conception bioclimatique optimisée des bâtiments résidentiels, alliant performance énergétique, adaptation au contexte climatique local, confort visuel et bien-être des occupants. Ces recommandations incluent:

Conception architecturale optimisée:

*Concevoir des bâtiments prenant en compte les variations climatiques locales, notamment en adaptant les matériaux, les systèmes d'isolation et les ouvertures.

*Encourager une conception adaptée aux spécificités climatiques locales, incluant des solutions bioclimatiques telles que des orientations stratégiques, des ouvertures plus grandes et des matériaux réfléchissants.

*Face à la diversité des besoins des habitants, il est essentiel de dépasser l'approche standardisée des fenêtres pour proposer des solutions plus adaptées aux spécificités architecturales de chaque projet de logement.

*Prise en compte du confort visuel dans la réglementation: Les normes et les règlements doivent évoluer pour intégrer les impératifs de confort visuel et d'efficacité énergétique dans une approche plus globale, qui inclut les particularités climatiques de chaque région.

*Optimisation de l'orientation et de la taille des fenêtres: En tenant compte des conditions climatiques locales, il est important d'adopter une orientation optimale des fenêtres pour maximiser l'apport de lumière naturelle, tout en évitant l'éblouissement excessif.

Approche bioclimatique:

*Explorer l'utilisation de technologies innovantes, telles que les systèmes de gestion dynamique de la lumière, pour maximiser les apports lumineux tout en réduisant la consommation énergétique.

*Concevoir des bâtiments prenant en compte les variations climatiques locales, notamment en adaptant les matériaux par l'intégration de vitrages électrochromes ou vitrages à faible émissivité adaptés aux zones semi-arides permettrait d'améliorer l'efficacité énergétique tout en préservant un bon niveau de lumière naturelle.

* Former les acteurs de la construction (architectes, ingénieurs, promoteurs) aux principes de la conception bioclimatique et aux avantages de l'éclairage naturel.

Approche participative:

*Associer les habitants et les architectes dans le processus de conception pour garantir une meilleure adéquation entre les espaces construits et les besoins spécifiques des usagers.

PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Pour approfondir les travaux entrepris, plusieurs pistes de recherche peuvent être envisagées:

- **Étendre les analyses à d'autres espaces:** Les résultats de la salle de séjour pourraient être complétés par des études similaires sur les chambres, les cuisines et les espaces communs, afin d'obtenir une vision globale des conditions lumineuses dans les logements collectifs.
- **Étendre l'étude à d'autres types de bâtiments résidentiels** et à des régions climatiques différentes pour valider la généralisation des recommandations.
- **Analyser l'impact à long terme** des choix architecturaux sur la consommation énergétique, la satisfaction des occupants et la durabilité des bâtiments.
- Il est également essentiel de prendre en compte d'autres aspects du confort intérieur, tels que la qualité de l'air et le confort acoustique dans les bâtiments résidentiels de la région.
- Des normes internationales d'éclairage (IESNA et CIBSE) ont été recommandées et utilisées pour déterminer le niveau d'éclairement moyen de référence ainsi que les zones de confort pour les espaces investigués. Néanmoins, il est essentiel de développer une nouvelle réglementation de ces méthodes propre à la région afin d'évaluer la qualité de l'environnement intérieur et de mieux comprendre comment améliorer la conception et la performance des futurs bâtiments résidentiels.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

- Aarts, M. P. J., & Westerlaken, A. C. (2005). Field study of visual and biological light conditions of independently living elderly people. *Technology and Health Care*, 13(4), 253–265.
- Abbad, M. (2000). Le droit à chaque individu à disposer d'un logement décent. In *La déclaration universelle des droits de l'homme de 1948* p. 6).
- Abd El Mohimen, A. (2005). Sustainable Building Design Strategies in Arid Climates. *International Journal of Architectural Research*, 2(1), 23–34.
- Abdou, O. A. (1997). Effects of luminous environment on occupant performance in buildings. *Journal of Architectural Engineering*, 3(3), 124-132.
- ADEME 2003 Documents techniques et études de (l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie).
- Adolphe, L. (2001). Modélisation du potentiel de la lumière naturelle dans les projets urbains. *Cahiers du CSTB*, 324, 12-19.
- Afroz, R., Masud, M. M., Akhtar, R., & Duasa, J. B. (2014). Survey of natural light quality perception. *Environmental Research Journal*, 8(1), 100-110.
- Alexandroff, G et J-M (1982) Architectures et climats: Soleil et énergies naturels dans l'habitat, Berger-Levrault, , p49.
- Alexandroff, G., & Alexandroff, J.-M. (1982). Architectures et climats: Soleil et énergies naturels dans l'habitat (1re éd.).Paris: Berger-Levrault.
- Ali, K., & Al-Zubaidi, S. (2021). "The Impact of Window Orientation on Daylight Availability in Residential Buildings." *Buildings*, 11(8), 345.
- Ali, K., & Al-Zubaidi, S. (2021). Daylighting solutions for improving visual comfort in hot climates. *International Journal of Architecture*, 9(1), 56–70.
- Al-Mumin, A. (2001). Suitability of sunken courtyards in the desert climate of Kuwait, *Energy and Buildings*, 33, 103-111.
- Al-Naim, M. (1997). L'harmonie Fonctionnelle et Esthétique dans L'environnement Bâti L'harmonie Fonctionnelle et Esthétique dans L'environnement Bâti, Alqafila, Vol.46, No.1 (mai), pp. 38-43
- Al-Naim, M. (1998). Continuity And Change Of Identity in the Home Environment: Development of the Private House in Hofuf, Saudi Arabia, Ph.D thesis, University of Newcastle, UK
- Al-Tamimi, N. A., & Fadzil, S. F. (2011). The potential of shading devices for temperature reduction in high-rise residential buildings in the tropics. *Procedia Engineering*, 21, 273-282.
- Alzoubi, H. H., & Al-Zoubi, A. H. (2010). Assessment of building facade performance in terms of daylighting and energy consumption in a desert climate. *Energy Conversion and Management*, 51(8), 1570-1574. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.02.009>
- 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 Energétique 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>. Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie
 - Arborio, A.-M., & Fournier, P. (2001). L'enquête et ses méthodes: L'observation directe (2e éd.). Paris: Nathan, p. 7.
 - Aries, M., Aarts, M. P. J., & Van Hoof, J. (2015). Daylight and health: A review of the evidence and consequences for the built environment. *Building and Environment*, 94(1), 66–85.
 - Aries, M., Veitch, J., Newsham, G. 2010. Windows, view, and office characteristics predict physical and psychological discomfort. *Journal of Environmental Psychology* 30 (2010) 533-541
 - Art 48 du journal officiel de la République Algérienne du 16 Choual 1432 du 14 septembre 2011.
 - Aster Gdem. (2009). ASTER Global Digital Elevation Model. NASA/METI. <https://asterweb.jpl.nasa.gov>
 - Attmann, O. (2010). *Green Architecture: Advanced Technologies and Materials*. McGraw-Hill Education.
 - Aubé, M. (2009). Le confort lumineux et l'éclairage naturel: Impacts sur la santé et l'efficacité énergétique. *Techniques de l'Ingénieur*, D5400.
 - Baker, N., & Steemers, K. (1996). *Daylighting and Energy Efficiency in Architecture*. Routledge.
 - Baker, N., & Steemers, K. (2002). "Energy and Environment in Architecture: A Technical Guide." *Routledge*.
 - Baker, N., & Steemers, K. (2002). *Daylight design of buildings: A handbook for architects and engineers* (1re éd.). London: Earthscan Publications.
 - Baker, N., & Steemers, K. (2014). *Daylight Design of Buildings*. Earthscan, Routledge.
 - Baker, N., et al. (1993). *Daylight in Architecture*. Routledge.
 - Baker, N., et al. (2002). *Advanced daylighting systems for sustainable building design* (1re éd.). New York: Springer.
 - Bakker, P., Iofel, M., & Lachs, M. (2004). Lighting in elder care: Effects on behavior and well-being. *Journal of Elder Care Design*, 5(3), 123–129.
 - Balaras, C. A. (2002). Energy conservation in buildings. *Renewable Energy*, 25(3), 381–398
 - Barker, J. (1997). *Influence of natural light on famous architects* (2e éd.). Cambridge: Cambridge University Press.
 - Bashiru Tukur, R. (2013). *Urban housing for low-income earners in Nigeria: Policy and regulatory barriers*. Kaduna: Ahmadu Bello University Press.
 - Bean, J. P. (2004). *Nine principles of effective teaching and learning*. New York: Palgrave Macmillan.p9
 - Bec, D., & Aubert, D. (2006). *Lumière naturelle et éclairage artificiel*. CSTB Éditions.

- Becker, R., & Foliente, G. (2005). Performance based international state of the art—PeBBu 2nd International SotA Report. Rotterdam: CIB.
- Beckett, H E., Godfrey, J A. (1974), windows performance, design and installation, Crosby Lockwood Staples RIBA Publications Ltd, .
- Beckett, H. E., & Godfrey, J. A. (1974). Windows: Performance, design, and installation (1re éd.). London: RIBA Publications.
- Beever, W. (2006). Lighting design for the built environment. London: Routledge.p1
- Benaïcha, A. (2011). L'évolution de l'habitat collectif dans la ville de Batna: Problématiques et perspectives (Mémoire de Magistère, Université de Batna). Université Hadj Lakhder de Batna, Faculté des Sciences de la Terre et d'Architecture
- Bendjelid, S., & Tacherift, M. (2018). Mesures fractales de l'identité morphique pour des tissus urbains dans la ville algérienne de Batna. *Cybergeo: European Journal of Geograph*
- Bennet, I., & O'Brien, W. (2013). The influence of shading and daylighting on energy performance in office buildings. *Energy and Buildings*, 60, 210-218.
- Berman, S. M., Jewett, D. L., Fein, G., Saika, G., & Ashford, F. (1990). Photopic luminance does not always predict room brightness. *Lighting Research and Technology*, 22(1), 37-41.
- Bodart ; M. (2004). Présentation du guide d'éclairage naturel-UCL.CSTC: centre scientifique et technique de la construction. Division Energie. Université Catholique de Louvain. Architecture et climat.
- Bodart, M., & De Herde, A. (2002). Global energy savings in office buildings by the use of daylighting. *Energy and Buildings*, 34(5), 421-429. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00117-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00117-8)
- Boubekri, M. (2008). Daylighting, Architecture and Health: Building Design Strategies. Architectural Press, Elsevier.
- Bouchier, M. (1979). *La lumière dans l'architecture*. Éditions Techniques et Architecture p.70.
- Bouchier, M. (1998). Habitat et lumière. Paris: Éditions du CNRS.
- Boudet, C. (2009). Lumière naturelle et architecture contemporaine. Éditions Parenthèses.
- Boukous, A. (1999). La langue berbère: Maintien et changement. *International Journal of the Sociology of Language*, 1999, p. 15.
- Bournas, I., & Dubois, M.-C. (2020). Assessing the impact of daylighting on energy use and comfort in Nordic climates. *Energy and Buildings*, 224, 110229.
- Boyce, P. R. (2003). Human Factors in Lighting (2nd ed.). CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Boyce, P., Hunter, C., & Howlett, O. (2003). The benefits of daylight through windows. Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, New York.
- Boyce, P.R (2014). Human Factors in Lighting (3rd ed.). CRC Press. Consulté sur <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/b16707/human-factors-lighting-peter-robert-boyce>
- Brandi, U. (2006). Lighting Design - Principles, Implementation, Case Studies (1 ed.). Munich: Detail.

- Brown, G. Z., & DeKay, M. (2014). *Sun, wind, and light: Architectural design strategies* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Brown, M. J., et Jacobs, D. E. (2011). Residential Light and Risk for Depression and Falls: Results from the LARES Study of Eight European Cities. *Public Health Reports*, 126(Suppl 1), 131–140
- Brunnström, G., Sörensen, S., Alsterstad, K., & Sjöstrand, J. (2004). Quality of light and quality of life: The effect of lighting adaptation among people with low vision. *Ophthalmic & Physiological Optics*, 24(4), 274–280.
- Bülow-Hübe, H. (2001). *Energy-efficient window systems: Effects on energy use and daylight in buildings* (Doctoral dissertation). Lund University, Department of Construction and Architecture, Division of Energy and Building Design.
- Butler, D. L., & Biner, P. M. (1989). Effects of setting on window preferences and factors associated with their use in offices. *Environment and Behavior*, 21(1), 17–31.
- Butler, D. L., & Steuerwald, B. L. (1991). Influence of work environment on job satisfaction: Role of lighting and other factors. *Lighting Research and Technology*, 23(2), 45–50.
- C. R. A. (1987). *Survey of daylight design strategies in the workplace*. London: Chartered Institution of Building Services Engineers.
- Caamaño-Martín, E., Suárez, R., & Martín-Domínguez, J. A. (2010). Analysis of daylight factors in atrium buildings: Implications for energy savings and indoor comfort. *Renewable Energy*, 35(4), 773–781.
- Caccavelli, D., & Gugerli, H. (2002). Energy performance of lighting and daylighting in office spaces: An integrated approach. *Energy and Buildings*, 34(3), 287–298.
- Cantin, F. (2008). *Évaluation de la qualité lumineuse d'un environnement de travail éclairé naturellement*. Thèse de maîtrise en sciences de l'architecture. Faculté d'aménagement, architecture et arts visuels, Université Laval: Canada.
- 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.
- Charness, N., & Dijkstra, K. (1999). Age, luminance, and print legibility in homes, offices, and public places. *Human Factors*, 41(2), 173–193.
- Chartered Institute of Building Services Engineers [CIBSE]. (2006). *Environmental design: CIBSE guide A* (7th ed.). London: CIBSE.
- Chartered Institute of Building Services Engineers [CIBSE]. (2008). *CIBSE concise handbook*. Norwich: CIBSE.
- Chartered Institute of Building Services Engineers [CIBSE]. (2015). *CIBSE guide A: environmental design*.
- Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE). (1999). *Daylighting and window design (Lighting Guide LG10)*. London: CIBSE.
- Chartered Institution of Building Services Engineers. CIBSE. (2012). *Lighting. Guide 10: Daylighting and Window Design*.

-
- Chirarattananon, S., & Taweekun, J. (2003). A technical review of energy conservation programs for commercial and government buildings in Thailand. *Energy Conversion and Management*, 44(5), 743-762.
 - Christoffersen, J. (2001), Danish Building and Urban Research – Daylight Laboratory, (internal report), Danish Building and Urban Research, Hørsholm, Denmark 1.
 - Christoffersen, J. Johnsen K. (1999). Vinduer og dagslys - en feltundersøgelse i kontorbygninger (Windows and Daylight - a Post-occupancy Evaluation of Offices). SBI-rapport 318, 71 pages (in Danish). Retrieved from https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/14365841/Rapport_318.pdf
 - Christoffersen, J. and Wienold, J. (2005). Monitoring Procedure for Assessment of User Reaction to Glare. Report ECCO-DBUR-0303-01, Energy and Comfort Control for Building Management Systems (ECCO-Build), EU Commission
 - Christoffersen, J. & Johnsen, K. (1999). Windows and daylight: A post-occupancy evaluation of daylight in buildings. *Lighting Research and Technology*, 31(1), 21–28.
 - Christoffersen, J. 2001 Danish Building and Urban Research – Daylight Laboratory, (internal report), Danish Building and Urban Research, Hørsholm, Denmark 2001.
 - CIBSE (2006) 'The Chartered Institution of Building Services Engineers.' London (UK): London.
 - CIE (1986) Guide on interior lighting, Commission internationale de l'éclairage. Vienna (Austria): Publication CIE № 29.2.
 - CIE 147:2002 Glare from Small, Large and Complex Sources. 2002. Vienna (AT): Commission Internationale de l'Eclairage.
 - CIE146/147 (2002) CIE Collection on Glare: CIE 146:2002 CIE Equations for Disability Glare
 - CIE17 (1987) International Lighting Vocabulary. Vienna (Austria): Commission Internationale de l'Eclairage.
 - CIE 17 (1995) Discomfort glare in interior lighting. Vienna (Austria): Commission Internationale de l'Eclairage.
 - Climamed. (2014). Plan d'action pour l'énergie durable de la municipalité de Batna. <https://www.climamed.eu>
 - Coles, P., & House, J. (2007). Visible sunlight and sky light (1re éd.). London: Routledge.
 - Collins, B. L. (1976). Window design and the human response to the luminous environment. *ASHAE Transactions*, 82(1), 413–431.
 - Corrado, M. (1999) Conseils et projets d'architecture pour les fenêtres, Vecchi, , p 10.
 - Cuttle, C. (2003). *Lighting by Design*. Architectural Press.
 - d'Alençon, R. (2008). Acondicionamientos - Arquitectura y Técnica (1 éd.). Santiago de Chile: Ediciones Arq.
 - De Herde, A., & Reiter, A. (2001). *Guide pratique de l'éclairage naturel*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Lausanne, Suisse.
 - De Herde, A., Liebard, A. (2006). « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques: Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable », Le moniteur.
 - De Kay, M., & Brown, G. Z. (2013). Sun, Wind, and Light: Architectural Design Strategies (3rd ed.). John Wiley & Sons.
-

-
- de Winter JCF, Gosling SD, Potter J. 2016. Comparing the Pearson and Spearman correlation coefficients across distributions and sample sizes: A tutorial using simulations and empirical data. *Psychological Methods*. 21(3): 273– 290. doi:10.1037/met0000079 & 10.1037/met0000079.supp
 - DeKay, M., & Brown, G. Z. (2004). *Architectural Design Strategies*. 3rd edition, R. A.
 - Derek;Ph.Daylighting.;(2004) *Natural Light in Architecture*.With a foreword by Carl Gardner. Architectural Press An imprint of Elsevier Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP
 - Deroisy.B, A.Deneyer (2011), Evaluation de l'éclairage naturel par simulation informatique, Les Dossiers du CSTC 18.3.2011
 - Didi, I. (2013). Habitat traditionnel dans la médina de Tlemcen: Cas de Derb Sensla (Mémoire de Magister). Université de Tlemcen.p35
 - Djamila, H., Chu, C. M., & Kumaresan, S. (2011). Daylighting as a passive solar design strategy in tropical residential buildings: A case study of Malaysia. *Energy and Buildings*, 43(5), 896-907.
 - Dogan.T A (2018) critical review of daylighting metrics for residential architecture and a new metric for cold and temperate climates PhD and YC Park BArch
 - Dogan, Timur, and Jason Park. (2017) "A critical review of daylighting metrics with a new approach to dynamic daylight performance analysis." *Building and Environment* 113 (2017): 43-57. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.07.006>
 - Doulos, L., Santamouris, M., & Livada, I. (2008). Passive and active techniques for daylighting: A case study for the urban environment. *Energy and Buildings*, 40(3), 366-374.
 - Du, J., & Sharples, S. (2011). The variation of daylight levels across atrium walls: reflectance distribution and well geometry effects under overcast sky conditions. *Solar Energy*, 85(9), 2085-2100.
 - Dubois et al. 2007 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.
 - Dubois, M. C. (2001). Impact of solar shading devices on daylight quality: Measurements in experimental office rooms. Department of Construction and Architecture, Division of Energy and Building Design, Lund University, Lund Institute of Technology, p. 14.
 - Dubois, M. C., & Blomsterberg, Å. (2011). Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European, low energy office buildings: A literature review. *Energy and Buildings*, 43(10), 2572-2582. Elsevier.
 - Dubois, M.-C. (2001). L'intégration de la lumière naturelle dans les bâtiments tertiaires: Approches théoriques et pratiques. *Techniques et Architecture*, 469, 56-61.
 - Edmonds, I., & Greenup, P. (2002). Daylight and thermal performance of a prototype hybrid solar building. *Solar Energy*, 73(2), 111–121.
 - Edwards, L., & Torcellini, P. (2002). A literature review of the effects of natural light on building occupants (No. NREL/TP-550-30769). National Renewable Energy Laboratory.
 - Ene, G. E., & Okagbue, C. O. (2009). *Journal of Civil Engineering Research and Practice*.
-

-
- Erell, E., & Tzameret, R. (2014). Assessing the impact of shading and daylighting strategies on energy efficiency and visual comfort in office buildings. *Energy and Buildings*, 76, 312-319.
 - Evans, G. W., & McCoy, J. M. (1998). When buildings don't work: The role of architecture in human health. *Journal of Environmental Psychology*, 18(1), 85-94.
 - Fanchiotti, B., & Steemers, K. (1993). *Daylighting and Energy Efficiency in Buildings*. Routledge. Londres, Royaume-Uni.
 - Fasi, M. A., & Budaiwi, I. M. (2015). Energy performance of windows in office buildings considering daylight integration and visual comfort in hot climates. *Renewable Energy*, 78, 254-264.
 - Fathy, H. (1986). *Natural Energy and Vernacular Architecture: Principles and Examples with Reference to Hot Arid Climates*. University of Chicago Press.
 - Figueiro, M. G., & Rea, M. S. (2010). The effects of bright light on day and night shift workers. *Journal of Biological Rhythms*, 25(4), 299-308.
 - Filiod, J. P. (2004). *Habiter l'univers domestique: Approche anthropologique et analyse sociologique*. Présentation à l'Université Paris X Nanterre, 16 décembre.
 - Fisk, W. J. (2002). *How indoor air quality impacts productivity*. Lawrence Berkeley National Laboratory Report.
 - Fontoynont, M. (2002). *Daylight Performance of Buildings*. James & James Science Publishers.
 - Foura, M., (2005) *histoire critique de l'architecture: évolution et transformations en architecture pendant les 18e, 19e et 20e siècles*, Office des publications Universitaires,
 - Frampton, K. (2007). *Modern Architecture: A Critical History* (4th ed.). Thames & Hudson.
 - Freewan, A. A. (2010). Optimizing performance of light shelves by modifying ceiling geometry in desert clear sky conditions. *Solar Energy*, 84(1), 1600-1604.
 - Gadelhak, M., & Fathy, S. (2002). Daylighting and energy performance in Egyptian office buildings. *Renewable Energy*, 27(2), 353-360.
 - Galasiu, A. D., & Reinhart, C. F. (2008). Current daylighting design practice: A survey. *Building Research & Information*, 36(2), 159-174.
 - Galasiu, A. D., & Veitch, J. A. (2006). Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylit offices: A literature review. *Energy and Buildings*, 38(7), 728-742.
 - Geng, Y., & Zhang, X. (2020). "Daylight Performance of Different Window Areas in Residential Buildings." *Sustainable Cities and Society*, 54, 101962.
 - Gérard, M. (1991). *L'architecture du XXe siècle* (1re éd.). Paris: Presses Universitaires de France.
 - Ghiglione, R., & Matalon, B. (1978). *Les enquêtes sociologiques* (1re éd.). Paris: Armand Colin, p. 98.
 - Ghisi, E. (2002). "The Use of Fiber Optics on Energy Efficient Lighting in Buildings". Ph.D. Thesis, School of Civil Engineering, University of Leeds. UK. 25.
 - Ghisi, E. and Tinker, J. (2001). "Optimizing Energy Consumption in Offices as a Function of Window Area and Room Size". Seventh International IBPSA Conference, Rio De Janeiro, Brazil.

-
- Ghisi, E. and Tinker, J. A. (2005). "An Ideal Window Area Concept for Energy Efficient Integration of Daylight and Artificial Light in Buildings". *Building and Environment*. Vol. 40 pp. (51-61). 24.
 - Ghisi, E., & Tinker, J. A. (2005). Evaluating the potential for daylighting in office buildings in Brazil. *Energy and Buildings*, 37(1), 25-36.
 - Gibson, E. J. (1982). CIB state of the art report no. 64: Working with the performance approach in building. Rotterdam: CIB.
 - GIEC (2021). Rapport de synthèse: Changement climatique 2021 – Les bases scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au sixième rapport d'évaluation du GIEC. Cambridge University Press. Disponible en ligne: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.
 - Gill, A. (2006). *Light and space throughout history* (1re éd.). London: Architectural Press.
 - Givoni Baruch, *Man Climate and Architecture* (1976): « Architecture is a border between man and his environment ». Routledge (1976), p.220.
 - Givoni, B., (1978) *l'homme, l'architecture et le climat*, moniteur, .
 - Gordon, G. (2003). *Interior Lighting for Designers* (4th ed.). John Wiley & Sons.
 - Gratia, A., & De Herde, A. (2003). Natural ventilation in buildings: The impact of wind pressure. *Energy and Buildings*, 35(7), 675–690. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00251-7](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00251-7)
 - Gratia, E. (2003). Energy consumption in buildings: The role of daylight. *Energy and Buildings*, 35(2), 115–127.
 - Grimaldi, S., Catalano, P., & Santamouris, M. (2018). Innovative daylighting systems for energy efficiency in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1019–1030.
 - Grimaldi, S., Fok, R. Y., et Ratti, C. (2020). "Quantifying the Impact of Indoor Lighting on Residential Energy Consumption: A Case Study in Singapore." *Energy and Buildings*, 224, 110238.
 - Grimley, D., & Love, M. (2007). *COLOR, SPACE, AND STYLE: All the Details Interior Designers Need to Know But Can Never Find*. United State: Rockport Publishers. Inc.
 - Guedouh, M. S., & Zemmouri, N. (2017). Courtyard building's morphology impact on thermal and luminous environments in hot and arid region. *Energy Procedia*, 119, 153–162.
 - Guetteche, chaouki/Rouag, Djamila (2021) *L'architecture high-tech et les procédés innovants de l'éclairage naturel dans l'espace culturel* Université Constantine 3 Salah Boubnider, Faculté d'architecture et d'urbanisme. <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/1858>
 - H. Stierlin, *Architecture de l'islam de l'Atlantique au Gange*, Office du livre de Fribourg, 1979, p 48.
 - Häfner, M., & Schmitt, H. (2014). "Daylight in Buildings: A Handbook for Designers." *Wiley*.
 - Häfner, M., & Schmitt, H. (2014). Daylighting and energy efficiency in office buildings. *Journal of Building Physics*, 37(5), 453–467.

- 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>.
- Heerwagen, J. (1990). The psychological aspects of windows and window design. *Energy and Buildings*, 18(4), 49–54.
- Hegazy, Y. A., & Attia, S. (2015). Lumière naturelle et performance énergétique des bâtiments en climat chaud: Étude de cas en Égypte. *Revue des Énergies Renouvelables*, 18(1), 123-132.
- Hegazy, Y. A., et al. (2013). Lumière du jour dans le climat chaud du Caire. *International Journal of Energy*.
- Héron, S. (2005). L'éclairage naturel, facteur clé du confort thermique et visuel dans les bâtiments. *Cahiers Techniques du Bâtiment*, 379, 40-45.
- Heschong, L. (2002). Daylighting and human performance. *ASHRAE Journal*, 44(6), 65-67. ASHRAE.
- Heschong, L., Wright, R. L., & Okura, S. (2002). Daylighting impacts on human performance in school environments. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 31(2), 101-114.
- HMG. (2012). The daylighting dividend: How daylighting improves productivity and health. Heschong Mahone Group.
- Hopkinson, R. G., Petherbridge, P. and Longmore, J. (1966) 'Daylight in architecture.' London (UK): London: William Heineman Ltd.
- Huang, Y., & Xu, J. (2015). "Daylight simulation in building design: A review." *Building and Environment*, 92, 238-248.
- Hue, W. C., Zhang, M., & Feng, T. (2012). Daylighting strategies for sustainable architecture. Beijing: Architectural Press. p 54–62.
- Ibrahim, A., & Hayman, L. (2005). Daylight metrics in building performance (1re éd.). London: Wiley.
- IESNA. (2000). Lighting handbook (9e éd.). New York: Illuminating Engineering Society of North America.
- 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>
- Inanici, M. N. (2006). Evaluation of high dynamic range photography as a luminance data acquisition system. *Lighting Research & Technology*, 38(2), 123-136.
- Inanici, M. N., & Van Den Wymelenberg, K. (2014). Automated blind control using visual comfort and daylighting performance metrics. *Building and Environment*, 81, 33-45.
- International conference on environmental building (2014). L'éclairage naturel: Ouvrage réalisé à la suite d'un groupe de travail.
- Inui, T., & Miyata, Y. (1982). Influence of daylight on thermal comfort in offices. *Building and Environment*, 17(3), 313–321.
- Johnson, P., & Foster, R. (2001). Construire en verre. Presses polytechniques et universitaires romandes

- K., & Yun, G. Y. (2009). Household energy consumption: A study of the role of occupants. *Building Research & Information*, 37(5-6), 625-637.
- Kadri, N. and Mokhtari, A. (2011) 'Contribution à l'étude de réhabilitation thermique de l'enveloppe du bâtiment', *Revue des Energies Renouvelables*, 14(2), pp. 301–311.
- Kahn, L. (1975). *Light is the giver of all presences*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Kahn, L. (1996). *Silence and Light* (1re éd.). Paris: Éditions du Linteau.
- Kaplan, R. (2001) The nature of the view from home: Psychological benefits. *Environment and Behavior* 33: 507 – 542.
- Kaye, S. M., & Murray, M. A. (1982). Indoor daylight climate. *Architectural Science Review*, 25(1), 21–25.
- Keighley, E.C. 1973. Visual requirements and reduced fenestration in offices: a study of window shape. *Building Science*, 8: 311-320.
- Kelley, K. L., & Lee, S. D. (2014). Influence of window-to-wall ratios on daylight performance in classrooms. *Architectural Science Review*, 57(3), 203-213. <https://doi.org/10.1080/00038628.2013.878712>
- Khatib, T., & Al-Saadi, S. (2022). "The Role of Building Orientation and Window Size on Daylight Performance: A Case Study in a Hot-Arid Climate." *Journal of Building Performance*, 13(1), 17-28.
- Kim, G., & Kim, J. T. (2010). Healthy-daylighting design for the living environment in apartments in Korea. *Building and Environment*, 45, 287-294.
- Kim, G., Lim, H. S., Lim, T. S., Schaefer, L., & Kim, J. T. (2012). Comparative advantage of an exterior shading device in thermal performance for residential buildings. *Energy and Buildings*, 46, 105-111.
- Kim, J. J. (2010). Sustainable building strategies: Incorporating energy-efficient lighting systems. *Energy and Buildings*, 42(8), 1335–1345. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.02.007>
- Kim, S., & Chung, S. (2011). Daylighting simulation as an architectural design process in museums installed with toplights. *Building and Environment*, 46, 210-222.
- Koenigsberger, O. H., et al. (1974). *Manual of Tropical Housing and Building*. Longman. Londres, Royaume-Uni.
- Kollmann, N., & Schulz, C. (Eds.). (2006). *Lighting design: principles, implementation, case studies*. Berlin: Birkhauser. p. 16
- Kouider T. (1991), « A study of thermal indoor environment in selected new housing in the hot dry climatic regions of Algeria », Master of Philosophy, Oxford Polytechnic, Department of Architecture, Post-Graduate Research school, , p192
- 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>
- Kristensen, P. K. (1991). Efficient use of daylight in commercial buildings. *Right Light I Proceedings*, Stockholm (Sweden), pp. 29–35. Disponible sur www.iaeel.org.
- Lam, W. M. C. (2000). *Sunlighting as Form giver for Architecture*. Hoboken, NJ: Wiley

- Laouadi, A., & Atif, M. R. (2004). Performance analysis of daylight-linked automatic lighting control systems in private offices. *Lighting Research & Technology*, 36(3), 253-274.
- Larson, G. W., & Shakespeare, R. A. (1998). *Rendering with Radiance: The Art and Science of Lighting Visualization*. Morgan Kaufmann. San Francisco, CA.
- Lau, A., Gou, Z., & Li, Z. (2010). Indoor environmental quality in urban green buildings. *Sustainable Cities and Society*, 1(3), 160–167.
- Lawson, B. (2003). *Understanding the environment built* (2e éd.). Oxford: Architectural Press.
- Le Corbusier. (1977). *Vers une architecture* (1re éd.). Paris: Arthaud.
- Lechner, N. (2014). *Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects* (4th ed.). Wiley.
- Lechner, N. (2015) *Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects*. 4th Edition, , New Jersey, John Wiley & Sons, Inc.
- Lee, E. S., & Selkowitz, S. E. (2006). The design and evaluation of integrated envelope and lighting control strategies for commercial buildings. *Solar Energy*, 81(1), 90-103.
- Leslie, R. P. (2003). Capturing the daylight dividend in buildings: Why and how? *Building and Environment*, 38(2), 381-385.
- Leysens, E. (2012). *Breeam, Leed et HQE à la conquête du monde*, LE MONITEUR.Fr.
- Li, D. H. W., & Lam, T. N. T. (2001). Evaluation of lighting performance in office buildings with daylighting controls. *Energy and Buildings*, 33(9), 793-803. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00066-7](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00066-7)
- Li, D. H. W., & Tsang, E. K. W. (2008). An analysis of daylighting performance for office buildings in Hong Kong. *Building and Environment*, 43(9), 1446-1458.
- Li, D. H., Wong, S. L., Tsang, C. L., & Cheung, K. L. (2006). Impact of lighting quality on human productivity. *Lighting Research & Technology*, 38(4), 300-315.
- Li, D. H. and Lam, J. C. (2000) 'Measurements of solar radiation and illuminance on vertical surfaces and daylighting implications', *Renewable Energy*, 20(4), pp. 389–404.
- Li, X., Chen, Q., & Zhang, Y. (2021). Advanced daylighting systems for sustainable urban buildings. *Energy Procedia*, 156, 312–319.
- Lighting Research Center (2003) *Daylighting technology and benefits*. Retrieved from <https://www.lrc.rpi.edu>
- Lim, H. S., & Kim, G. (2010). Predicting performance of shading devices for healthy visual environment. *Indoor and Built Environment*, p 19, 486-496.
- Lim, Y.-K., & Kim, J.-H. (2012). Simulation-based evaluation of daylight performance in high-rise office buildings. *Energy and Buildings*, 46, 78–85.
- Lindh, M. (2012). Windows and human comfort: An interaction of design and psychology. *Architectural Science Review*, 55(1), 17–25.
- Littlefair, P. (2011). *Layout planning for daylight and sunlight: A guide to good practice* (1re éd.). London: BRE Press.
- Loe, D. L., & Rowlands, E. (1996). The art and science of lighting: A strategy for lighting design. *Lighting Research & Technology*, 28(4), 153-164.

- Lu, Y., Wolf, T., & Kang, J. (2016). Optimization of facade design based on the impact of interior obstructions to daylighting. *Building Simulation*. Springer.
- Mahdavi, A., & Berberidou-Kallivoka, A. (1999). Mean radiant temperature in the evaluation of the luminous environment. *Building and Environment*, 34(3), 383-392.
- Mahdavi, A., & Berberidou-Kallivoka, A. (1999). Effects of luminous and thermal properties on the energy efficiency of buildings. *Energy and Buildings*, 29(1), 1-10.
- Mahmoud, S., & Hammad, A. (2020). "Assessment of Daylighting Performance in Residential Buildings: The Effect of Window Orientation and Size." *Energy Reports*, 6, 112-120.
- Mardaljevic, J. (2000). Simulation of annual daylighting profiles for internal illuminance. *Lighting Research & Technology*, 32(3), 111-118.
- Mardaljevic, J. (2006). Examples of climate-based daylight modelling in practice. *Building Research & Information*, 34(2), 159-172. <https://doi.org/10.1080/09613210600589917>
- Mardaljevic, J. (2008). Climate-based daylight analysis (CIE Reportership R3-26 final report). De Montfort University.
- Mardaljevic, J. (2012). 'Daylight, indoor illumination and human behavior.' *Springer Science+ Business Media*, LLC, pp. 69–111.
- Mardaljevic, J. (2013). Rethinking daylighting and compliance. *Journal of Sustainable Design and Applied Research*, 1(3).
- Mardaljevic, J. 2000. Daylight Simulation: Validation, Sky Models and Daylight Coefficients. PhD thesis, De Montfort University, Leicester, UK.
- Mardaljevic, J. 2001. The BRE-IDMP dataset: a new benchmark for the validation of illuminance prediction techniques. *Lighting Research and Technology*, 33(2):117–134.
- Mardaljevic, J. 2005. Sky model blends for predicting internal illuminances: A comparison against measured sky luminance distributions. *Lux Europa*, Berlin, pages 249–253.
- Mardaljevic, J. and Nabil, A. (2005). The useful daylight illuminance paradigm: A replacement for daylight factors. *Lux Europa*, Berlin, pages 169–174
- Mardaljevic, J., Andersen, M., Roy, N., and Christoffersen, J. 2011. Daylighting metrics for residential buildings. CIE 27th Session, Sun City, South Africa.
- Mardaljevic, J., et al. (2011). Daylighting simulation: Recent advances and future challenges. *Lighting Research and Technology*, 43(2), 123–142.
- Mardaljevic, J., Heschong, L., & Lee, E. (2009). Daylight metrics and energy savings. *Lighting Research & Technology*, 41(3), 261-283.
- Mardaljevic, J., Reinhart, C. F., & Rogers, Z. (2006). Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. *Leukos*, 3(1), 7-31.
- Markus, T. A. (1967). *The Function of Windows*. London: Barrie & Rockliff.
- Marmot, C., & Reardon, T. (2011). *National Building Specification* (1re éd.). London: NBS.
- Marmuse, C. (1989). Performance. In *Encyclopédie de la gestion* (pp. 2194-2207). Paris: Edition Economica.
- Mazouz, S., (2006) éléments de conception architecturale, Office des publications Universitaires, 07
- Mazria E., Ball R. et Bazan P., (2005) « le guide de la maison solaire », Edition: parenthèses, France, , p340.

- McHugh, J. A., & Kelly, G. E. (2004). The impact of window size on daylighting performance. *Lighting Research & Technology*, 36(2), 119-132.
<https://doi.org/10.1191/1365782804li104oa>
- Meek, C., & Van Den Wymelenberg, K. (2014). *Daylighting design and assessment* (1re éd.). London: Routledge.pl
- MELEKI, B. (2012). Natural Daylighting in Iranian Hot Arid Region. *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering*, 11, 191-196.
- Météoblue (2017). Climat et conditions météorologiques à Batna. www.meteoblue.com
- Mies Van Der Rohe. (1929). *Barcelona Pavilion* (1re éd.). Berlin:Verlag für Architektur.
- Ministère de l'Énergie et des Mines, Algérie (2021). Bilan Énergétique National 2021. Direction des statistiques et de la prospective. Disponible en ligne: https://www.energy.gov.dz/Media/galerie/bilan_energetique_2021_63df78f2b775e.pdf
- Mischler, G. (2004). Lighting Design and simulation knowledgebase: lighting design glossary. Retrieved from <http://www.schorsch.com/en/kbase/glossary/skies.html>
- Miyazaki, T. (2005). Innovative Building Skins and Daylighting Integration. *Journal of Building Performance*, 3(1), 89–102.
- Miyazaki, T., Akisawa, A. and Kashiwagi, T. (2005). “Energy Savings of Office Buildings by the Use of Semi-transparent Solar Cells for Windows”. *Renewable Energy*. Vol. 30 pp. (281-304
- Mohammed Nadhim Majeed, Faris Ali Mustafa, et Husein Ali Husein (2019) "Impact of Building Typology on Daylight Optimization Using Building Information Modeling: Apartments in Erbil City as a Case Study" publié le 24 Decembre 24, , dans the Journal of Daylighting.
- Monnier, G. (1991). *L'architecture du XXe siècle* (1re éd.). Paris: Presses Universitaires de France.
- Montenegro, F., García, A., & Peña, J. (2019). Daylighting strategies in urban multifamily buildings. *Renewable Energy*, 135, 1217–1225.
- Moon, P. (1942). *The scientific basis of illumination engineering*. New York: Dover Publications.
- Morofsky Ed., (1991), « Fenêtres performantes-avantages potentiels des fenêtres performantes dans les bâtiments de travaux publics », Mémoire d'étude, Service d'Architecture et de Génie - Direction de la Technologie -R.D et D, Ottawa, Ontario, Canada, p142
- Mucchielli, R. (1993). *Le questionnaire dans l'enquête psychosociale* (1re éd.). Paris: ESF.
- Nabil, A., & Mardaljevic, J. (2001). Useful daylight illuminance ranges. *Lighting Research & Technology*, 33(1), 19-34.
- Nabil, A., & Mardaljevic, J. (2005). Useful daylight illuminances: A new paradigm for assessing daylight in buildings. *Lighting Research and Technology*, 37(1), 41-59.
- Nabil, A., & Mardaljevic, J. (2006). Useful daylight illuminance: A new paradigm for assessing daylight in buildings. *Lighting Research & Technology*, 37(1), 41-59.
- Nadji, I. (2020). Contribution à l'étude de l'éclairage naturel dans l'habitat collectif en Algérie: Cas de la cité 865 logements Soumaa.Blida Thèse de doctorat sciences,

- Université des Sciences et de la Technologie Mohamed Boudiaf USTOMB.Oran, Algérie.
- Naseri, O. (2014). Reconsideration of Opening Design in the Integration of Natural Light into Interior Space
 - Nasr, A. M. (2014). Impact of daylighting on visual performance and energy consumption in educational buildings. *Journal of Green Building*, 9(4), 153-169.
 - NBN L 13-002:(1972) · Eclairage naturel des bâtiments - Prédétermination de l'éclairement naturel pour des conditions de ciel couvert (méthode graphique approchée).
 - Ne' Eman, E. and Hopkinson, R. G. (1970) Critical minimum acceptable window size: A study of window design and provision of a view. *Lighting Research and Technology* 2: 17 – 27
 - Ne'eman, E. (1974). Performance of daylighting systems: A conceptual review. *Lighting Research and Technology*, 6(1), 5-14.
 - Neufert, E. (1983). *Les Éléments de Projets de Construction*. 6e édition française, Dunod, Bordas, Paris, pp. 278-302.
 - Neufert, E. (2002). "Architects' Data". Wiley-Blackwell; 3rd edition
 - Okogbue, E. C., Adedokun, J. A., & Holmgren, B. (2009). Review: hourly and daily clearness index and diffuse fraction at a tropical station, Ile-Ife, Nigeria. *International Journal of Climatology*, 29, 1035-1047.
 - Olgyay Victor et Olgyay Aladar. (1963) *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural*. The book Examines diverse solutions to the problems of shelter and provides insights into the effects of climate on human environment, p.27.
 - Osterhaus, W. K. E. (2002). Discomfort glare assessment and prevention for daylight applications in office environments. *Solar Energy*, 73(2), 113-119.
 - Ott, J. N. (1973). *Health and light* (1re éd.). New York: Devin-Adair Company.
 - Ould Henia, A. (2003). *Choix climatique et construction: Zone aride et semi-aride, la maison à cour de Bou Saada* (Thèse de doctorat, École Polytechnique Fédérale de Lausanne).
 - Pechacek, C. S., Andersen, M., & Lockley, S. W. (2008). Preliminary method for prospective analysis of the circadian efficacy of (day)light with applications to healthcare architecture. *LEUKOS*, 5(1), 1-26.
 - Pérez, M. (1993). *Daylighting in architectural design*. Madrid: Tecnos.
 - Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394–398.
 - Phillips, D. (2000). *Lighting modern buildings*. Oxford: Architectural press.
 - Phillips, D. (2004). *Daylighting: natural light in architecture*. Oxford: Architectural press.
 - Pile, J. F. (1995). *Interior design*. (4th ed.). London: Architectural Press
 - Poldma, T. (2009). *Designing interior environments: The role of daylighting and spatial configuration*. Montreal: McGill-Queen's University Press.
 - Poldma, T., (2009). Learning the dynamic processes of color and light in interior design. 34(2).
 - Pousset, J. (2010). La lumière naturelle dans l'architecture durable. *Le Moniteur*, 564, 34-38.

- Ravereau, A. (1981). Le M'Zab ; une leçon d'architecture. Paris: Éditions de l'Imprimerie nationale. p 177
- Rea, M. S. (1981). Visual performance with realistic methods of changing contrast. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 10(2), 164–177.
- Rea, M. S. (1984). Window blind occlusion: A pilot study. *Building and Environment*, 19(2), 133–137.
- Rea, M. S. (1986). Toward a model of visual performance: Foundations and data. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 15(1), 41–58.
- Rea, M. S. (2000). The IESNA lighting handbook (9e éd.). New York: Illuminating Engineering Society of North America.
- Rea, M. S. (2012). The Trotter-Paterson Lecture 2012: What Ever Happened to Visual Performance?. *Lighting Research and Technology*.
- Rea, M. S., & Ouellette, M. J. (1988). Visual performance using reaction times. *Lighting Research and Technology*, 20(3), 139–153.
- Rea, M. S., & Ouellette, M. J. (1991). Relative visual performance: A basis for application. *Lighting Research and Technology*, 23(3), 135–144.
- Rea, M. S., Ouellette, M. J., and Kennedy, M. E. (1985). Lighting and Task Parameters Affecting Posture, Performance and Subjective Ratings. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 15(1), 231-238.
- 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. Elsevier.
- Reinhart, C. F., Mardaljevic, J., & Rogers, Z. (2006). Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. *LEUKOS*, 3(1), 7-31.
- République Algérienne. (2002) Codes du foncier et de l'urbanisme: recueil de textes législatifs et réglementaires de la République Algérienne. BERTI Editions. 2001-2002.
- Rivard, H. (2014). The importance of daylighting in sustainable architecture. *Architectural Science Review*, 57(1), 34-41.
- Rosemann, A., & Kaase, H. (2005). Solar control and daylighting in buildings. *Lighting Research & Technology*, 37(1), 55-66.
- Rouag Saffidine Dj, 2001 La lumière ; un simple facteur environnemental ou une quatrième dimension du projet. Actes du séminaire international: Enseignement et pratique de l'architecture, quelles perspectives ? EPAU Alger.
- Rouag Saffidine, D. (1987). An investigation of solar shading devices in Algeria. University of Bath, School of Architecture and Building Engineering.
- Rouag, D. (2001), « *Sunlight problems within new primary school classrooms in Constantine* ». Thèse de Doctorat. Constantine: Université Mentouri de Constantine.
- Rouag.Saffidine, Dj. (2008), Les ambiances environnementales: vers des caractérisations plus tangibles. Actes du BASC, université de Biskra.
- Rouag-Saffidine, D., Benharkat, S. (2006), « Learning more from existing indoors: An investigation of roof lighting within lecture rooms », in: 23rd *Int. Conf. Passive. Low Energy Archit.* PLEA, Geneva, Switzerland, 2006: pp. 1797–1802.

- Roulet, C.-A., & Scartezzini, J.-L. (1996). Analyse et optimisation de la lumière naturelle dans les bâtiments à haute performance énergétique. *Revue Française de Génie Civil*, 5(2), 45-53.
- Rukayyatu Bashiru Tukur (2013) Harnessing daylight potentials as a tool for visual and thermal comfort in residential buildings Thesis submitted to the University of Nottingham, for the degree of Doctor of Philosophy,
- Rusak, B., et al. (1996). The impact of daylight exposure on circadian rhythms and health. *Journal of Biological Rhythms*, 11(4), 326–335.
- Saffidine-Rouag, D. (2003). The merits of observational methods to assess poor environmental learning conditions. *Proceedings of the Third Conference of the EPUK (Environmental Psychology in the UK) Network*, 23–25/06/2003, Aberdeen, pp. 240–249.
- Salvador, J. (1999). « Méthodes de recherche en sciences socio humaines ». Exploration critique des techniques. Paris, Presses Universitaires de France, coll. Le Sociologue, 1999, <https://id.erudit.org/iderudit/007086ar> <https://doi.org/10.7202/007086ar>
- Santamouris, M. (1994). Energy and Climate in the Urban Built Environment. Earthscan.
- Santamouris, M., Argiriou, A., Dascalaki, E., Balaras, C. and Gaglia, A. (1994). “Energy Characteristics and Savings Potential in Office Buildings”. *Solar Energy*. Vol. 52, No. 1, pp. (59-66).
- Santamouris, M., Cartalis, C., Synnefa, A., & Kolokotsa, D. (2015). On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings -a review. *Energy and Buildings*, 98, 119-124.
- Sarvani, S., & Kontovourkis, O. (2020). Computational daylighting analysis for optimized building design. *Journal of Architectural Engineering*, 26(3), 1–12.
- Scartezzini, J.-L., & Courret, G. (2002). L'impact de la lumière naturelle sur l'efficacité énergétique des bâtiments. *Revue de l'énergie*, 537, 44-54.
- Science Learning Hub. (n.d.). Lighting design and its role in human health. New Zealand: www.sciencelearn.org.nz
- Semahi, S. and Djebri, B. (2013) ‘La conception des logements à haute performance énergétique (HPE) en Algérie-Proposition d’un outil d’aide à la conception dans les zones arides et semi-arides’, *Revue des Energies Renouvelables*, 16(3), pp. 551–568.
- Serra, R. (1998). Daylighting in urban areas. Barcelona: Blume.
- Serra, R. et H. Coch. (2005). *Arquitectura y energia natural* (1 éd.). Ciudad de Mexico: Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V.
- Sherif, A., Sabry, H., & Khalil, E. (2010). Advanced lighting control systems for energy efficiency. *Lighting Research and Technology*, 42(4), 325–334.
- Sorensen, R. S., & Brunnstrom, C. (1995). The role of daylight in reducing energy consumption in buildings. *Energy and Buildings*, 22(1), 1–7.
- Staib, G., Schittich, C., Balkow, D., Sobek, W., Kutterer, M., & Schuler, M. (2001). *Construire en verre*. Presses polytechniques et universitaires romandes, p 31
- Stamps, A. E., & Krishnan, V. V. (2006). Environmental preferences, personalization, and privacy in enclosed spaces. *Environment and Behavior*, 38(2), 156–183.

- Stierlin, H. (1979). Architecture de l'Islam de l'Atlantique au Gange. Office du livre de Fribourg 48
- Stierlin, H. (2009). Islam de Bagdad à Cordoue Des origines aux IIIe siècle.
- Sun Earth Tools. (n.d.). Diagramme solaire (Batna). <https://www.sunearthtools.com>
- Suriansyah, A. (2018). The Effect of Building Orientation on Daylighting Performance in Tropical Regions. *Journal of Sustainable Architecture*, 6(2), 45–60.
- Syed Husin, & Harith, H. (2012). Design strategies for tropical housing. Kuala Lumpur: Universiti Teknologi Malaysia Press. p197
- Syed Husin, S. N. & HanurHarith, Z. Y., (2012) "The Performance of Daylight through Various Type of Fenestration Residential Building". ASEAN Conference of Environment - Behavior Studies. 15-17 June 2011. Bandung. Indonesia. (Vol.36, 196-203)
- Sziget, F., & Davis, G. (2005). Performance-based building design: Applications and implications. *International Journal of Facilities Management*, 4(1), 15–32.
- Szokolay, S. V. (2014). Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design (3e éd.). Routledge. Abingdon, Royaume-Uni.
- Talbot, J. F., & Kaplan, S. (1991). Perspectives on wilderness: Re-examining the value of extended wilderness experiences. *Journal of Environmental Psychology*, 11(3), 177–188.
- Taleb, H. M. & SHARPLES, S. (2011). Developing sustainable residential buildings in Saudi Arabia: A case study. *Applied Energy*, 88, 383-391.
- Taleb, H. M. (2011). Towards sustainable residential buildings in the kingdom of Saudi Arabia. PhD Thesis, University of Sheffield.
- Tang, Y., & Brown, D. E. (2006). The use of fuzzy cognitive maps for knowledge representation and reasoning in decision support systems. *Decision Support Systems*, 42(1), 214–227
- Tayeb, K., & Zemmouri, N. (2018). Modélisation de l'éclairage naturel: approche numérique tridimensionnelle. *Courrier du Savoir*, (26). Récupéré de <https://revues.univ-biskra.dz/index.php/cds/article/view/3937>
- Taylor, A. F., Kuo, F. E., & Sullivan, W. C. (2002). Views of nature and self-discipline: Evidence from inner-city children. *Journal of Environmental Psychology*, 22(1-2), 49–63.
- The Society of Light and Lighting [SLL]. (2009). The SLL lighting handbook. London: SLL.
- The Society of Light and Lighting [SLL]. (2014). Lighting for the built environment LG10: Daylighting - a guide for designers. Norwich: SLL.
- Tregenza, P. (1995). Mean daylight illuminance and the light pipe. *Lighting Research & Technology*, 27(1), 11-15.
- Tregenza, P., & Loe, D. (1998). The design of lighting. London: E & FN Spon.
- Tregenza, P., & Wilson, M. (2011). Daylighting: Architecture and Lighting Design.
- Tsangrassoulis, A., & Santamouris, M. (2004). A new algorithm for reducing lighting consumption using daylighting control systems. *Solar Energy*, 76(6), 523-530.

-
- Turcotte.P « Comportement en milieu organisationnel » Consul 2000, Editeur Sherbrooke.1997, 658 p 22
 - Twarowski, M., (1967). Soleil et architecture. Traduit du polonais par Gilberte Crépy-Szymanska et Dunod.
 - ULRICH, R.S. 1983. Aesthetic and affective response to natural environment. Behavior and the Natural Environment, I. Altman and J.F. Wohlwill (Ed) New York, Plenum Press.
 - Van Den Wymelenberg, K. (2014). Daylighting: Design and analysis (1re éd.). London: Routledge.
 - Van Den Wymelenberg, K., Inanici, M., & Johnson, P. (2010). The effect of luminance distribution patterns on occupant preference in a daylit office environment. Lighting Research & Technology, 42(1), 33-50.
 - Vaughn, M. (2008). Principles of lighting design. New York: John Wiley & Sons.p 3-30
 - Vázquez, F., & Marín, J. (2023). "The Interplay between Window Size, Orientation, and Energy Consumption in Residential Buildings." *Renewable Energy*, 193, 119-130.
 - Vázquez, F., & Marín, J. (2023). Innovative daylighting systems for Mediterranean climates. *Renewable Energy Reviews*, 65, 1105–1116.
 - Veitch, J. A., & Newsham, G. R. (2000). Preferred luminous conditions in open-plan offices: Research and practice recommendations. *Lighting Research & Technology*, 32(4), 199-212. Cuttle, C. (2003). *Lighting by Design*. Architectural Press.
 - VON MIES, P (1990) De la forme au lieu, presses polytechniques universitaires romandes, 2e édition, , p15.
 - Wang, L., & Geng, Y. (2014). Research on daylighting and energy-saving design of buildings in urban areas. *Journal of Building Performance*, 5(1), 32-38.
 - Wang, T., & Hu, J. (2021). "Daylight Exposure and its Effects on Well-Being in Residential Settings: The Role of Window Design." *Journal of Environmental Psychology*, 77, 101678.
 - Ward, G. J. (1994). The RADIANCE lighting simulation and rendering system (1re éd.). San Francisco: SIGGRAPH.
 - Wells, M. M., & Evans, G. W. (2003). The physical work environment and work-related stress: Mechanisms and consequences. In J. C. Quick & L. E. Tetrick (Eds.), *Handbook of occupational health psychology* (pp. 417-432). Washington, DC: American Psychological Association.
 - Wienold, J., & Christoffersen, J. (2006). Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras. *Energy and Buildings*, 38(7), 743-757.
 - Wilson, M. P., & Brotas, L. (2001). Daylight in urban housing: A guide to design strategies. Lisbon: IST Press. p 27-32, 13 15
 - Xu, Q., & Liu, Y. (2022). Impact of window orientation on daylighting in multi-story buildings. *Building and Environment*, 210, 108742.
 - Xu, Q., & Liu, Y. (2022)."Comparative Study of Different Window Systems and Their Impact on Daylight Performance." *Building Simulation*, 15(2), 303-315.
 - 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>
- Yamani, L (1994) cour de construction II, OPU, , page 284.
 - 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>
 - Zemmouri, N., & Schiller, M. E. (2004). Application of Fuzzy Logic in Interior Daylight Estimation. Récupéré de : https://www.researchgate.net/publication/253936294_Application_of_Fuzzy_Logic_in_Interior_Daylight_Estimation

Annexes

Annexe 01
Questionnaire

Questionnaire

N°....

Cette étude a pour objectif d'améliorer les conditions d'éclairage naturel à l'intérieur des appartements AADL de la cité Bouzourane, située dans la ville de Batna, dans le cadre d'une recherche scientifique. Merci de nous consacrer quelques minutes de votre temps pour répondre aux questions.

I/ Situation générale de l'interviewé

- 1) Sexe : ☐ Masculin ☐ Féminin
- 2) Âge : ☐
- 3) Taille de la famille : ☐
- 4) Occupation : ☐ Étudiant ☐ Fonctionnaire
☐ Retraité ☐ Sans emploi

II/ Informations sur le logement

- 5) Durée d'occupation : ☐ Moins de 5 ans
☐ Entre 5 et 10 ans ☐ Plus de 10 ans
- 6) Niveau (étage) du logement : ☐
- 7) Type du logement : ☐ F3 ☐ F4
- 8) Quels sont les espaces les plus utilisés en Été
☐ Cuisine ☐ Salon ☐ Chambre pour enfants
☐ Chambre des parents
- 9) Quels sont les espaces les plus utilisés en Hiver ?
☐ Cuisine ☐ Salon ☐ Chambre pour enfants
☐ Chambre des parents

III/ Informations sur la lumière naturelle

- 10) La quantité de l'éclairage naturel pour le déroulement des activités domestiques dans le logement est :
☐ Insuffisante ☐ Moyenne ☐ Suffisante
☐ Très suffisante
- 11) Quelle est la pièce la plus éclairée pendant le jour ?
☐ Cuisine ☐ Salon ☐ Chambre pour enfants
☐ Chambre parents
- 12) Quelle est la pièce la moins éclairée pendant le jour ?
☐ Cuisine ☐ Salon ☐ Chambre pour enfants
☐ Chambre parents
- 13) Utilisez-vous l'éclairage électrique pendant le jour pour accomplir les tâches domestiques ?
☐ Oui ☐ Non
- 14) Si la réponse est Oui, précisez pour quelles chambres :
- 15) Est-ce pour une grande période de la journée ?
☐ Oui ☐ Non

16) Durant : ☐ Toute l'année ☐ Pendant l'hiver ☐ Pendant l'été

IV/ Informations sur les fenêtres du logement

17) La surface des fenêtres est suffisante pour une bonne pénétration de la lumière naturelle ?
☐ Oui ☐ Non

18) La position de ces fenêtres dans le mur permet une bonne distribution de la lumière naturelle ? ☐ Oui ☐ Non

19) La fenêtre du salon permet la pénétration de la lumière naturelle avec une quantité :

a/ En été : ☐ Insuffisante ☐ Suffisante

☐ Plus que suffisante

b/ En hiver : ☐ Insuffisante ☐ Suffisante

☐ Plus que suffisante

20) Qu'est-ce qui influence la quantité de la lumière naturelle et sa distribution dans le salon

☐ Surface de la fenêtre ☐ Forme de la fenêtre

☐ Position de la fenêtre ☐ Couleur des murs intérieurs

☐ Niveau (étage) du logement

☐ présence d'un balcon

21) Y a-t-il un problème d'éblouissement dans les espaces ? ☐ Oui ☐ Non

22) Si Oui, quelle est la cause ?

☐ Effet du soleil ☐ Dimensions de la fenêtre

☐ Niveau (étage) du logement

☐ Autre, précisez :

V/ Vos préférences

23) Vous préférez la conception d'un futur logement avec la présence :

☐ D'une fenêtre par espace

☐ De deux fenêtres par espace

☐ Plus de deux fenêtres par espace

24) Si vous avez la possibilité d'améliorer les conditions de l'éclairage naturel dans les pièces, sur quelle partie allez-vous intervenir ?

☐ Surface de la fenêtre

☐ Forme et position de la fenêtre

☐ Rajout d'un balcon

☐ Utilisation de l'éclairage mixte

Autre, précisez :

Merci pour votre collaboration.

استبيان

رقم...:

الهدف من هذه الدراسة هو محاولة تحسين ظروف الإضاءة الطبيعية داخل الغرف في عمارات عدل' AADL بحي بوزوربان لمدينة باقة في إطار بحث علمي جامعي ؛ شكراً لكم على تخصيص بعض الوقت للإجابة على الأسئلة.

الجزء الأول: الوضع العام للمستجيب

1. الجنس: ☐ ذكر ☐ أنثى
2. العمر: ☐ :
3. حجم الأسرة: ☐ :
4. المهنة: ☐ طالب ☐ موظف حكومي ☐ متقاعد ☐ عاطل عن العمل

الجزء الثاني: معلومات عن السكن

5. مدة الإقامة: ☐ أقل من 5 سنوات ☐ بين 5 و10 سنوات ☐ أكثر من 10 سنوات
6. الطابق الذي يقع فيه السكن: ☐ :
7. نوع السكن: ☐ F3 ☐ F4 :
8. ما هي الغرف الأكثر استخداماً في الصيف؟
- ☐ المطبخ ☐ الصالون ☐ غرفة الأطفال ☐ غرفة الوالدين
9. ما هي الغرف الأكثر استخداماً في الشتاء؟
- ☐ المطبخ ☐ الصالون ☐ غرفة الأطفال ☐ غرفة الوالدين

الجزء الثالث: معلومات عن الإضاءة الطبيعية

10. كمية الإضاءة الطبيعية اللازمة لأداء الأنشطة المنزلية في السكن هي:
- ☐ غير كافية ☐ متوسطة ☐ كافية ☐ كافية جداً
11. ما هي الغرفة الأكثر إضاءة خلال النهار؟
- ☐ المطبخ ☐ الصالون ☐ غرفة الأطفال ☐ غرفة الوالدين
12. ما هي الغرفة الأقل إضاءة خلال النهار؟
- ☐ المطبخ ☐ الصالون ☐ غرفة الأطفال ☐ غرفة الوالدين
13. هل تستخدم الإضاءة الكهربائية خلال النهار لأداء المهام المنزلية؟
- ☐ نعم ☐ لا
14. إذا كانت الإجابة نعم، حدد الغرف التي تستخدم فيها الإضاءة.....:
15. هل يتم استخدام الإضاءة الكهربائية لفترة طويلة من اليوم؟ ☐ نعم ☐ لا
16. خلال: ☐ طوال العام ☐ في الشتاء ☐ في الصيف

الجزء الرابع: معلومات عن توافد السكن

17. هل مساحة التوافد كافية لدخول كمية مناسبة من الضوء الطبيعي؟

☐ نعم ☐ لا

18. هل موقع التوافد في الجدار يسمح بتوزيع جيد للضوء الطبيعي؟

☐ نعم ☐ لا

19. هل تسمح نافذة الصالون بدخول الضوء الطبيعي بكمية:

(أ) في الصيف: ☐ غير كافية ☐ كافية ☐ أكثر من كافية

(ب) في الشتاء: ☐ غير كافية ☐ كافية ☐ أكثر من كافية

20. ما هي العوامل التي تؤثر على كمية الإضاءة الطبيعية وتوزيعها في الصالون؟

☐ مساحة النافذة ☐ شكل النافذة

☐ موقع النافذة ☐ لون الجدران الداخلية ☐ الطابق الذي يقع فيه السكن

☐ وجود شرفة

21. هل هناك مشكلة في الوهج (السطوع الزائد) في الغرف؟

☐ نعم ☐ لا

22. إذا كانت الإجابة نعم، ما هي السبب؟

☐ تأثير الشمس ☐ حجم النافذة ☐ الطابق الذي يقع فيه السكن ☐ آخر، حدد:

الجزء الخامس: تفضيلاتك

23. هل تفضل تصميم السكن المستقبلي مع وجود:

☐ نافذة واحدة لكل غرفة

☐ نافذتين لكل غرفة

☐ أكثر من نافذتين لكل غرفة

24. إذا كانت لديك إمكانية تحسين ظروف الإضاءة الطبيعية في الغرف، في أي جزء ستتدخل؟

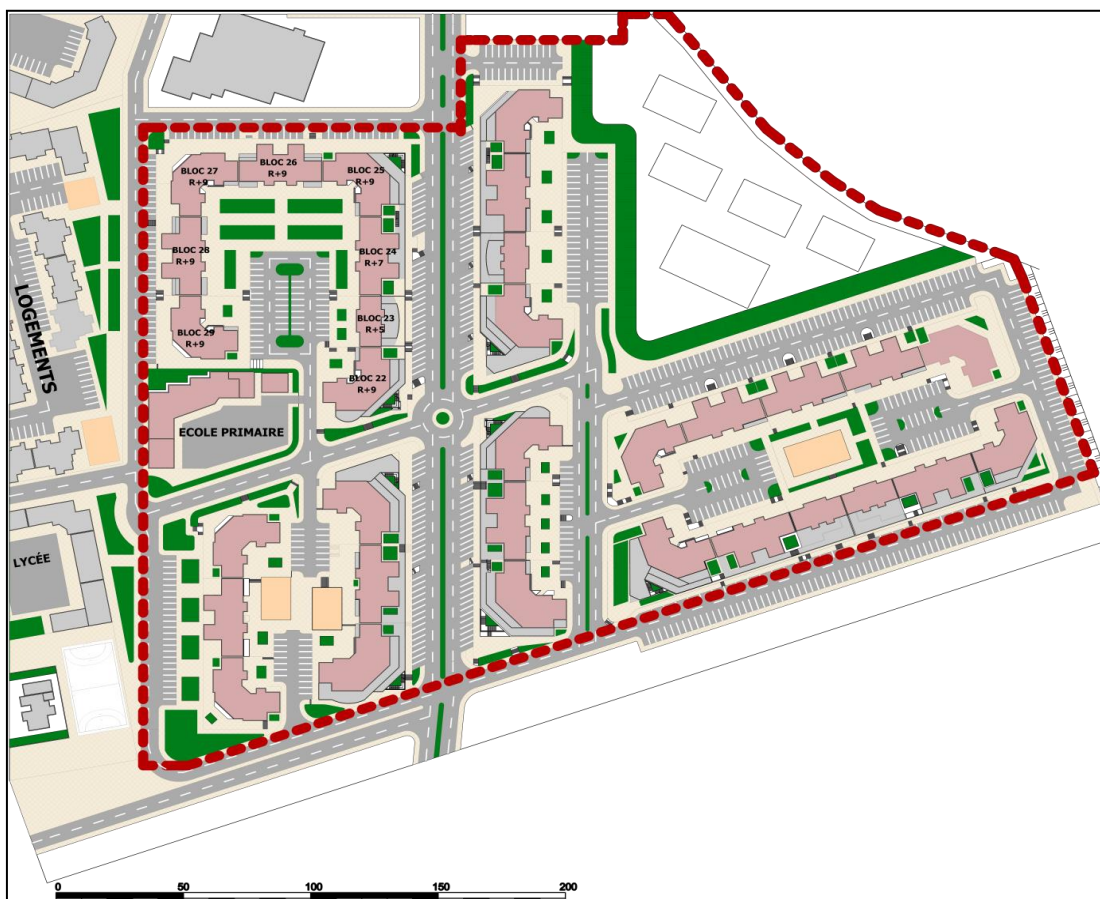
☐ مساحة النافذة ☐ شكل وموقع النافذة

☐ إضافة شرفة ☐ استخدام الإضاءة المدمجة

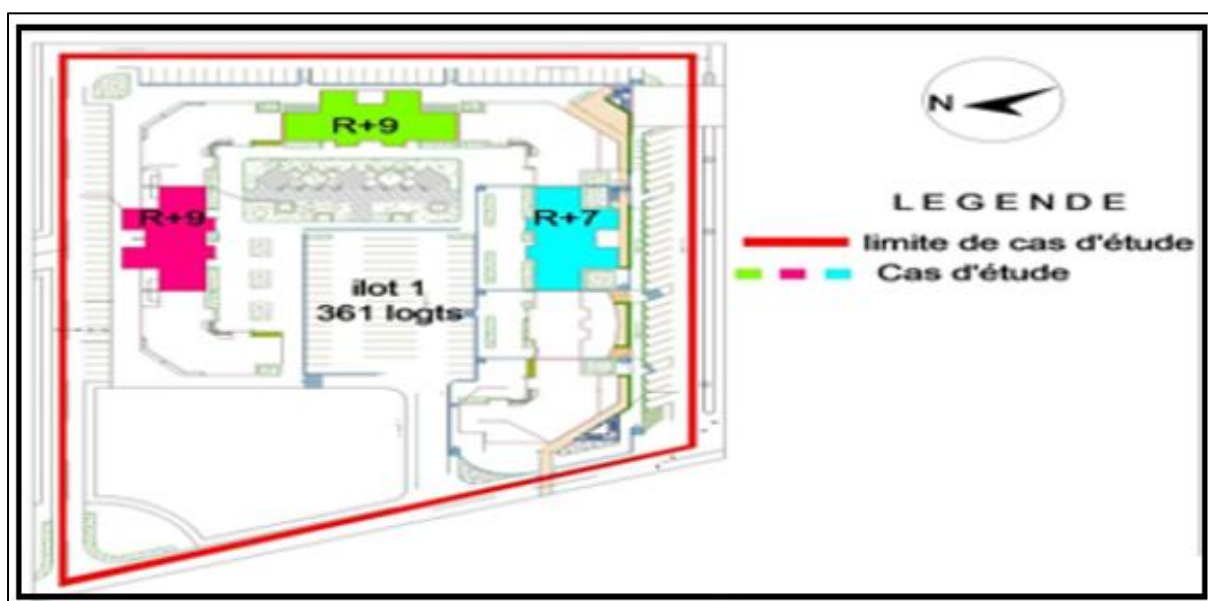
☐ آخر، حدد:

شكراً لتعاونكم.

Annexe 02
Dossier graphique du site



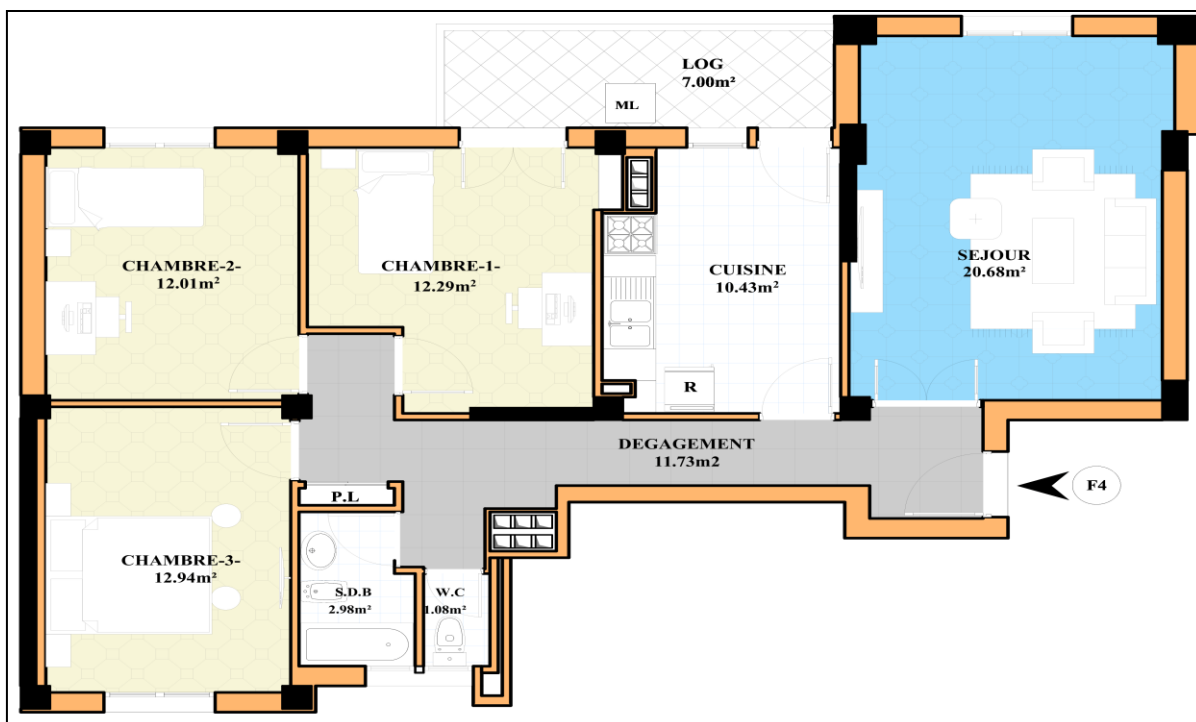
Plan de masse



Cas d'étude



Plan d'assemblage



Plan étage courant



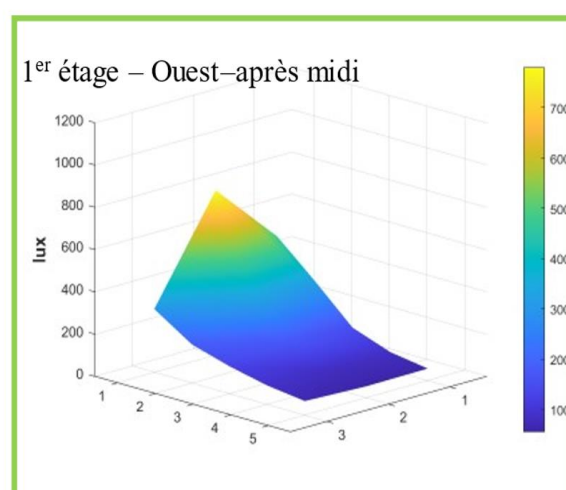
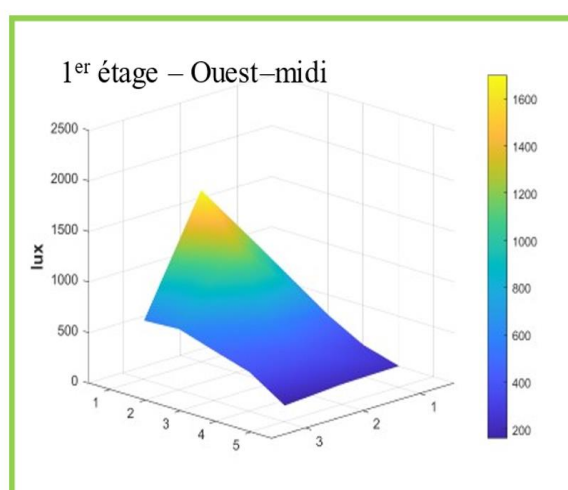
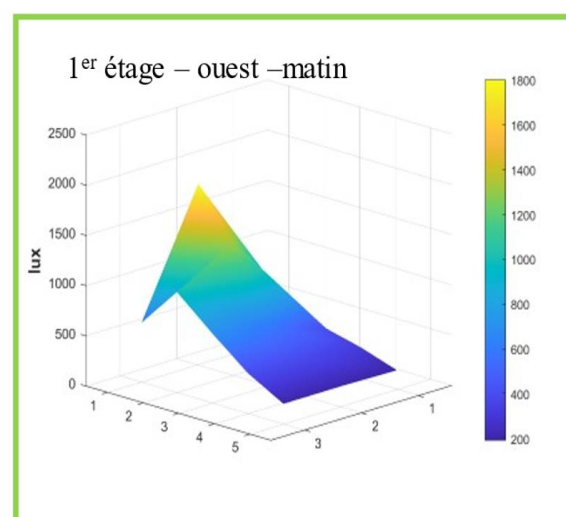
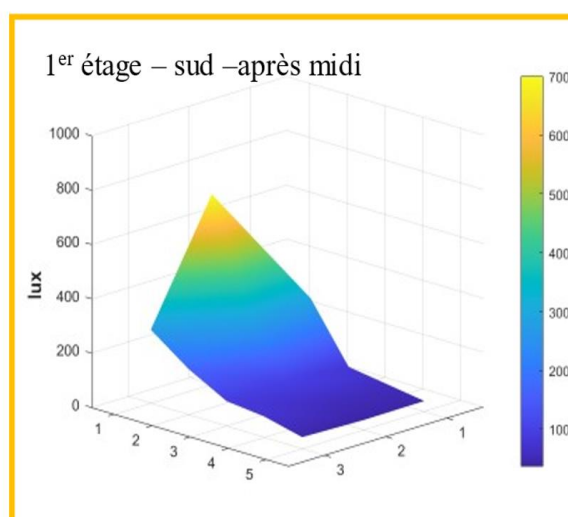
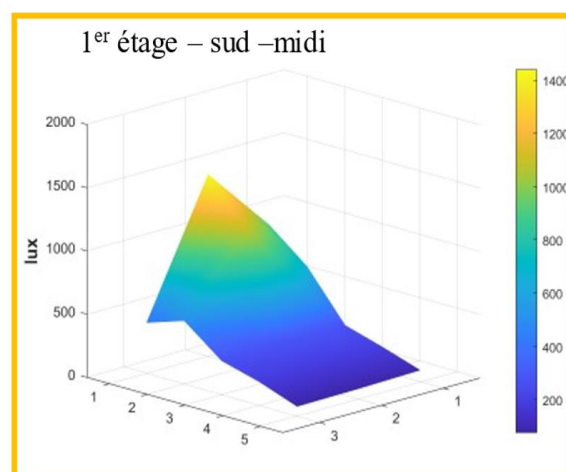
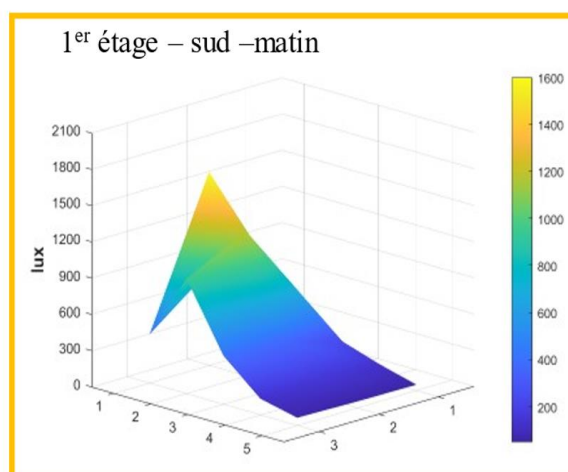
Façade principale

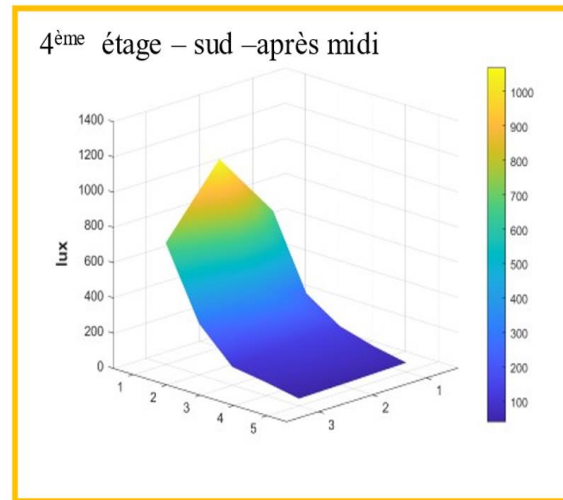
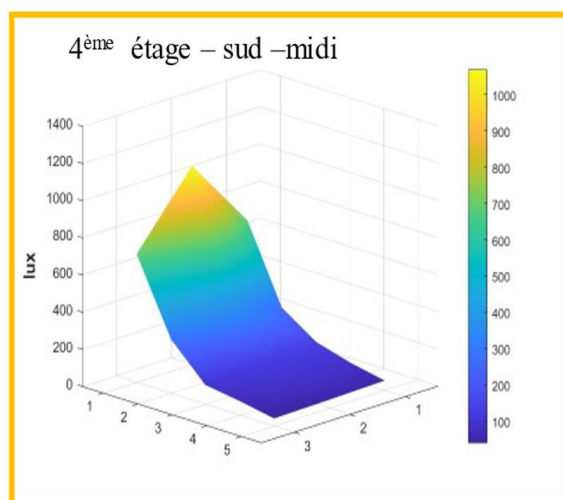
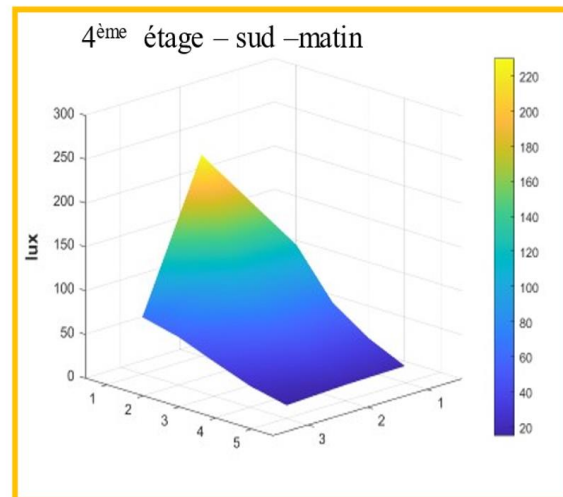
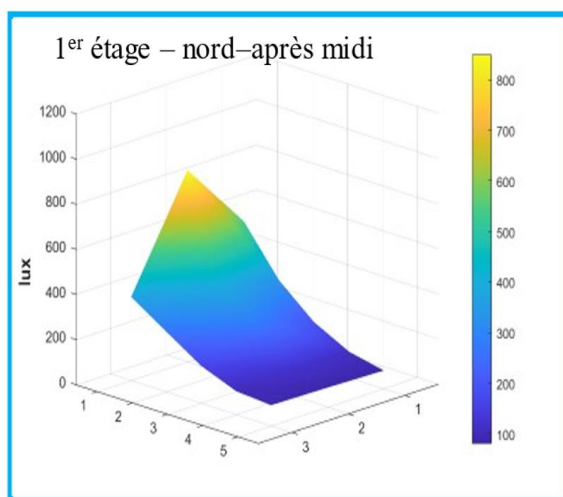
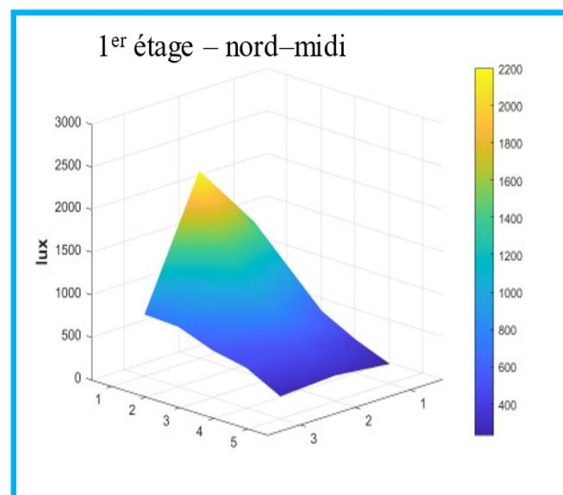
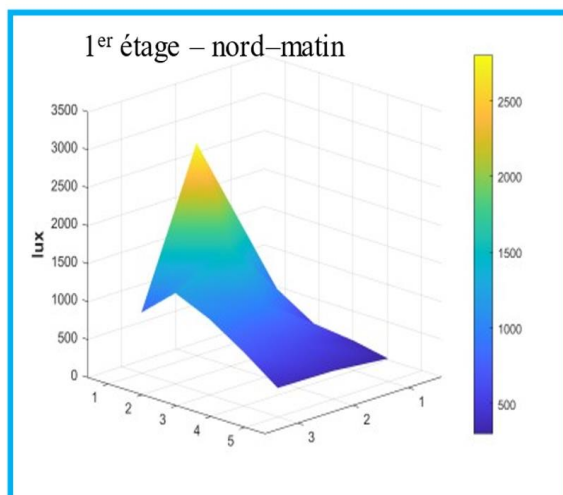


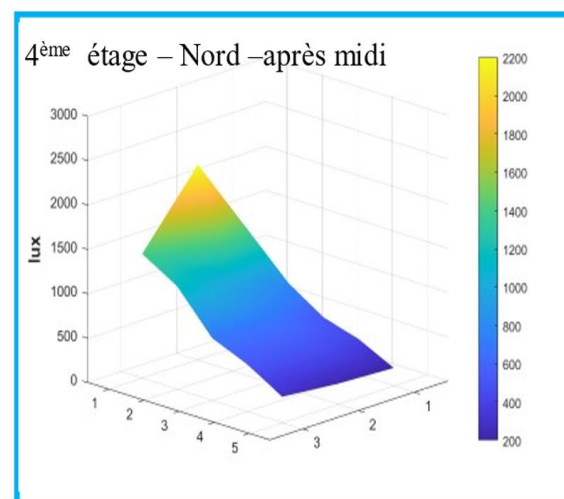
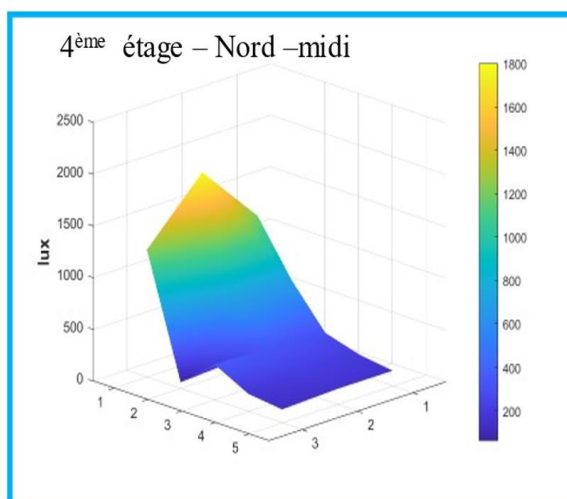
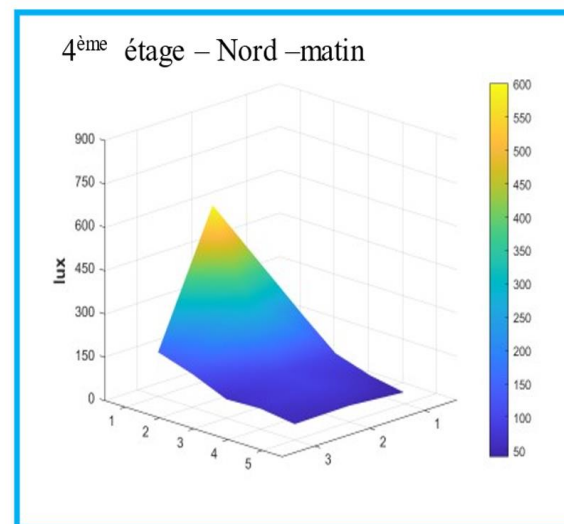
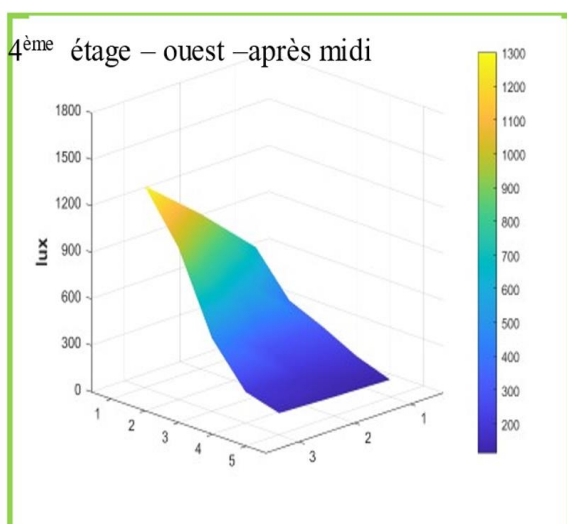
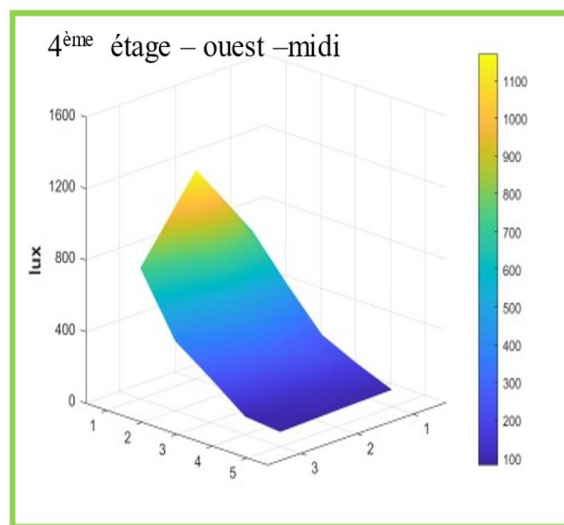
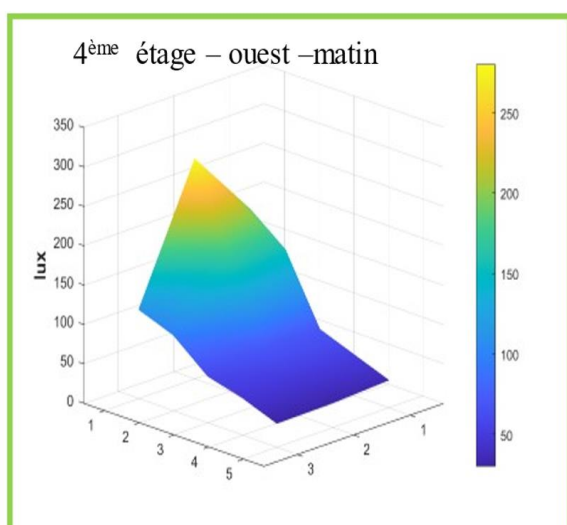
Façade postérieure

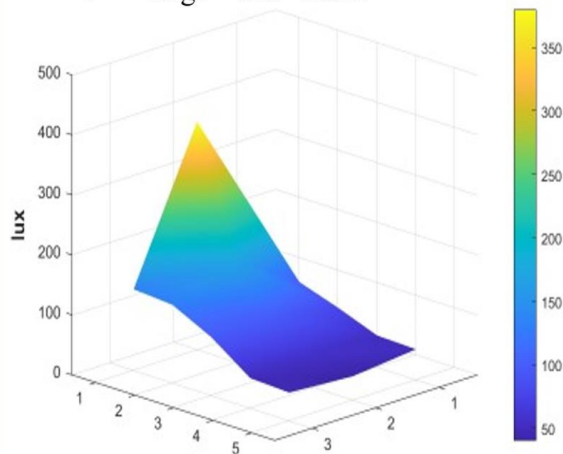
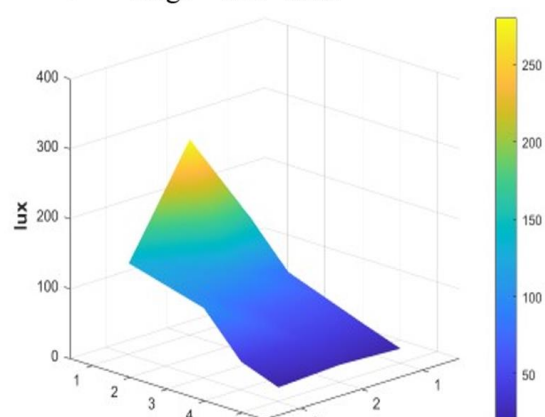
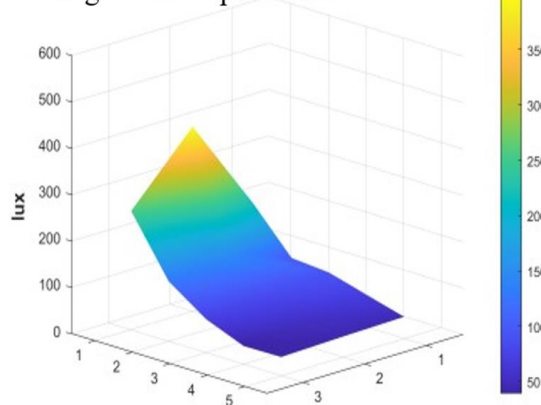
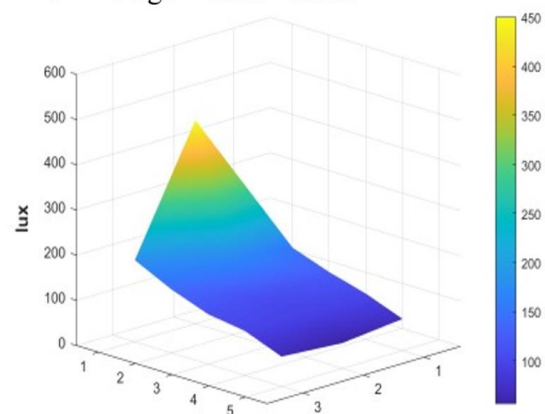
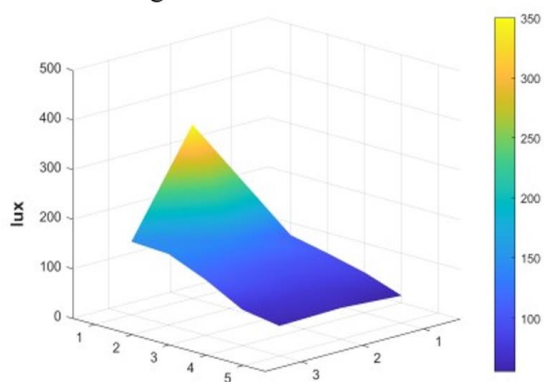
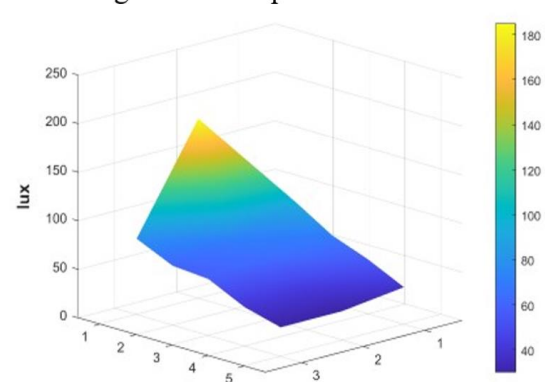
Annexe 03
Résultats des mesures in situ

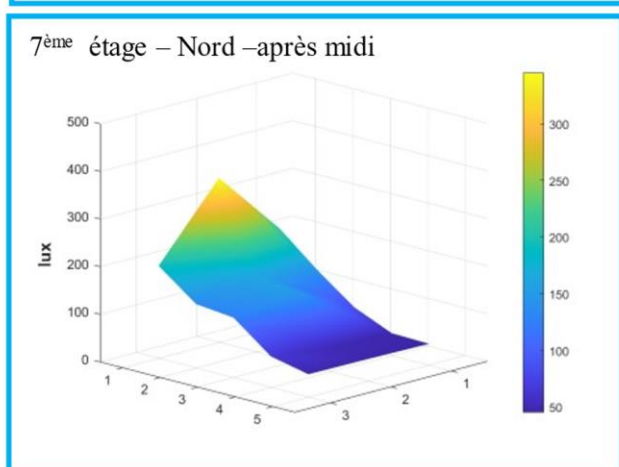
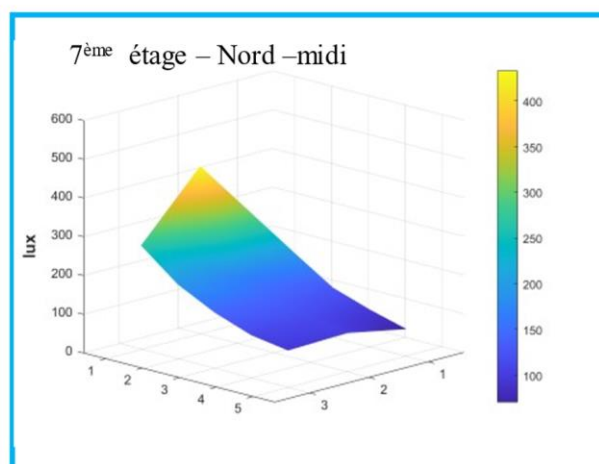
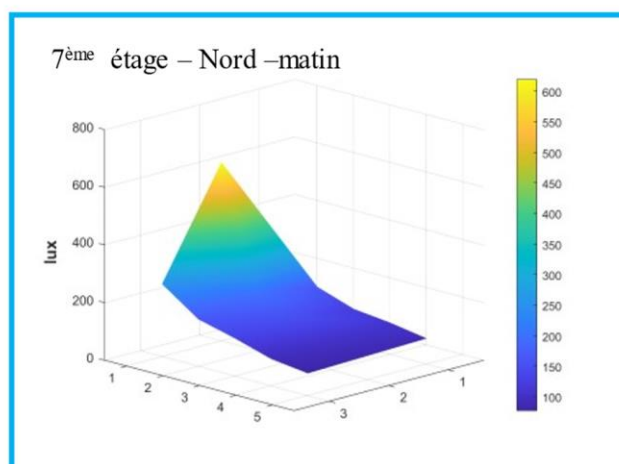
Mois de Décembre



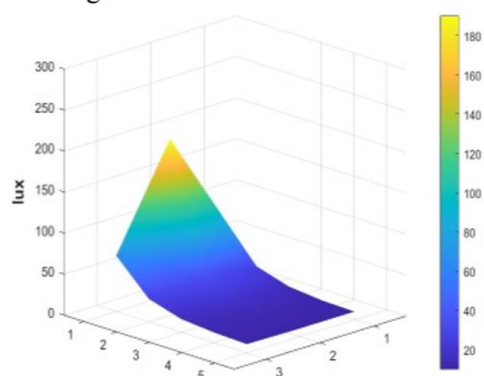
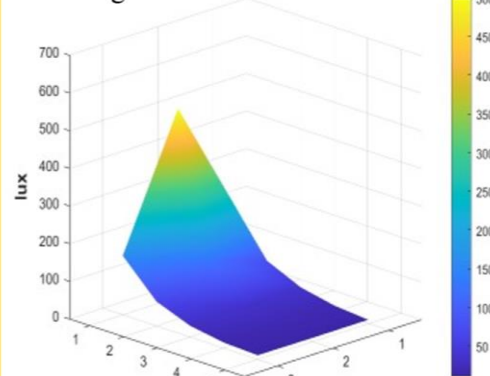
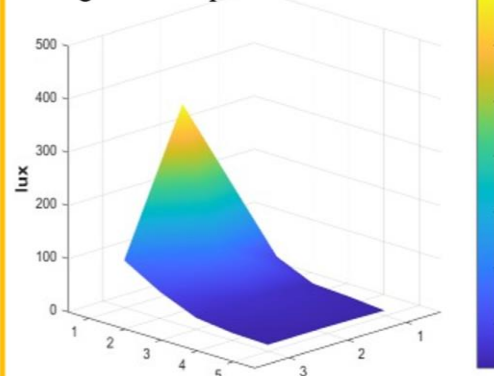
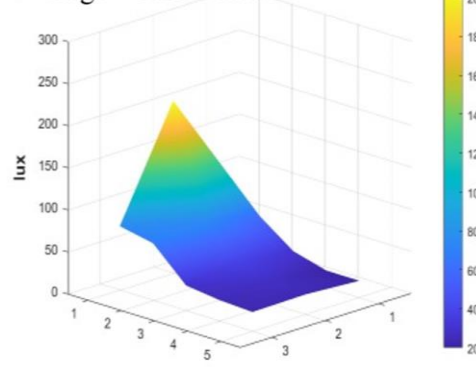
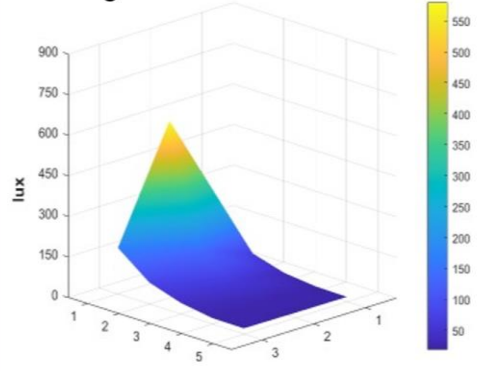
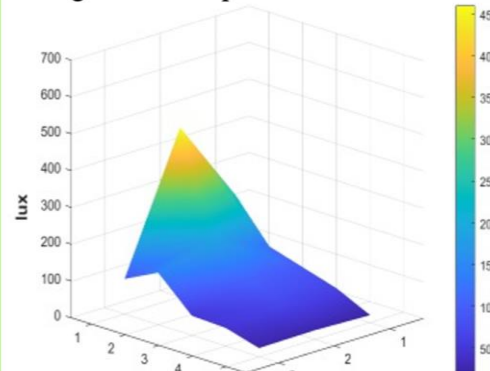


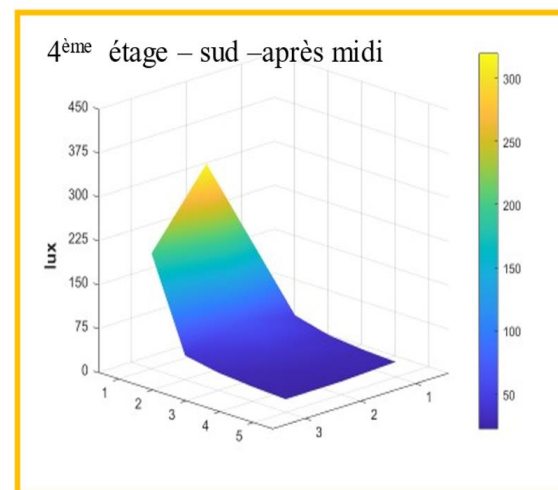
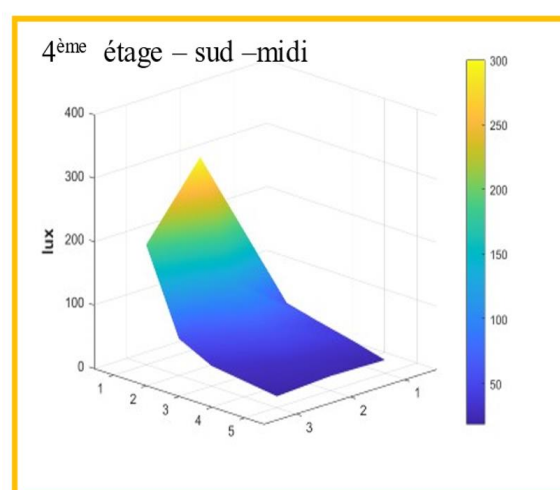
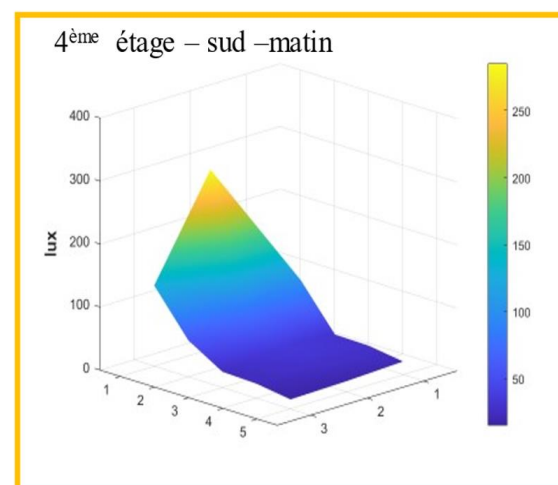
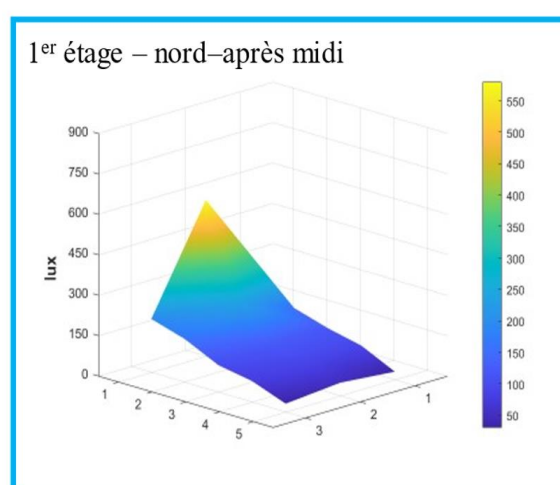
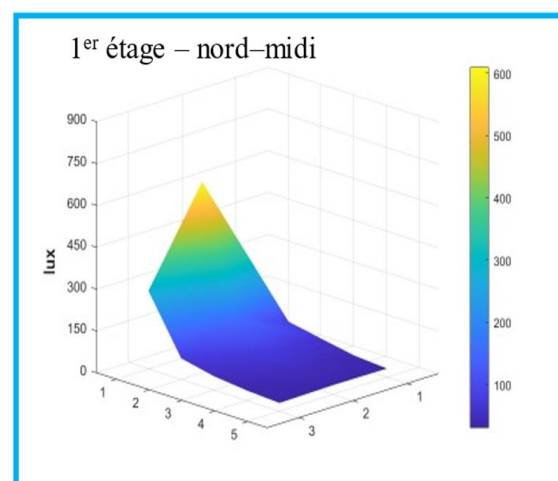
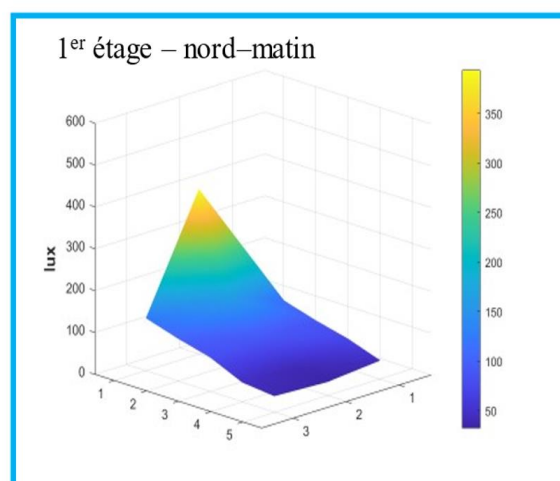


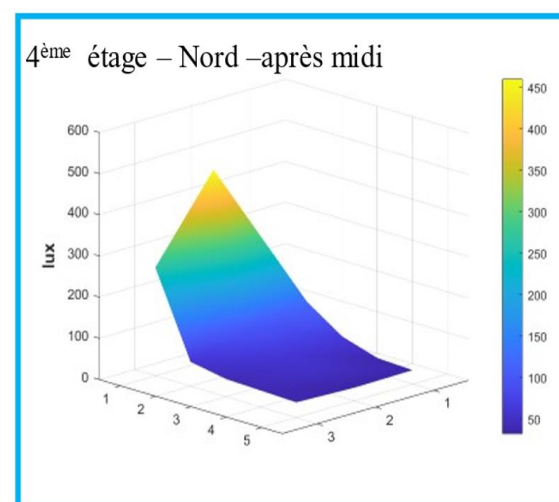
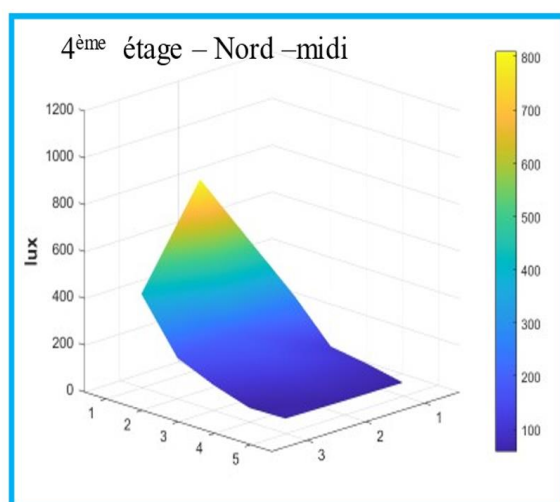
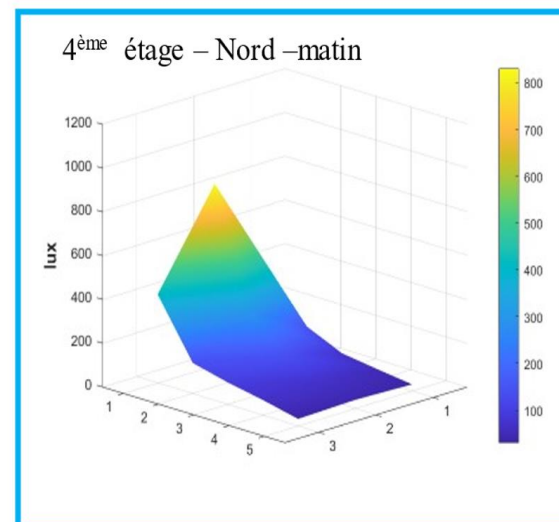
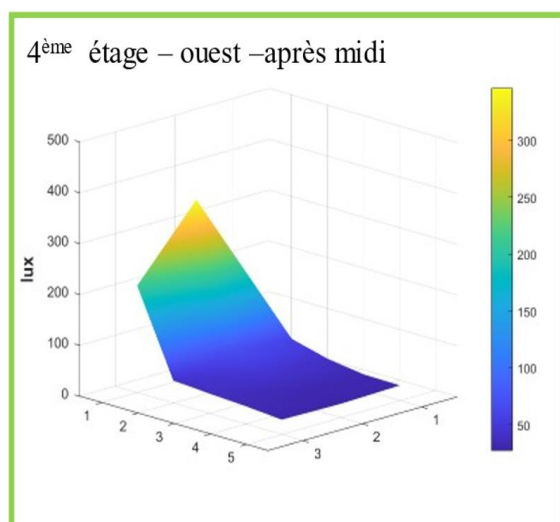
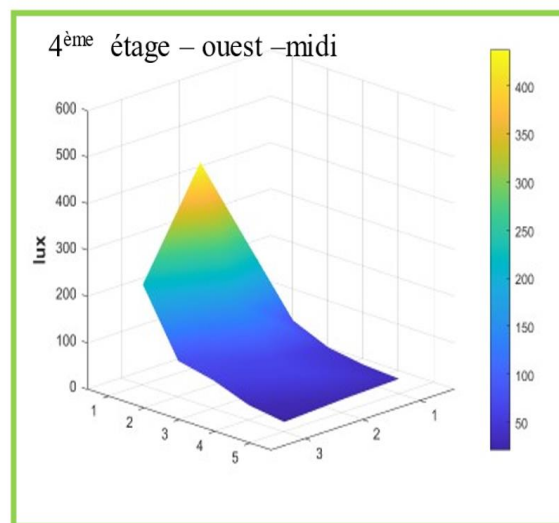
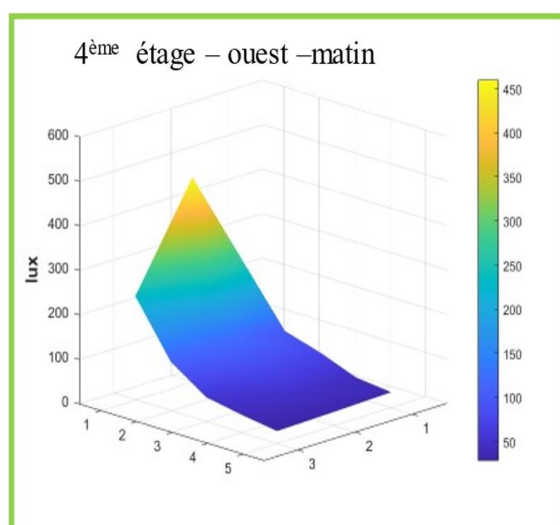
9^{ème} étage – sud – matin9^{ème} étage – sud – midi9^{ème} étage – sud – après midi9^{ème} étage – ouest – matin9^{ème} étage – ouest – midi9^{ème} étage – ouest – après midi

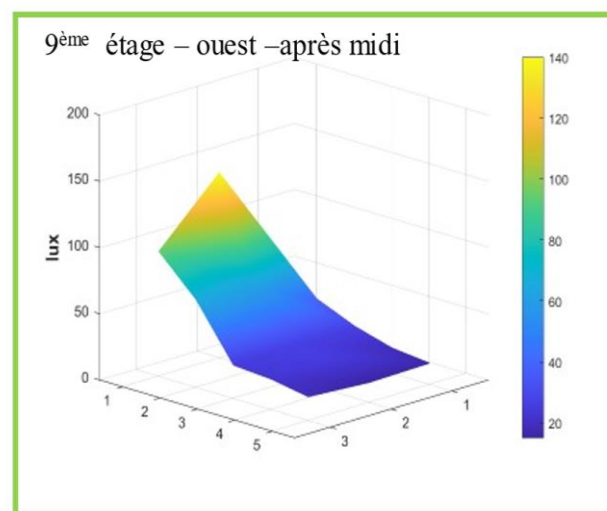
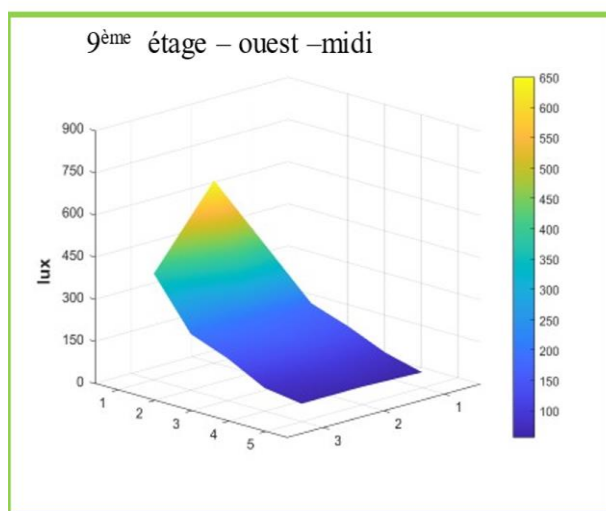
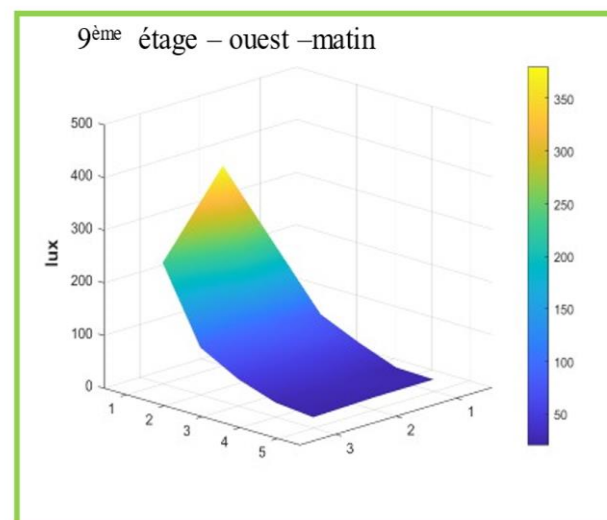
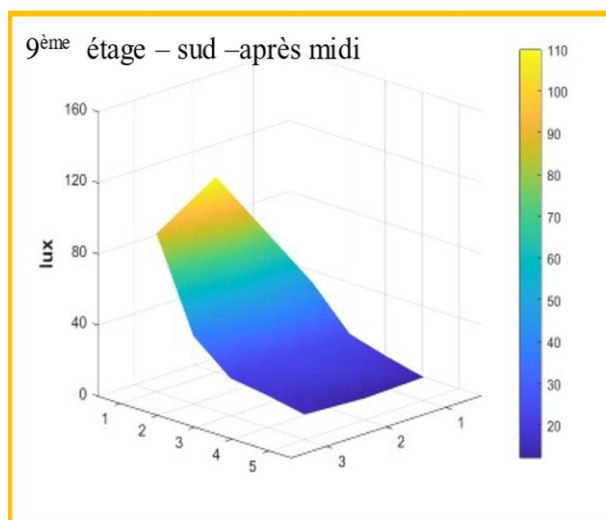
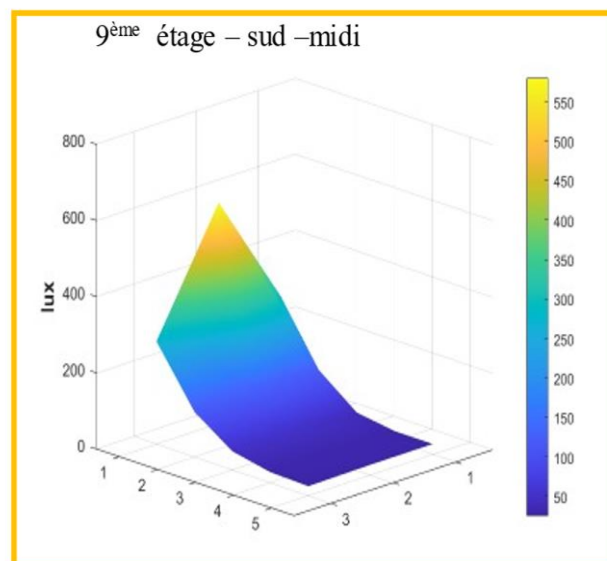
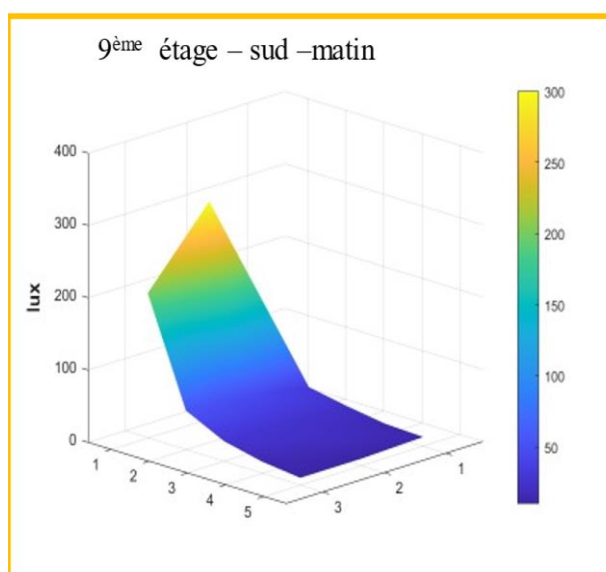


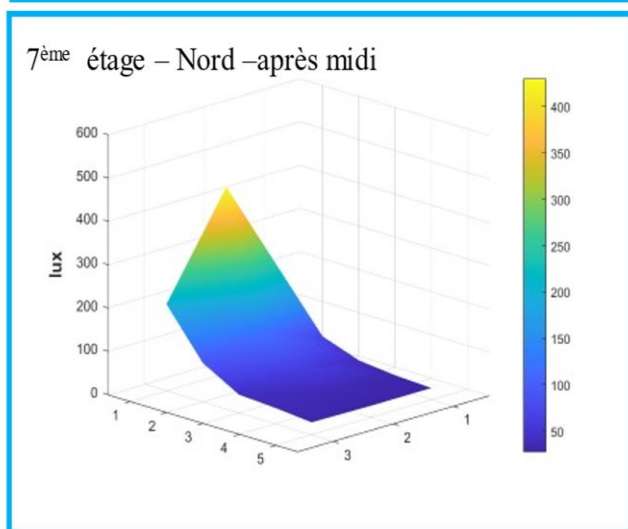
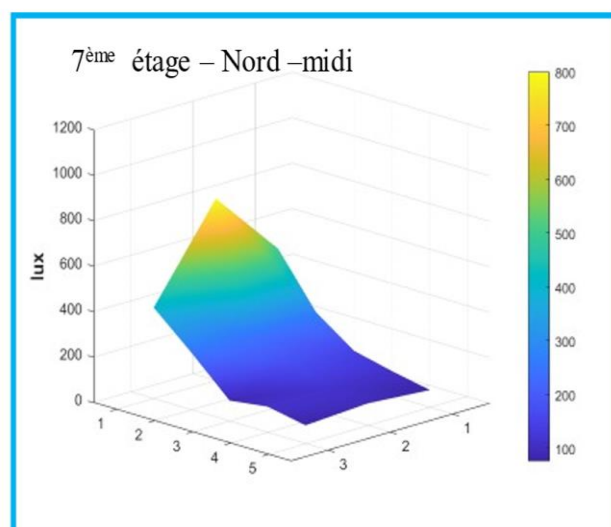
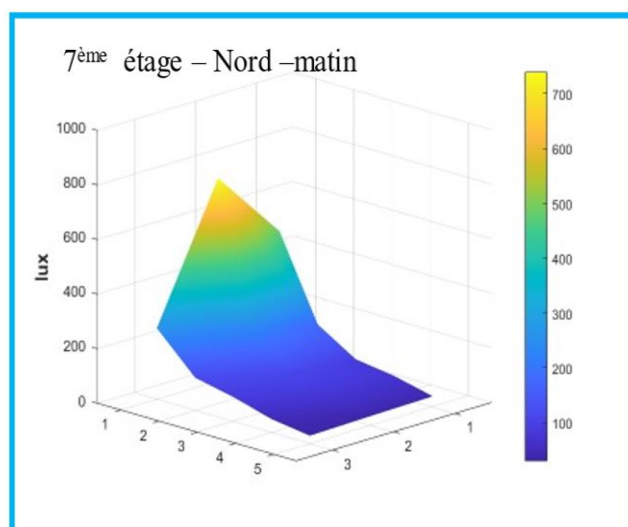
Mois de Mars

1^{er} étage – sud –matin1^{er} étage – sud –midi1^{er} étage – sud –après midi1^{er} étage – ouest –matin1^{er} étage – Ouest –midi1^{er} étage – Ouest –après midi

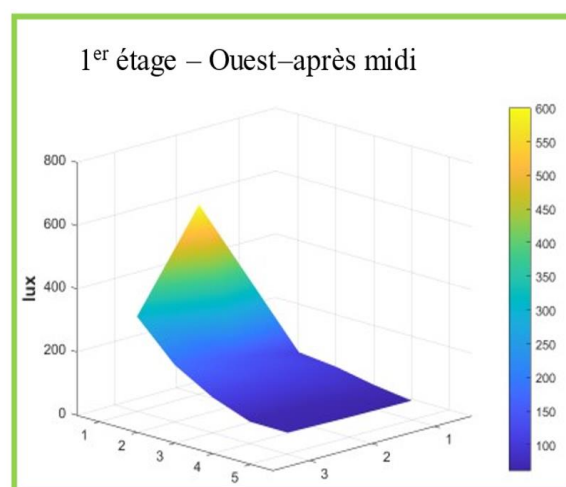
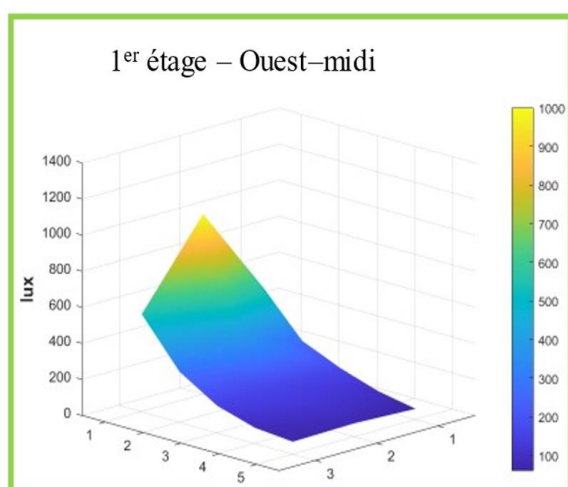
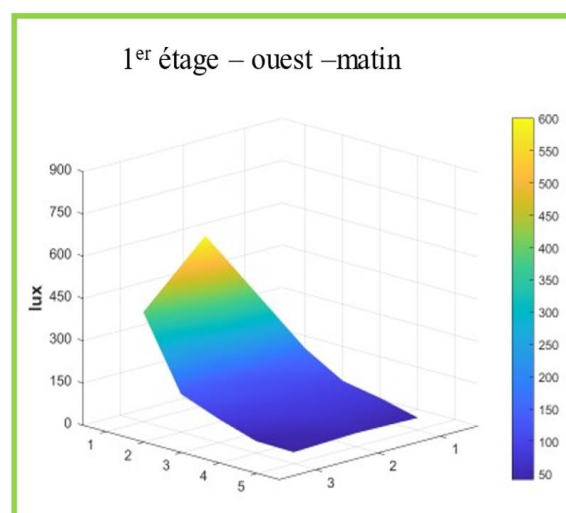
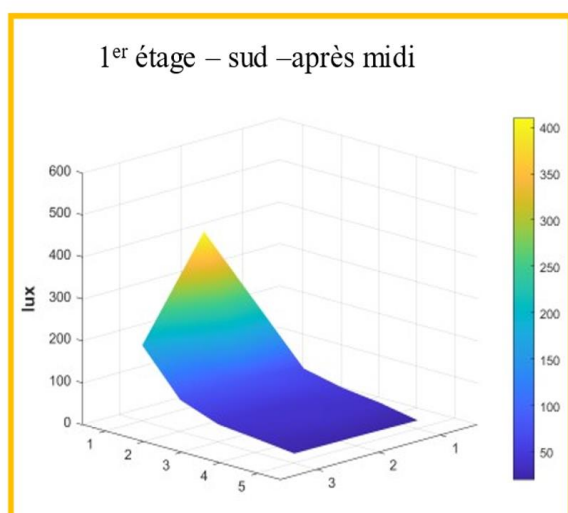
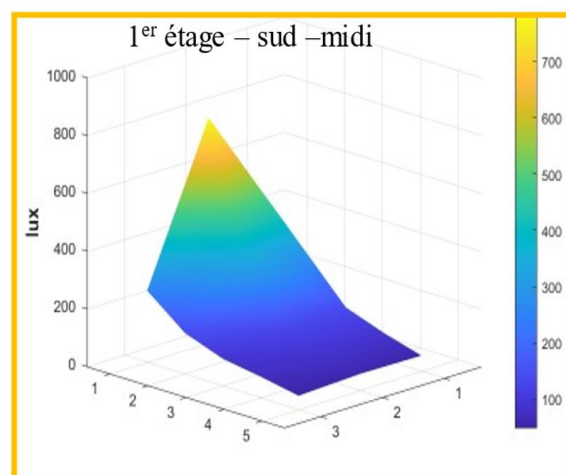
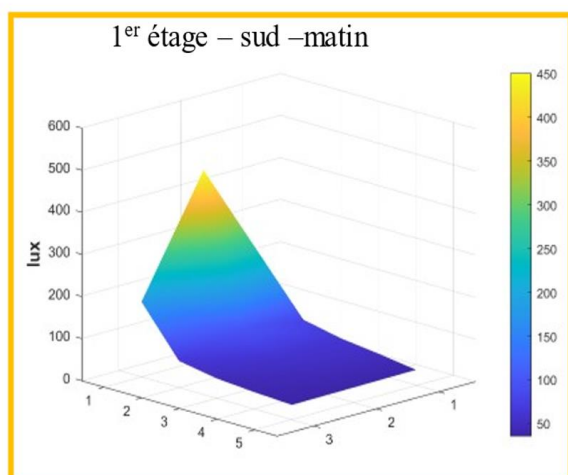


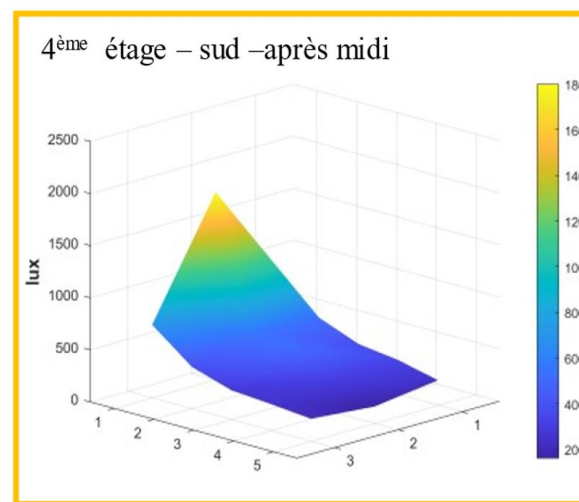
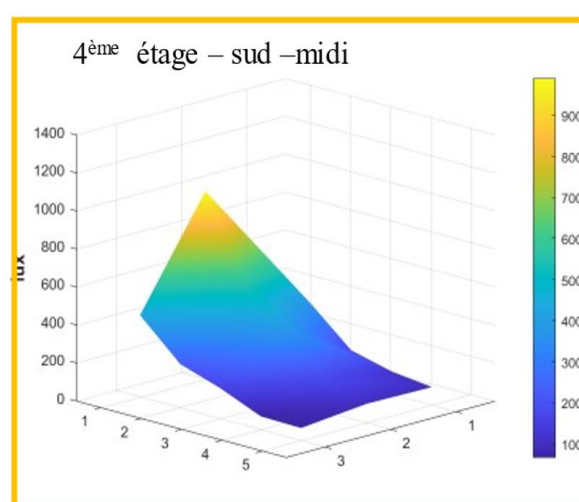
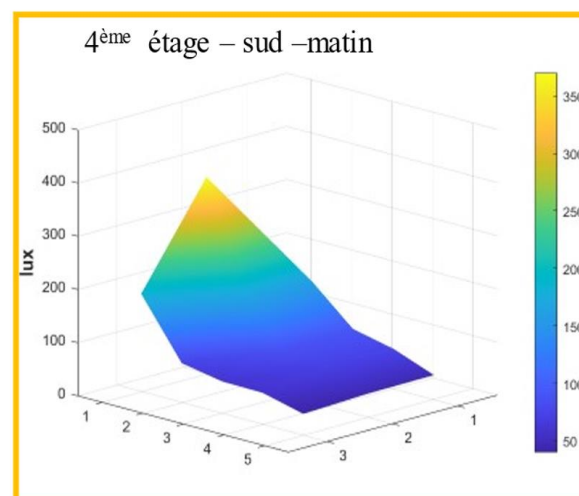
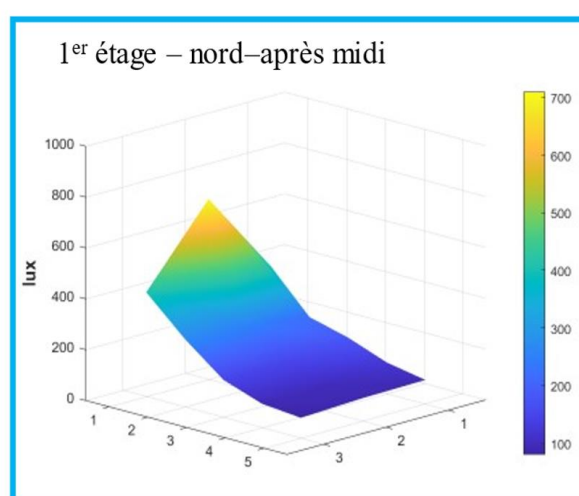
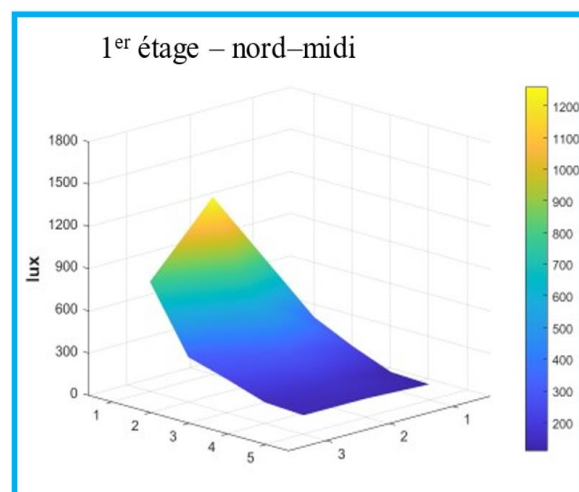
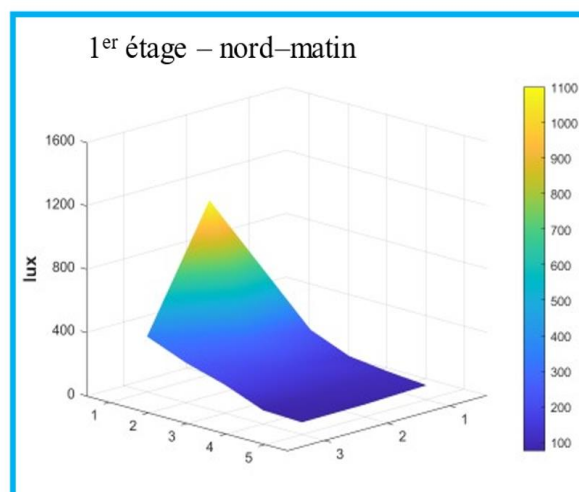


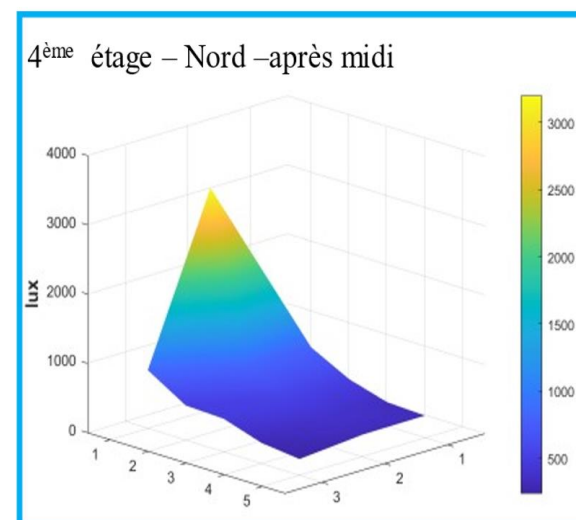
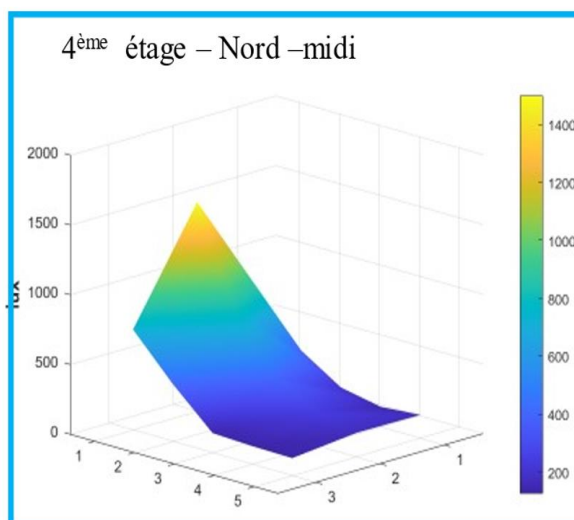
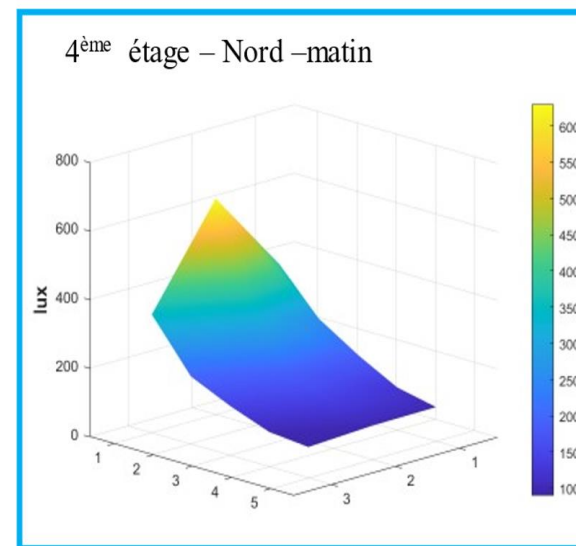
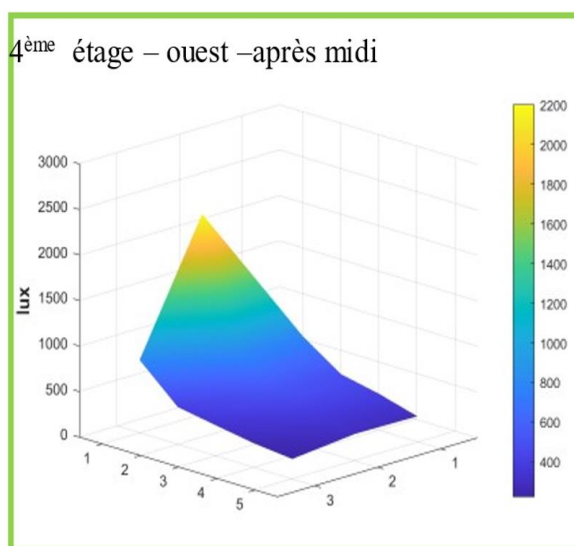
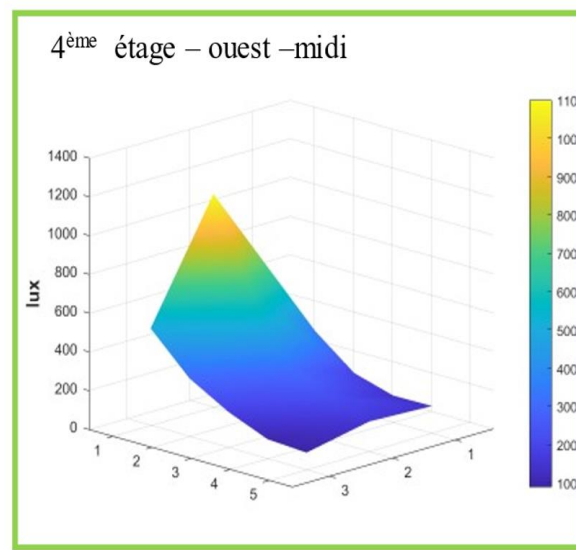
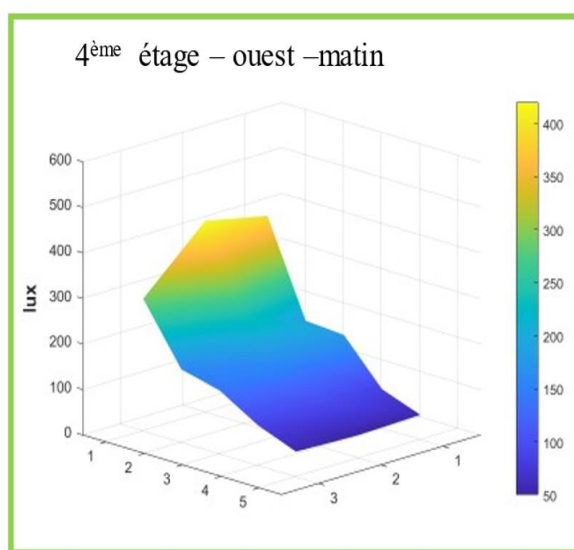


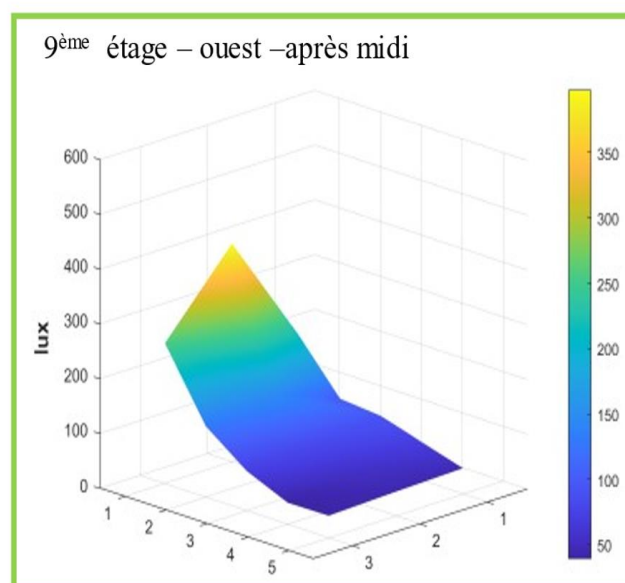
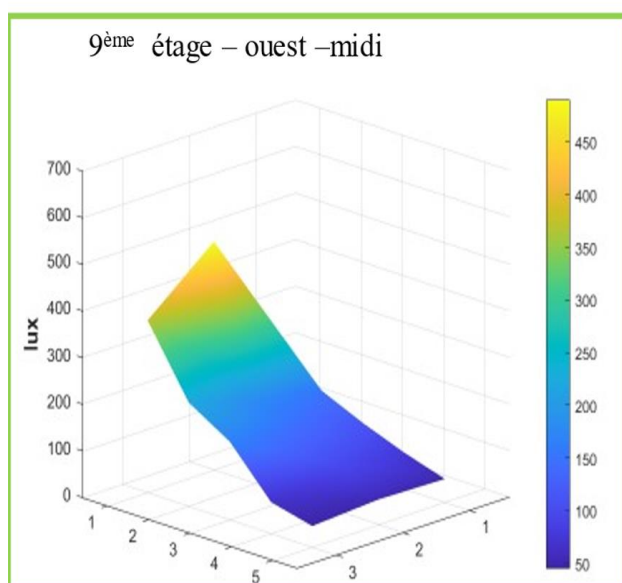
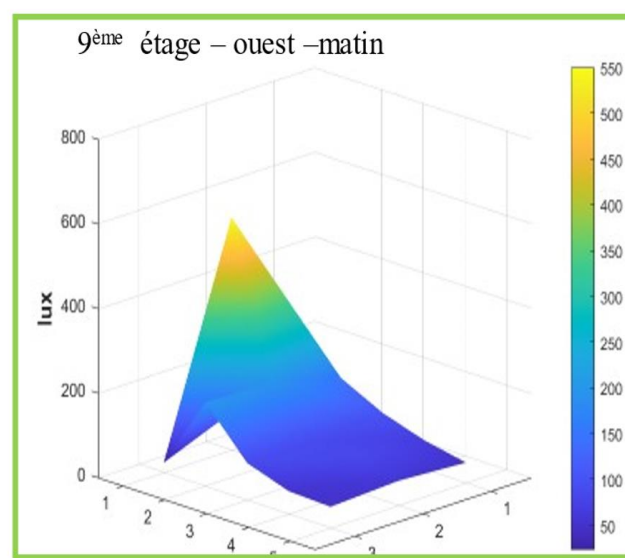
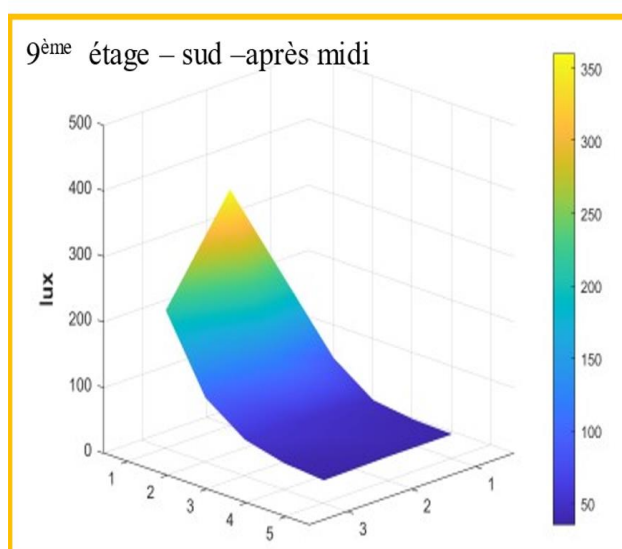
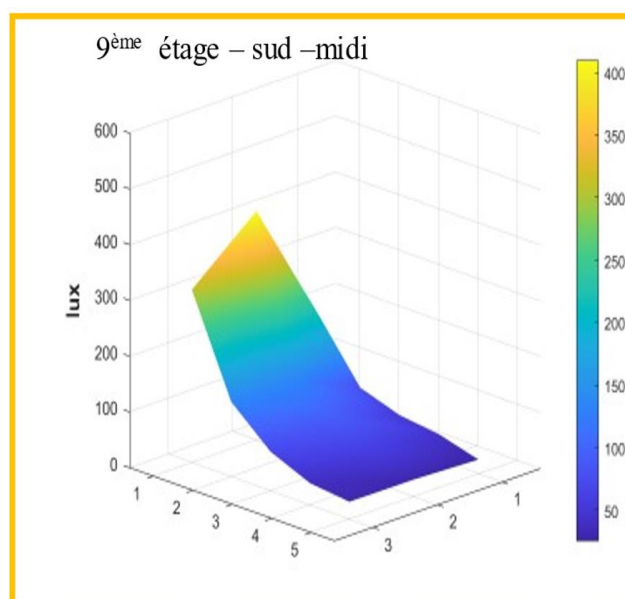
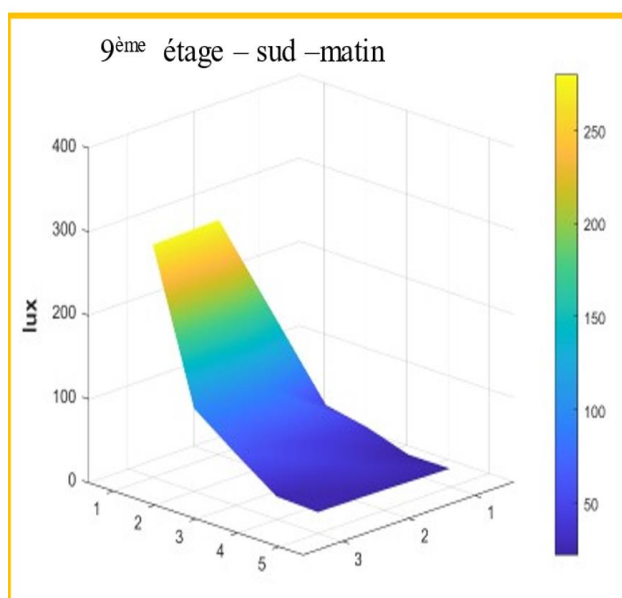


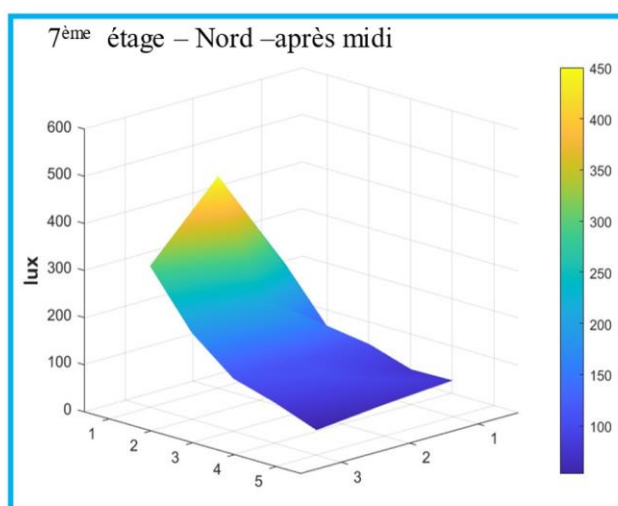
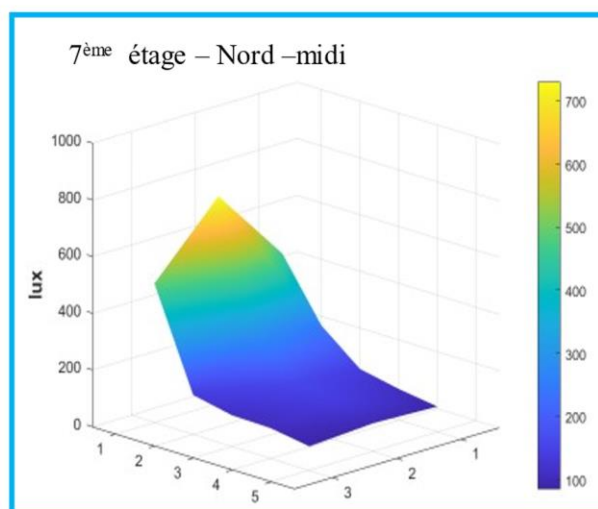
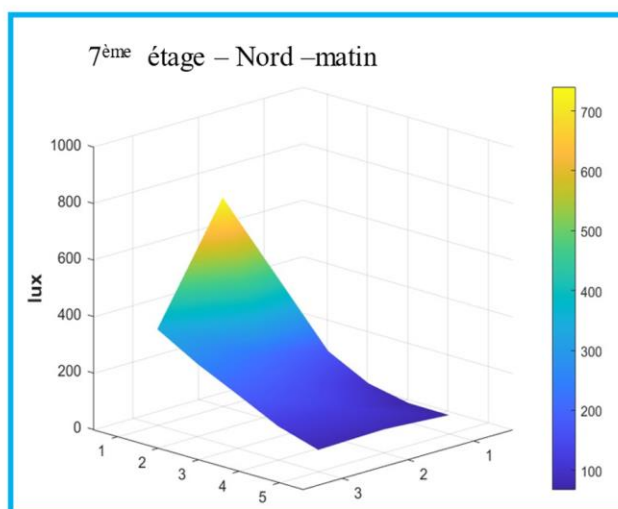
Mois de juin





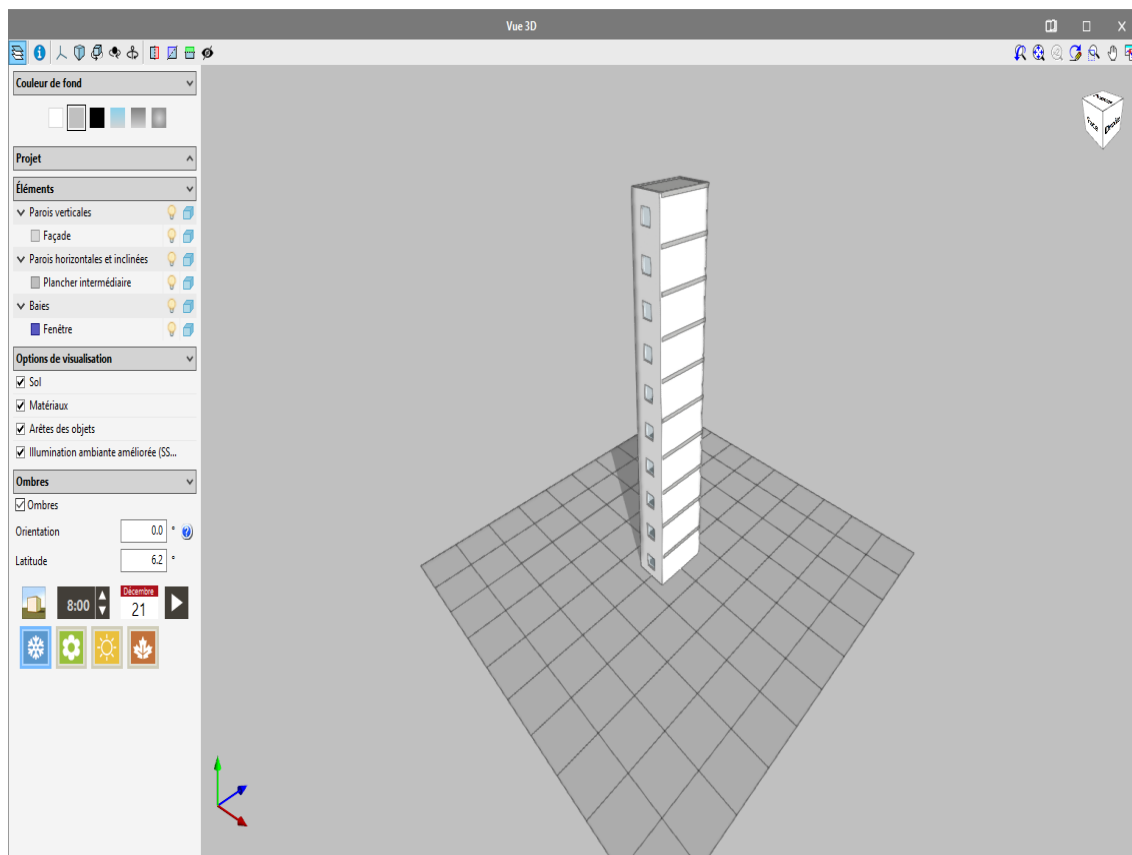




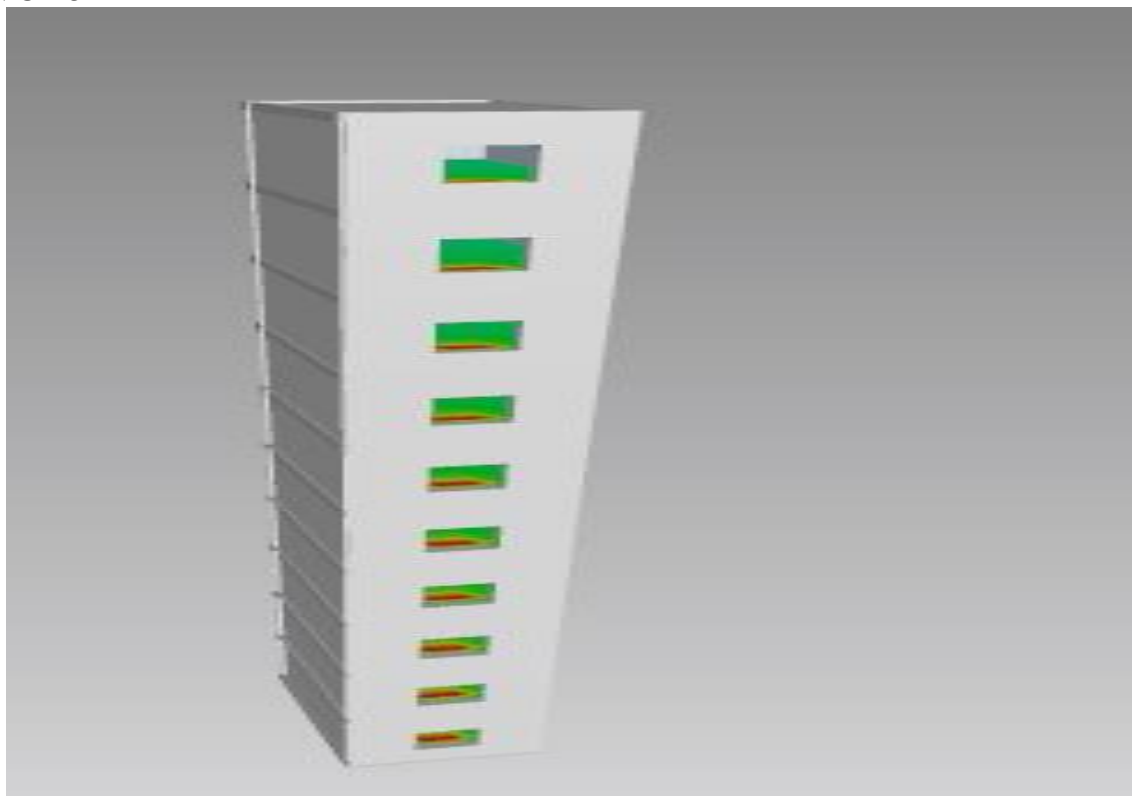


Annexe 04
Résultats de la simulation

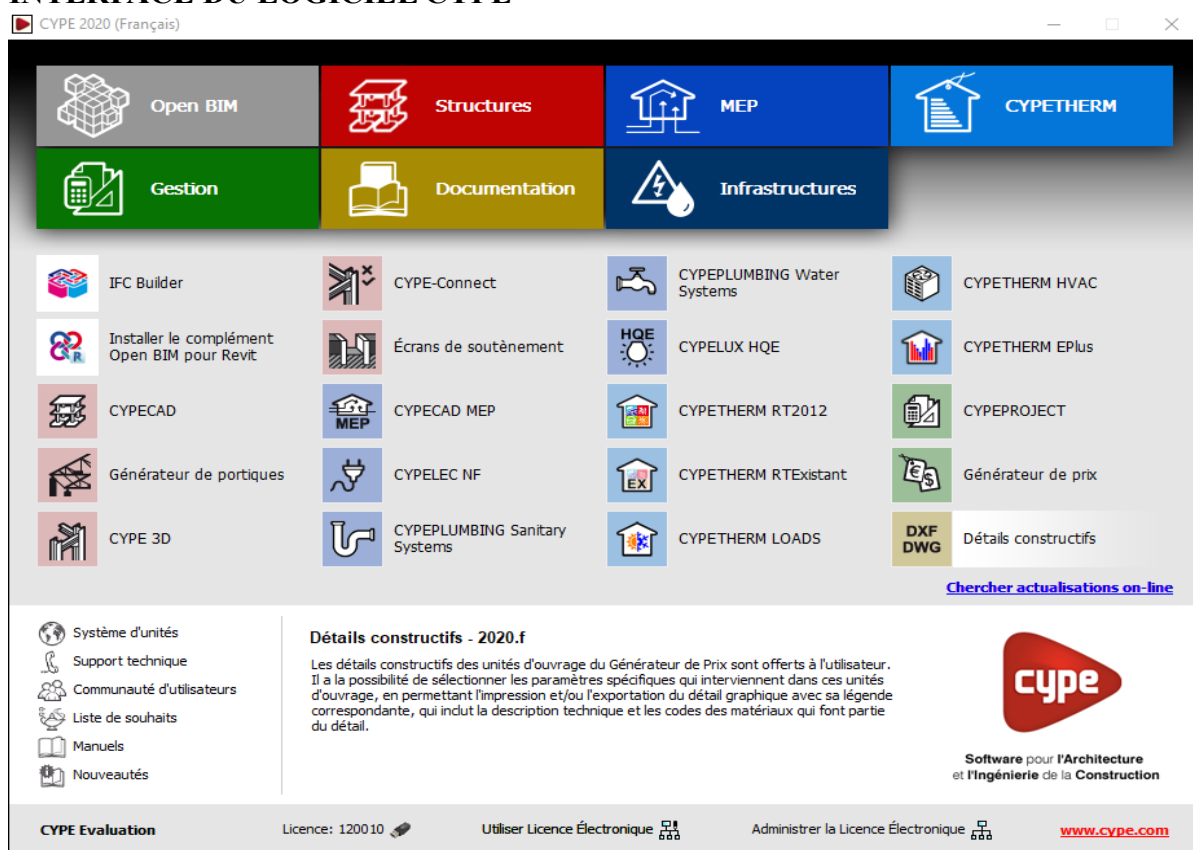
CONFIGURATION DU RENDU DU LOGICIEL DE SIMULATION IMAGE IFC BUILDER



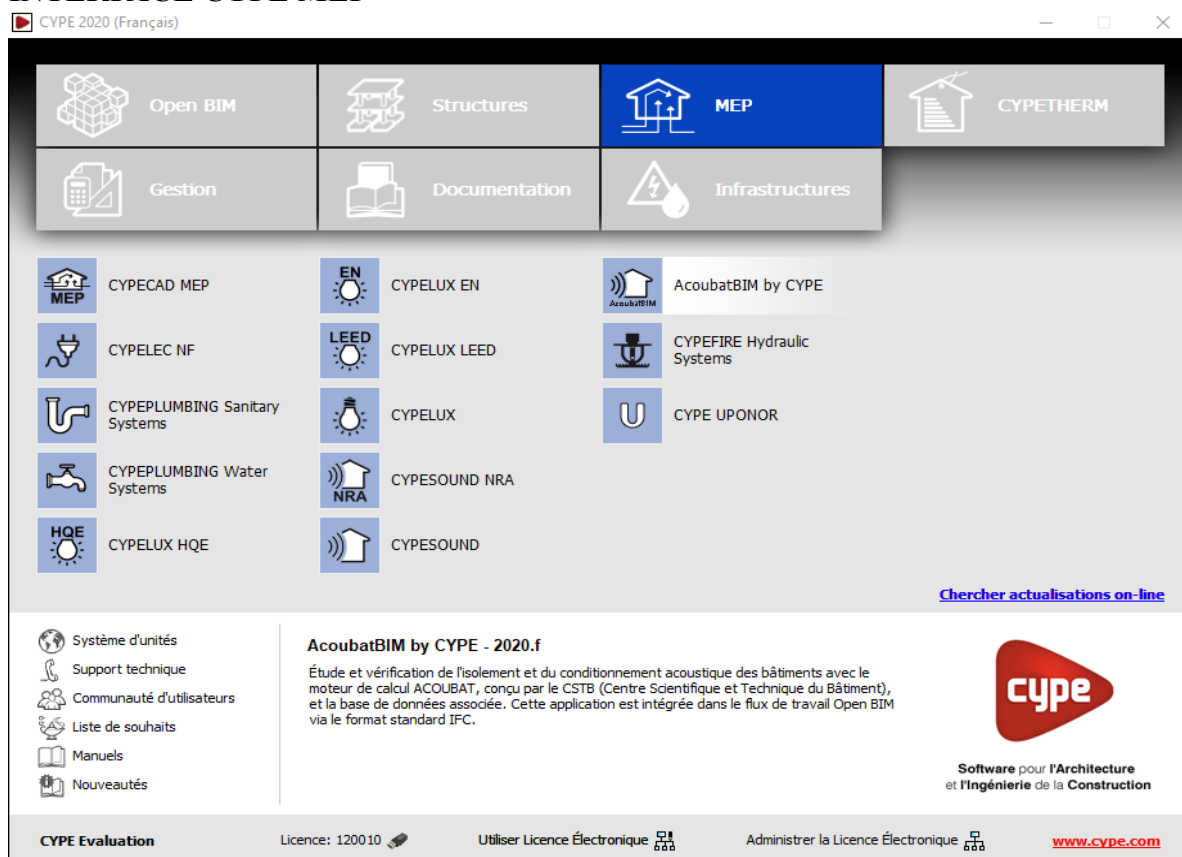
VUE 3D



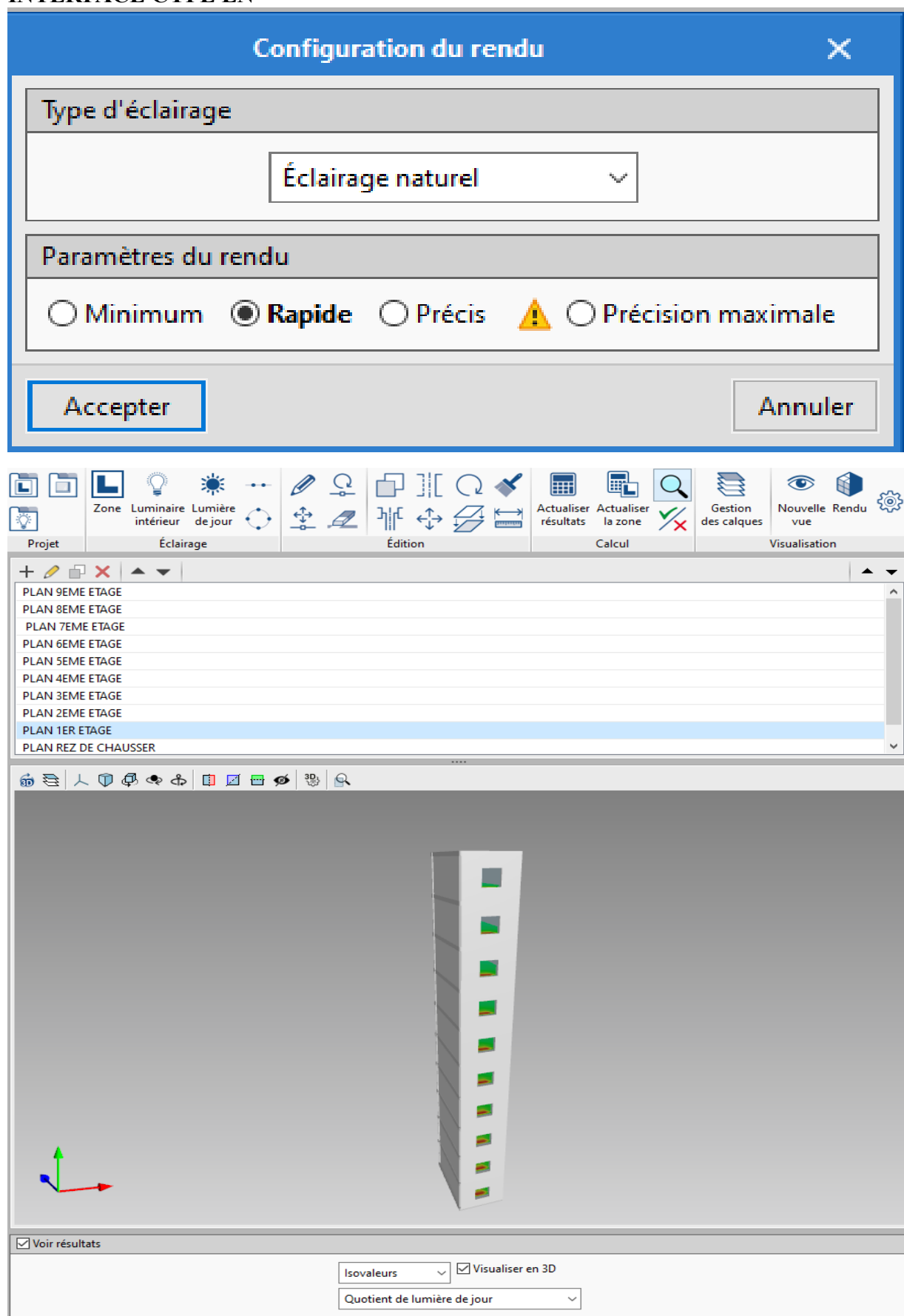
INTERFACE DU LOGICIEL CYPE

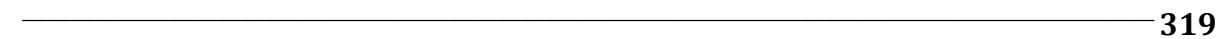


INTERFACE CYPE MEP



INTERFACE CYPE EN





Zone

Référence

ETAGE1

Type de zone

Vous pouvez indiquer si le local est inclus dans la simulation d'éclairage ou non. Dans ce cas, les propriétés du local et les paramètres du calcul doivent être indiqués.

Local inclus

Description

Calcul

Vérifications

Norme EN 12464-1

Vous pouvez vérifier les exigences d'éclairage, selon le type d'activité, proposées par la norme EN 12464-1 pour ce type de zone. Seront vérifiés, pour l'éclairage normal, l'éclairage maintenu, l'indice d'éblouissement et le rendu des couleurs des luminaires.

Exigences relatives à l'éclairage en fonction de l'activité

EN 12464-1

Zones de circulation à l'intérieur des bâtiments

5.1.1. Zones de circulation et couloirs

5.1.2. Escaliers, escaliers roulants, tapis roulants

5.1.3. Ascenseurs

5.1.4. Quais de chargement

Espaces communs à l'intérieur des bâtiments

5.2 Salles de repos, d'installations sanitaires et de premier secours

5.2.1. Cantines, réserves alimentaires

5.2.2. Salles de repos

5.2.3. Salles d'exercices physiques

5.2.4. Vestiaires, sanitaires, salles de bains, toilettes

5.2.5. Infirmerie

5.3.6. Salles de soins

Activité sélectionnée: 5.1.1. Zones de circulation et couloirs

Éclairage moyen à maintenir

Limite d'éblouissement d'inconfort

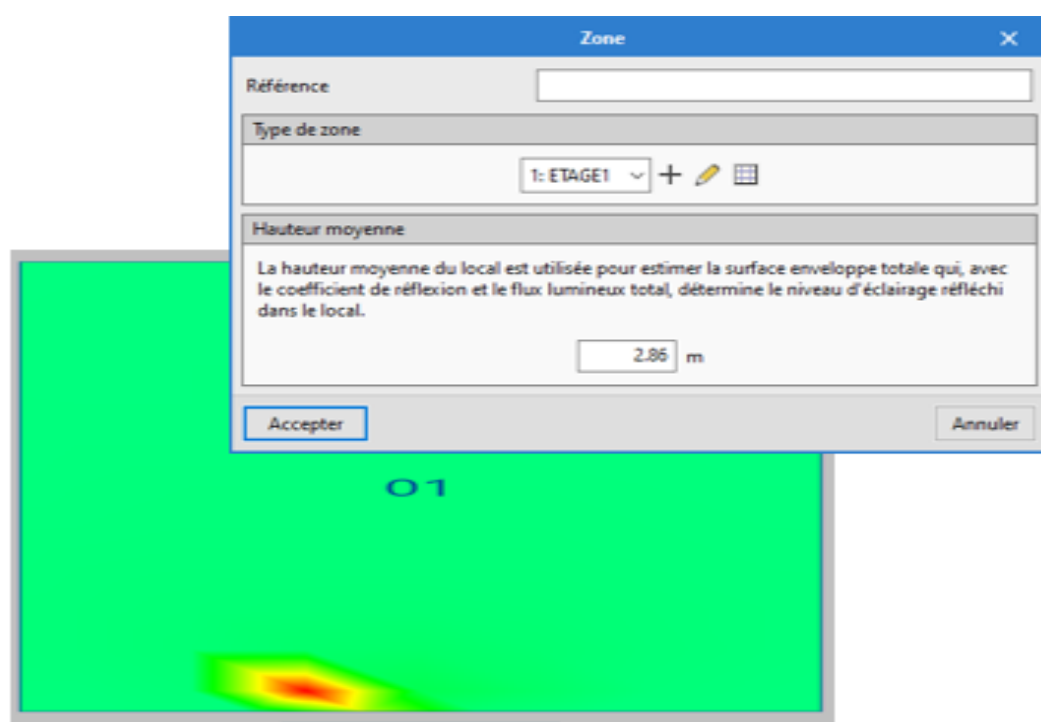
Uniformité de l'éclairage minimal

Valeur minimale de l'indice de rendu des couleurs des lampes

Accepter

Annuler

320



Zone [X]

Référence

Type de zone

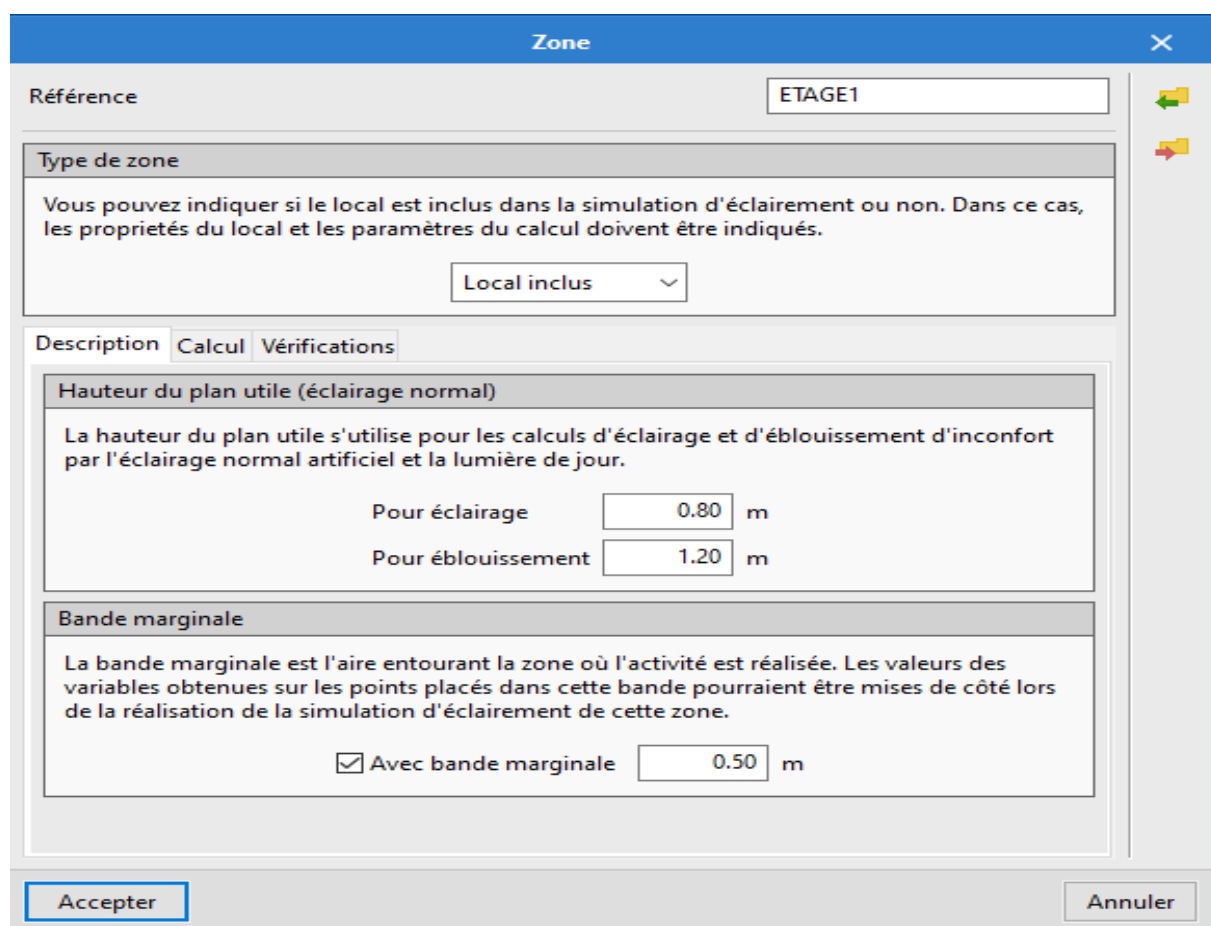
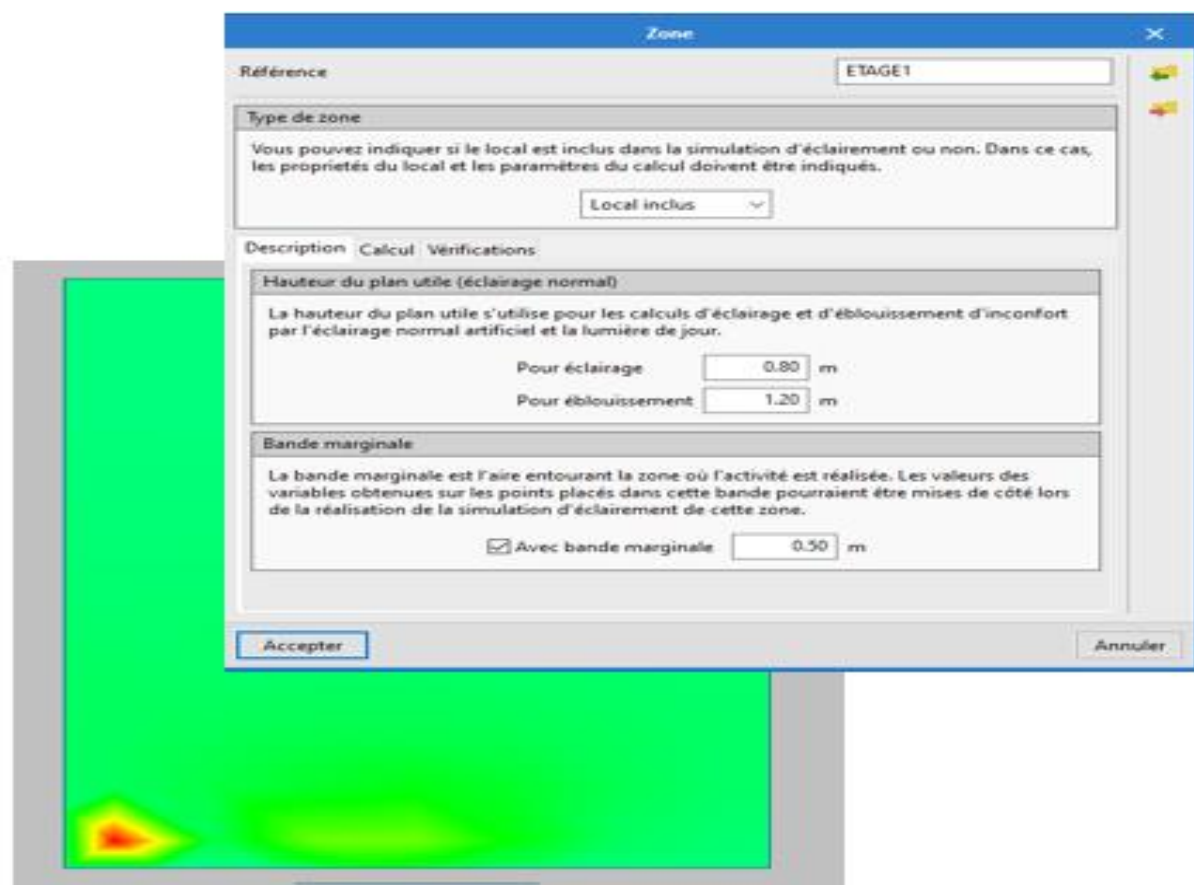
1: ETAGE1 [v] + [pencil] [grid]

Hauteur moyenne

La hauteur moyenne du local est utilisée pour estimer la surface enveloppe totale qui, avec le coefficient de réflexion et le flux lumineux total, détermine le niveau d'éclairage réfléchi dans le local.

m

Accepter Annuler



Zone

Référence

ETAGE1

Type de zone

Vous pouvez indiquer si le local est inclus dans la simulation d'éclairage ou non. Dans ce cas, les propriétés du local et les paramètres du calcul doivent être indiqués.

Local inclus

Description

Calcul

Vérifications

Facteur de maintenance

C'est le quotient entre l'éclairage moyen sur le plan utile après une période donnée d'utilisation d'une installation d'éclairage et l'éclairage moyen obtenu sous la même condition pour l'installation considérée comme neuve.

Pour éclairage normal

0.80

Réflectance

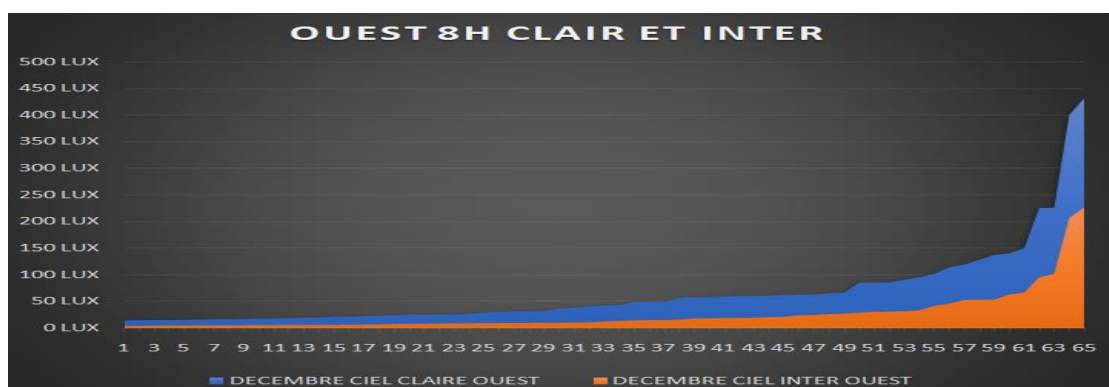
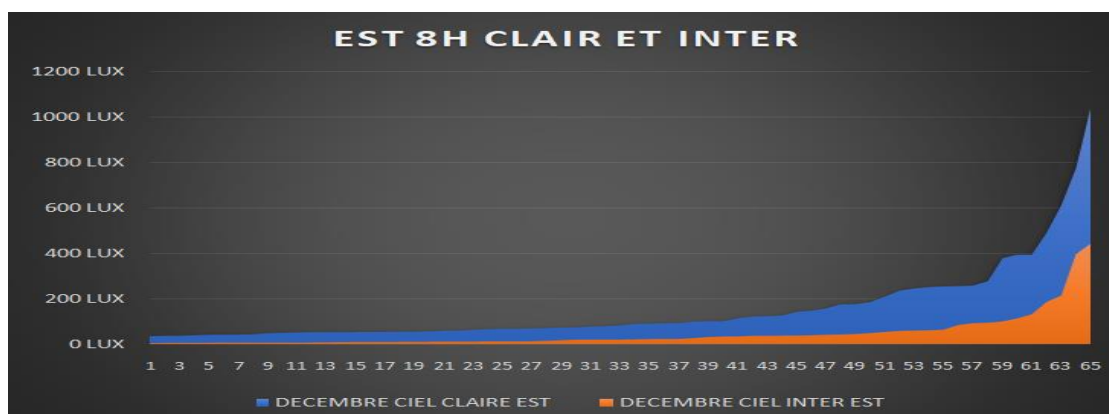
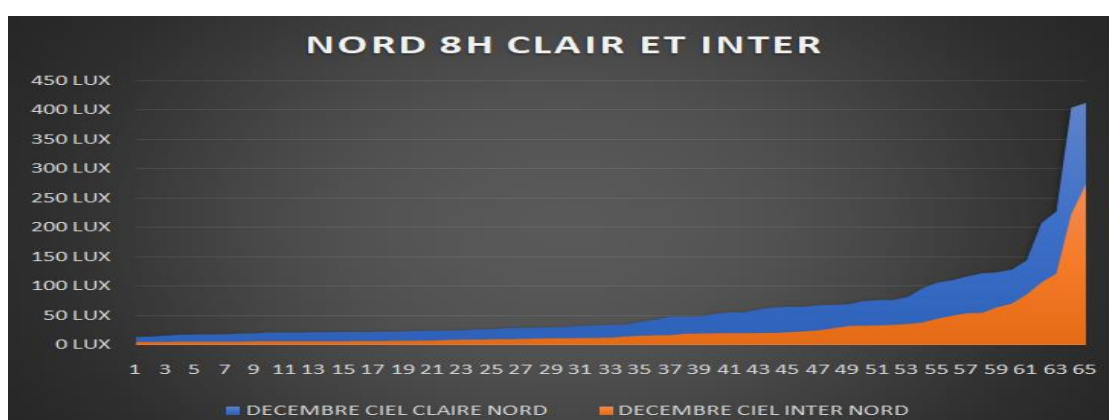
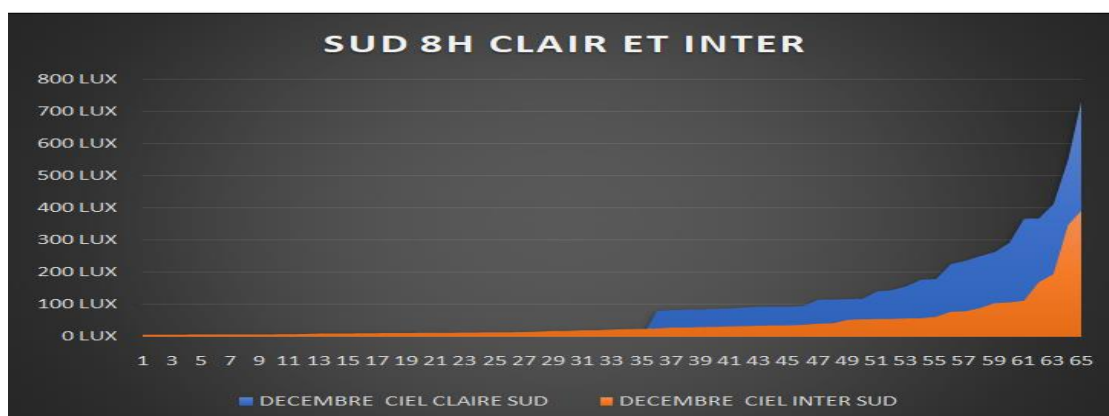
C'est le quotient entre le flux radiant ou lumineux réfléchi et le flux incident dans les conditions données.

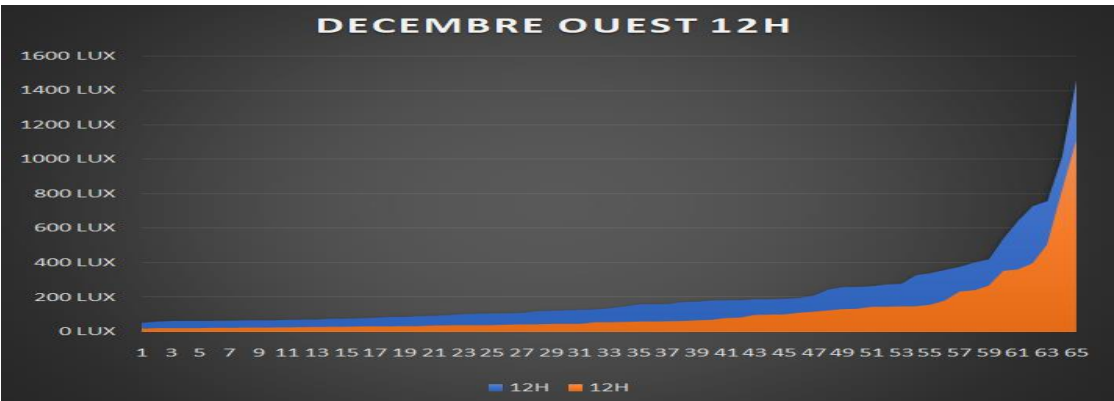
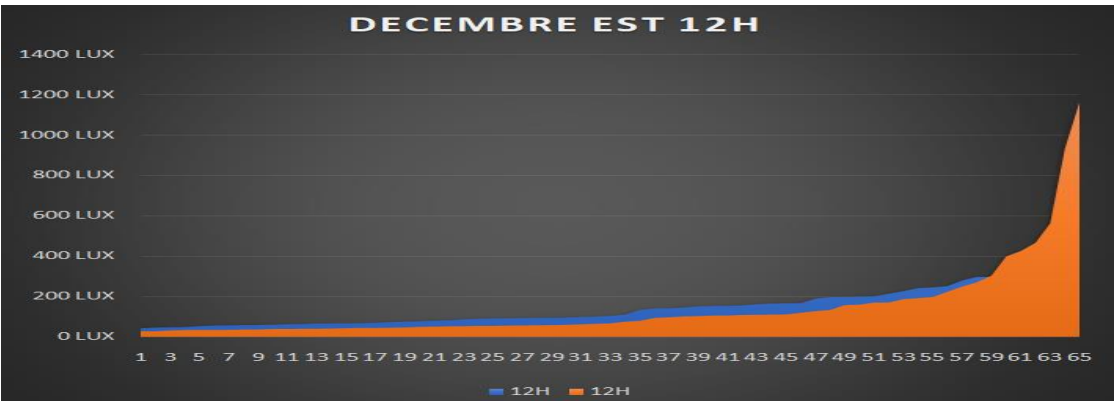
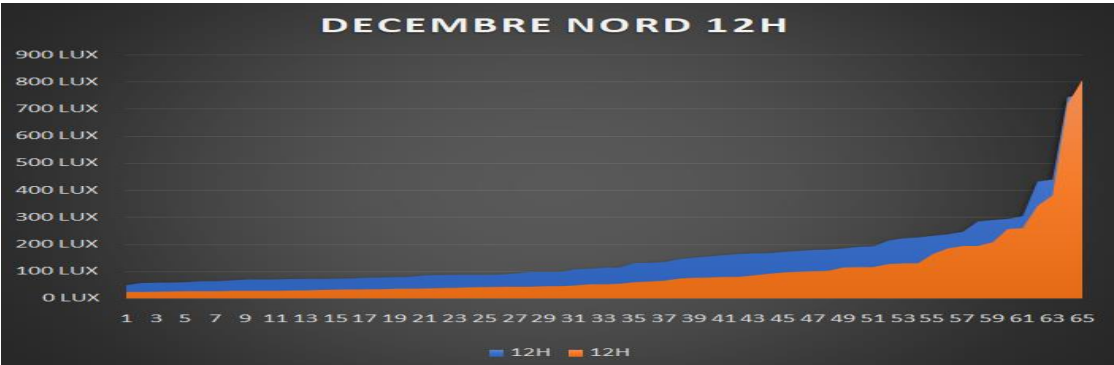
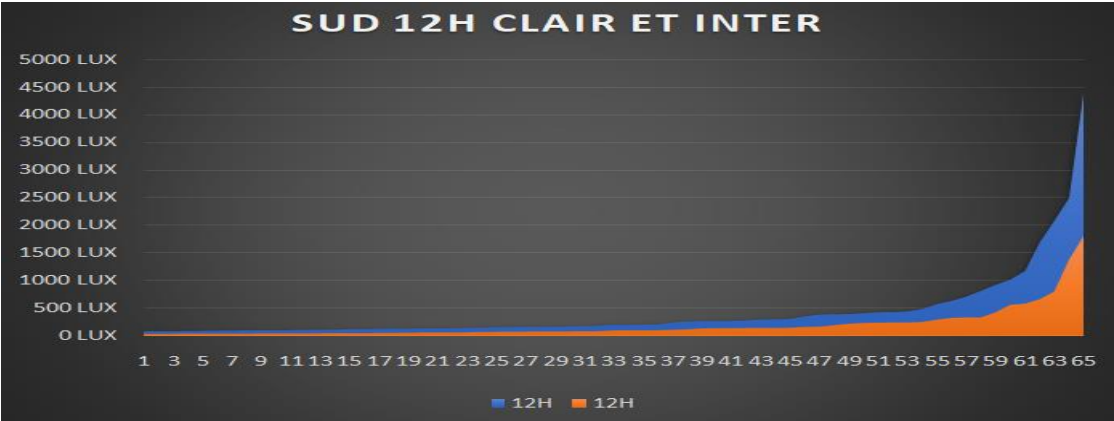
Pour sols	0.30
Pour plafonds	0.70
Pour murs	0.50

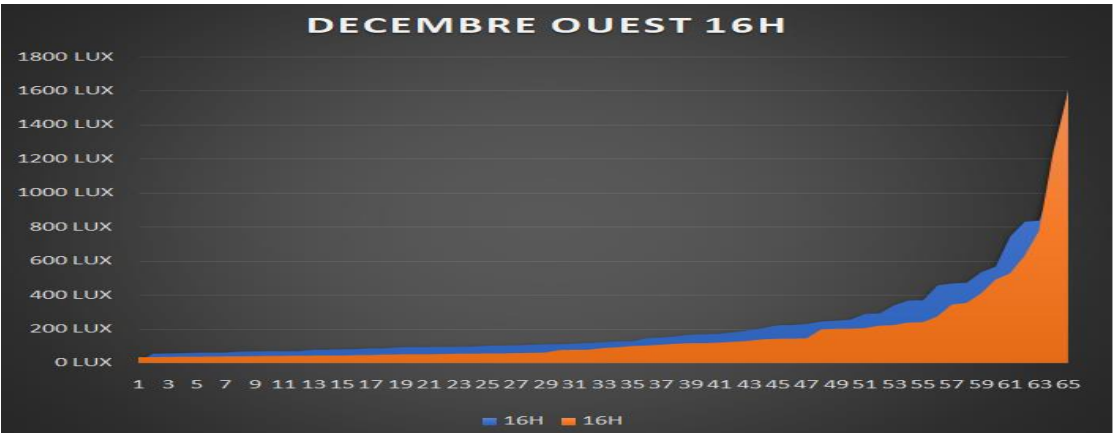
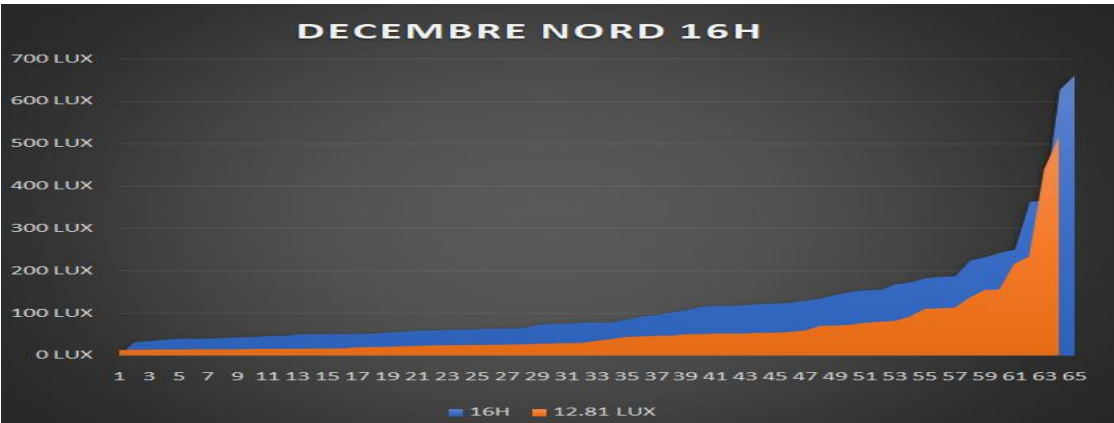
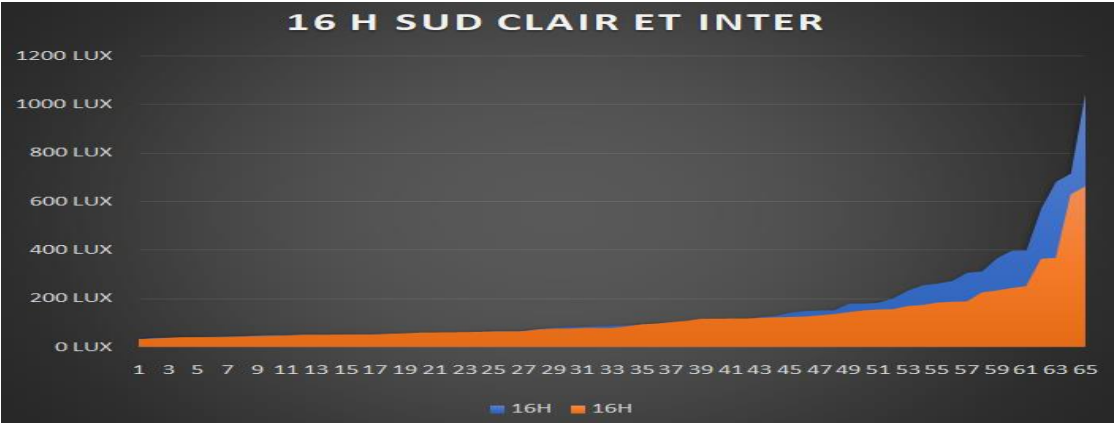
Accepter

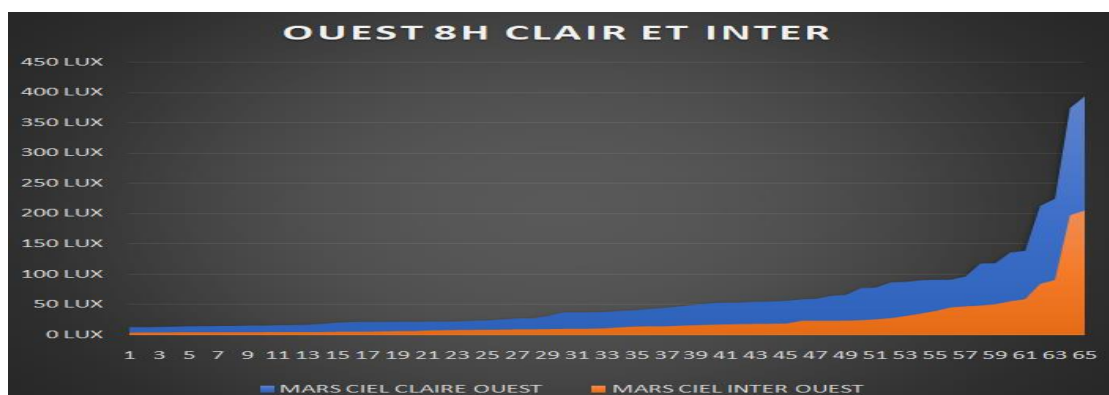
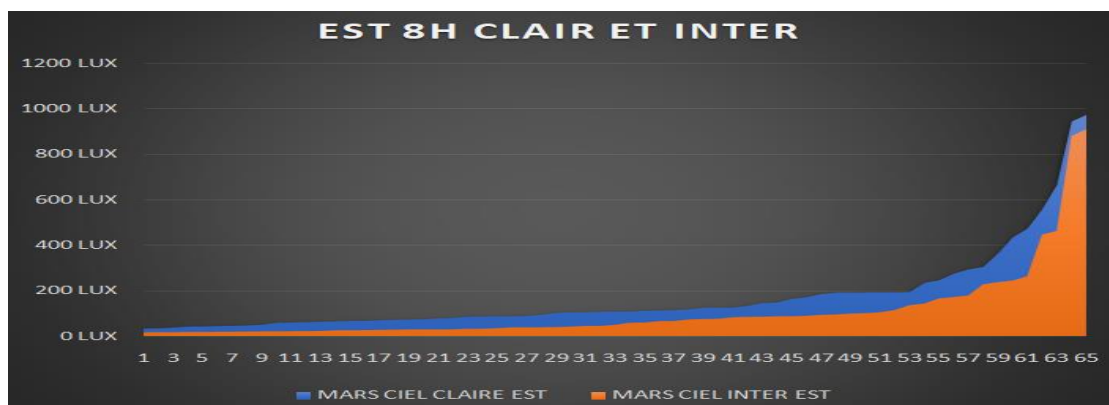
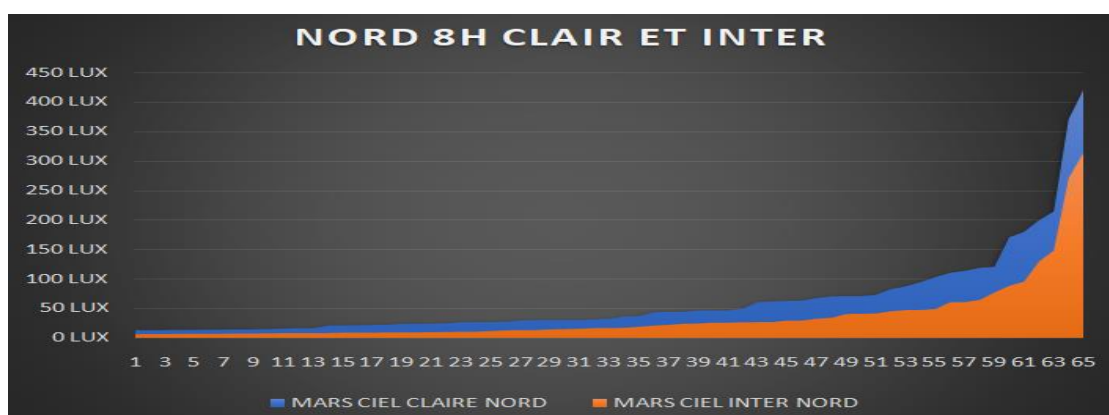
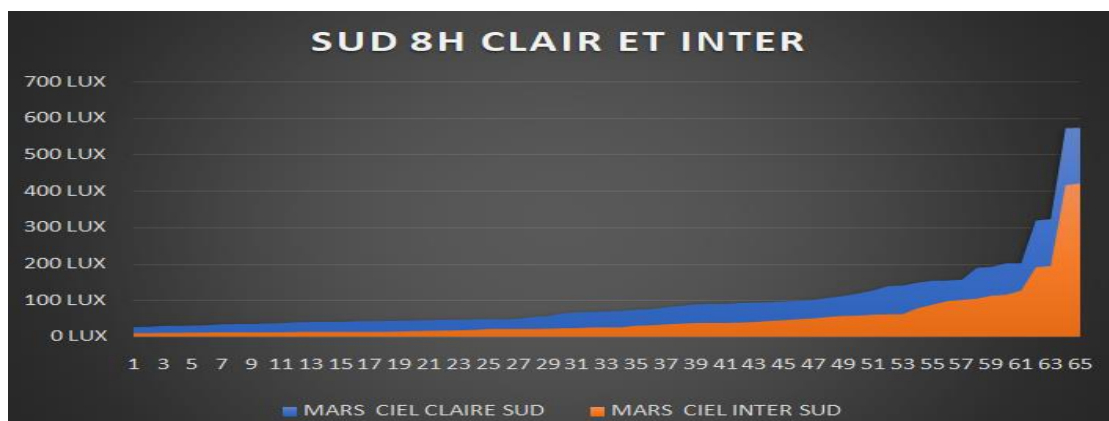
Annuler

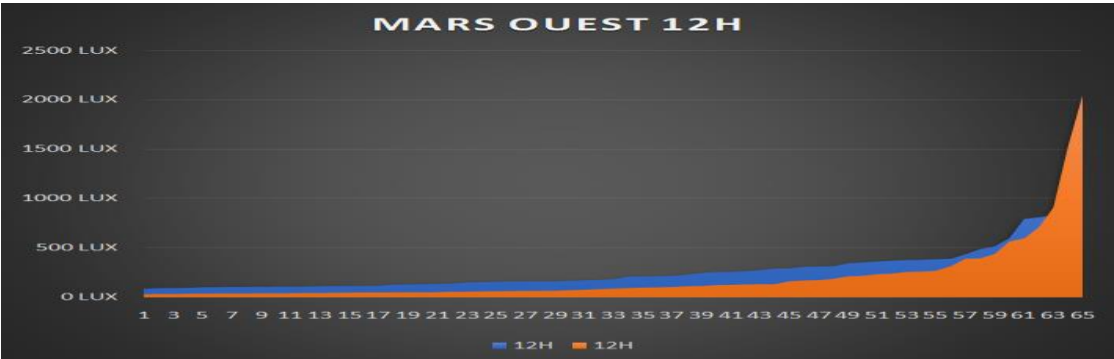
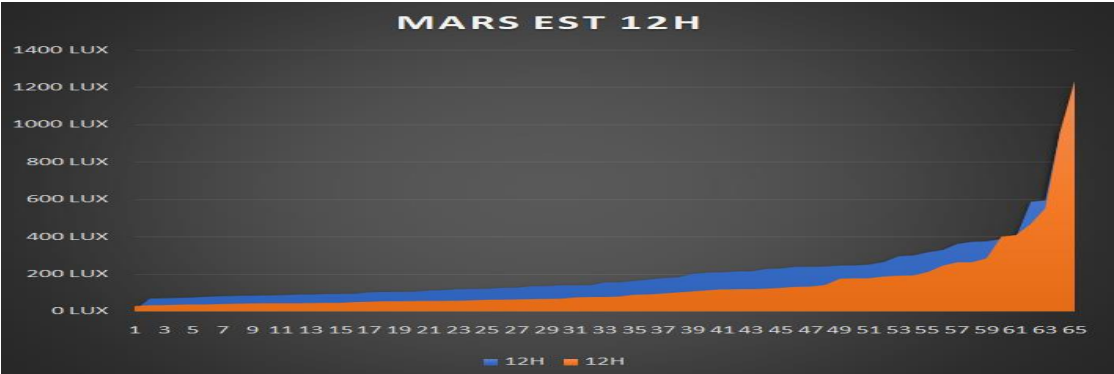
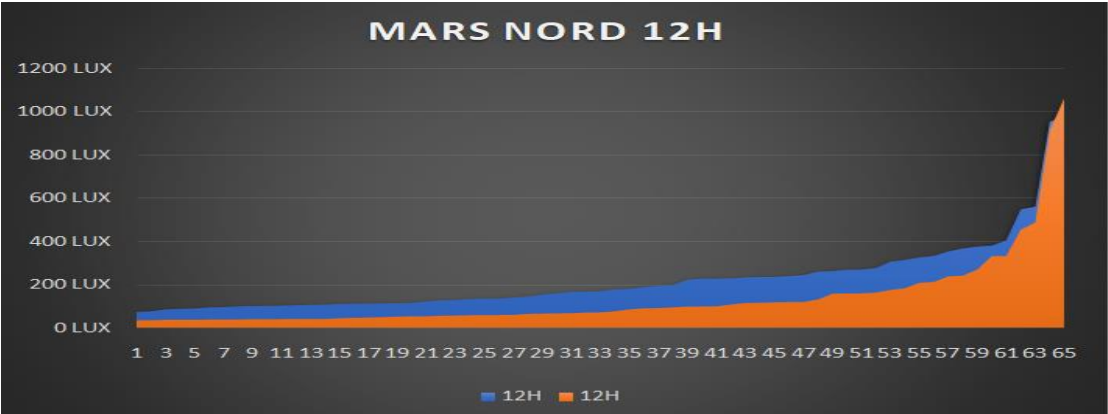
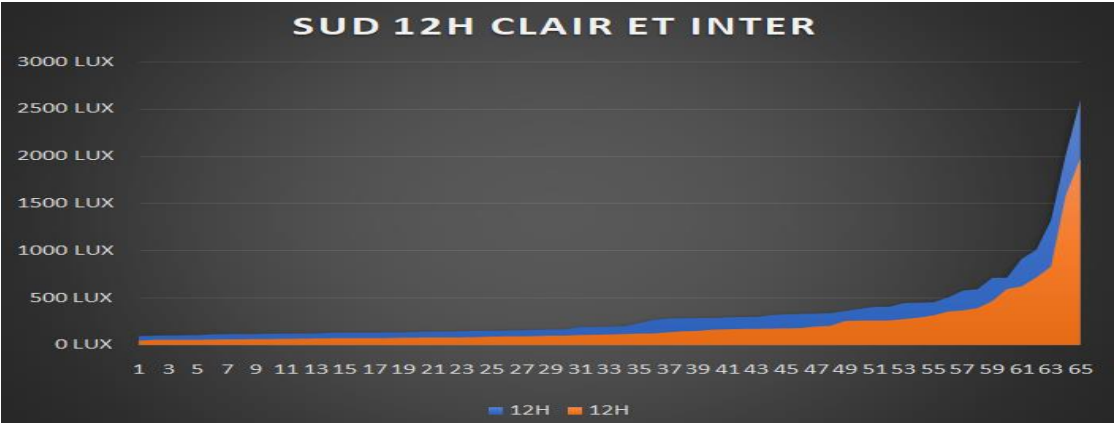
COURBES REPRESENTANT LES RESULTATS DE LA SIMULATION SOUS LES DEUX TYPES DE CIEL

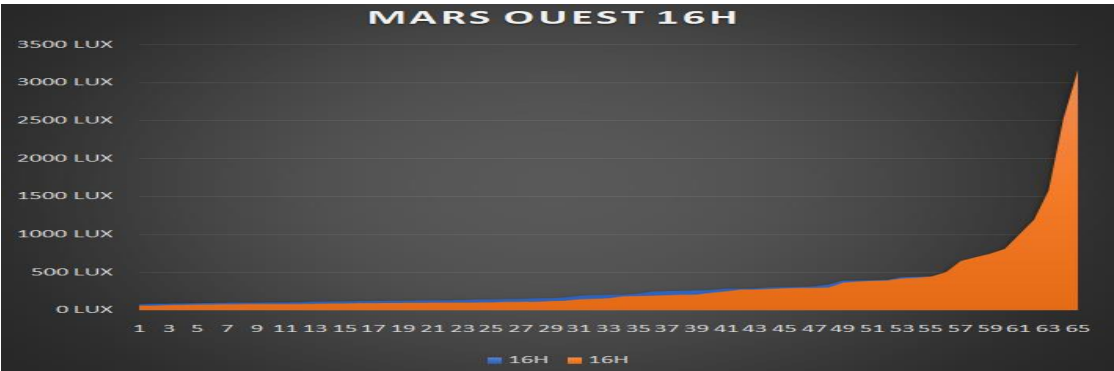
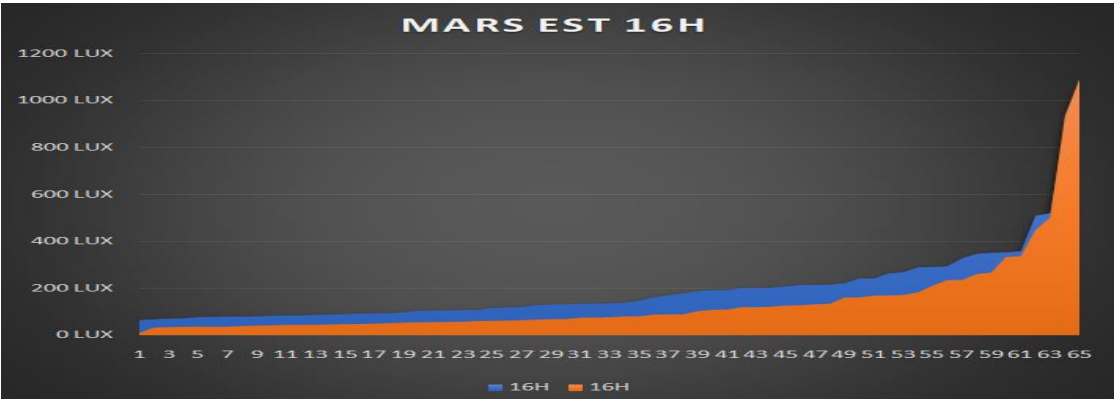
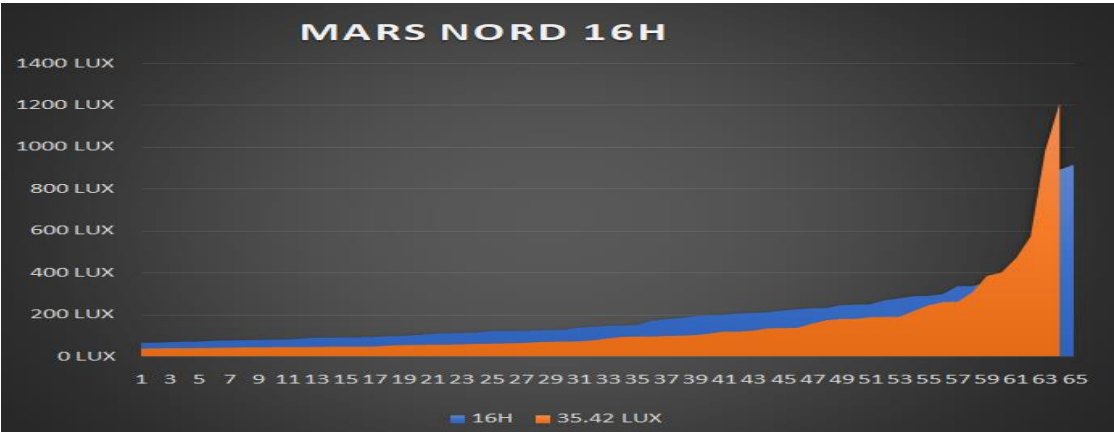
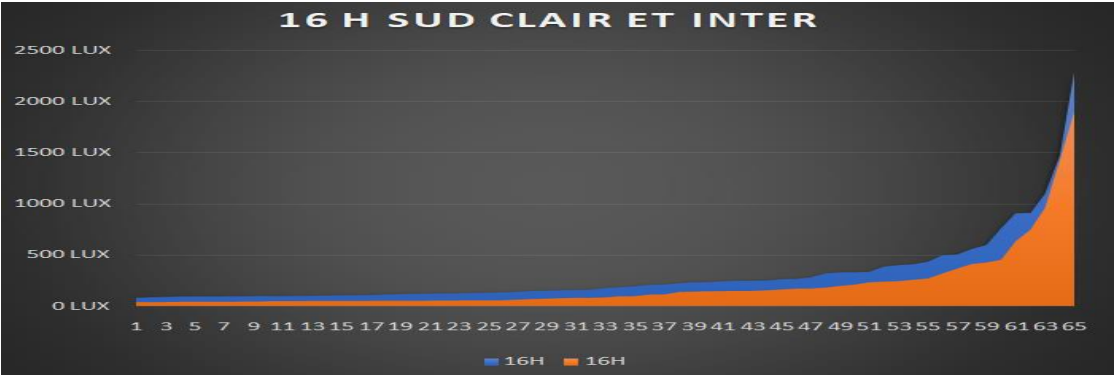


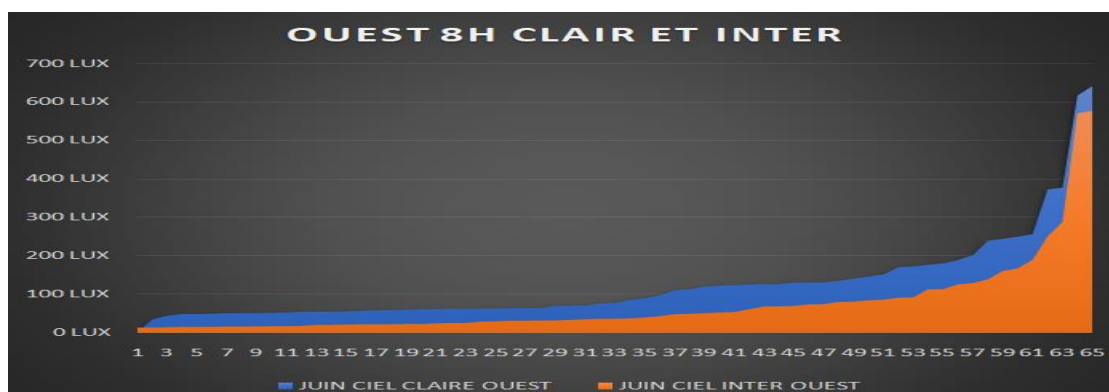
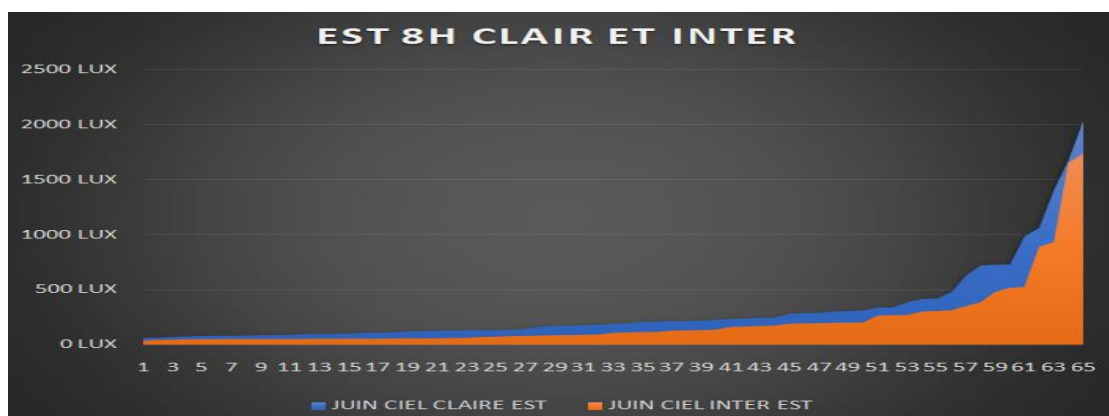
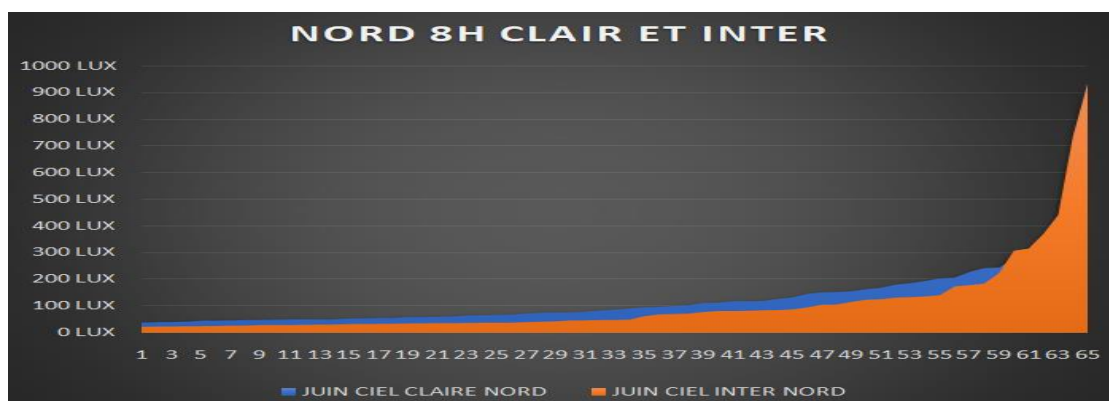
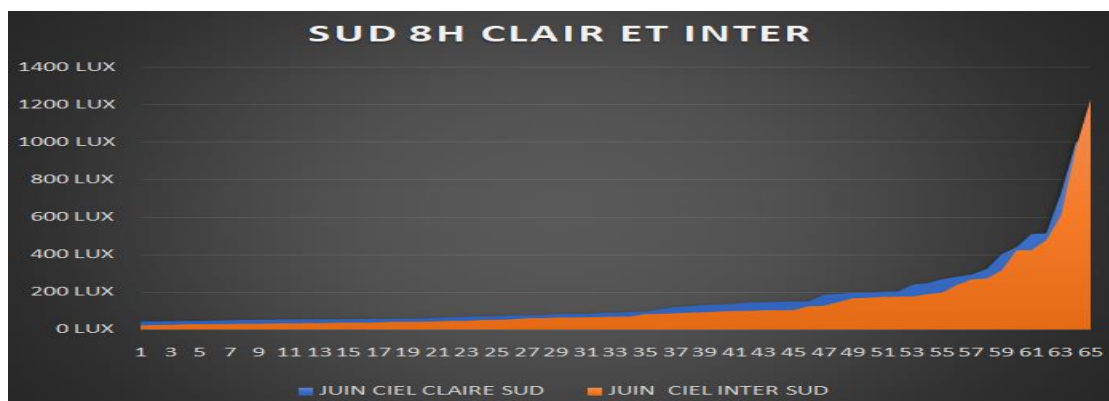


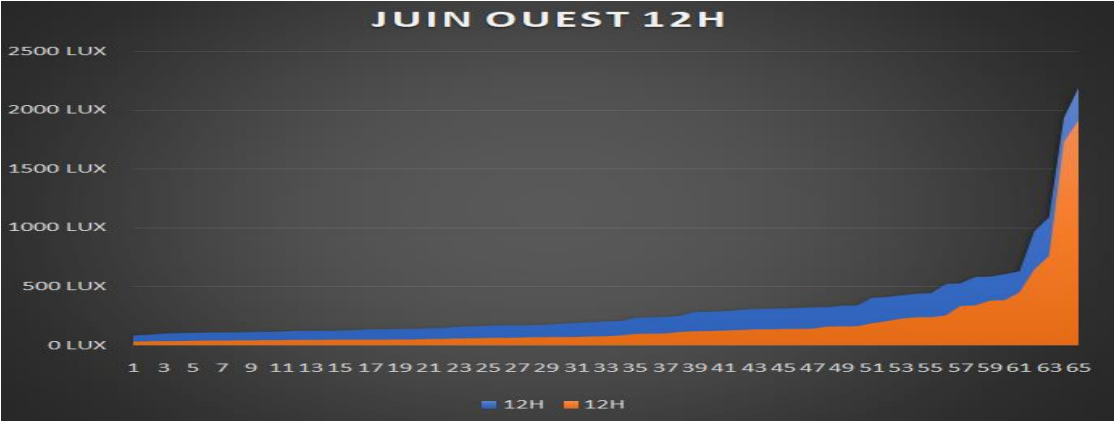
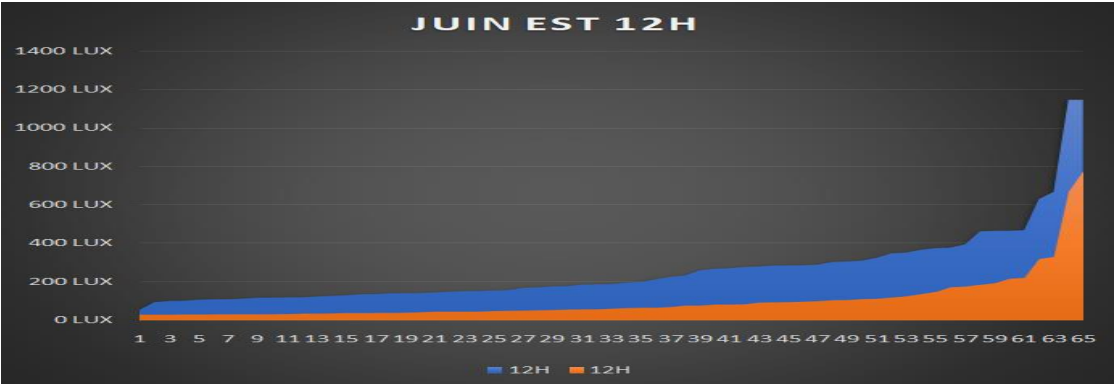
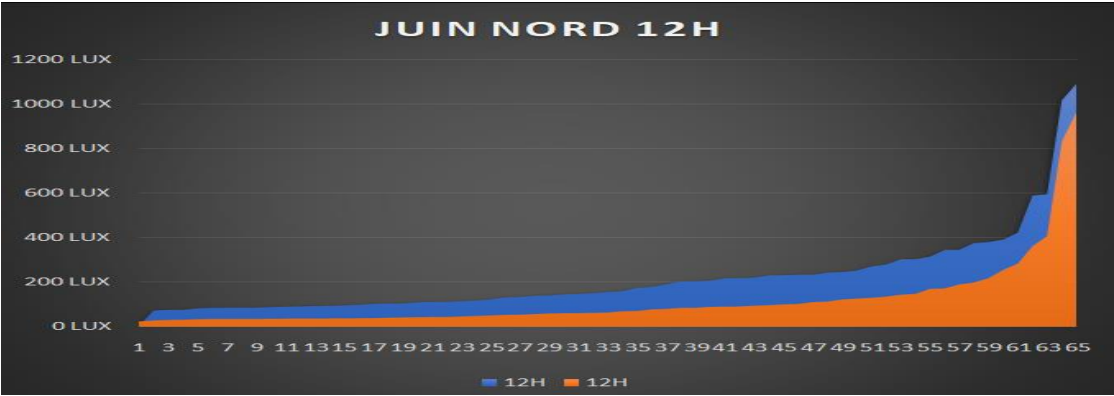
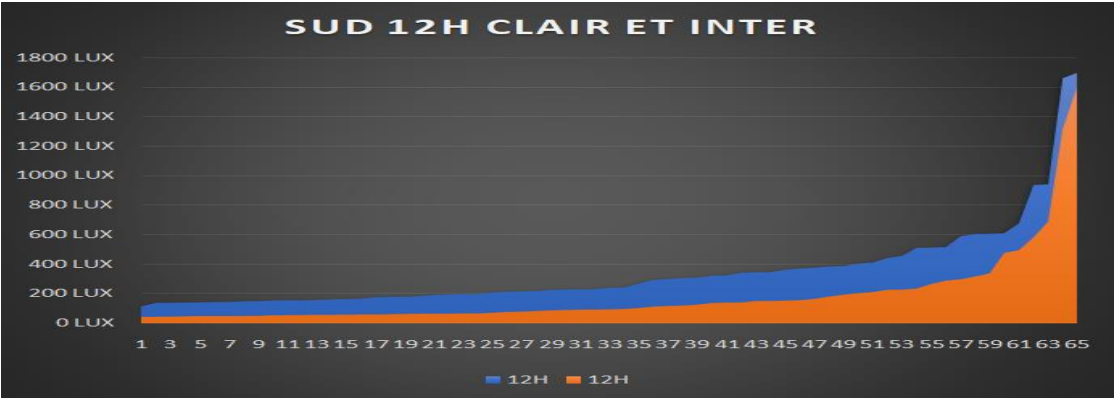












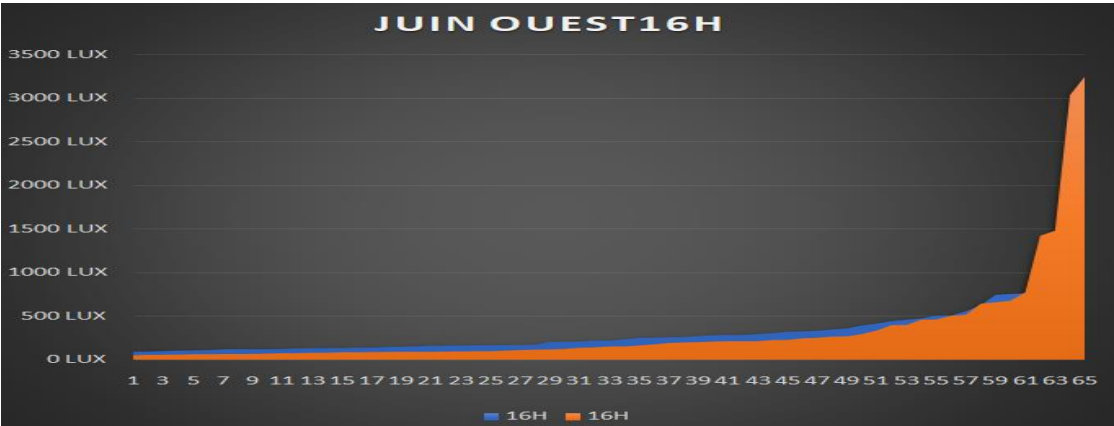
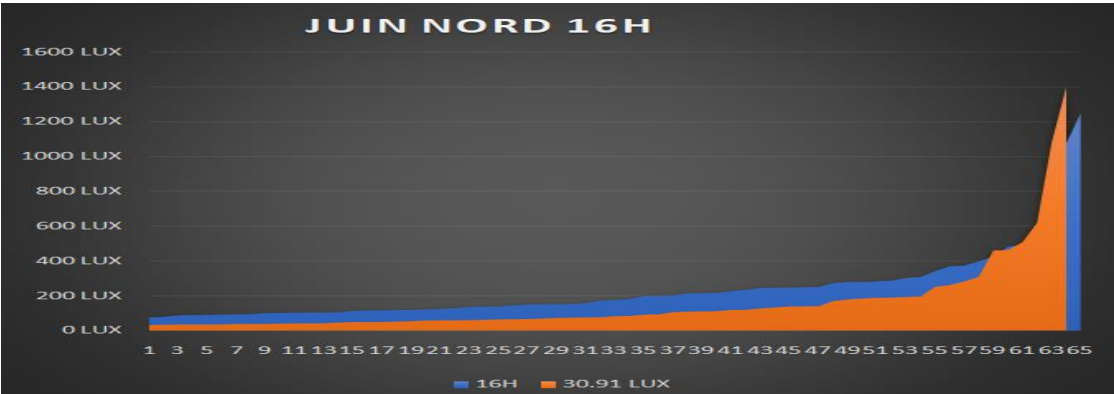
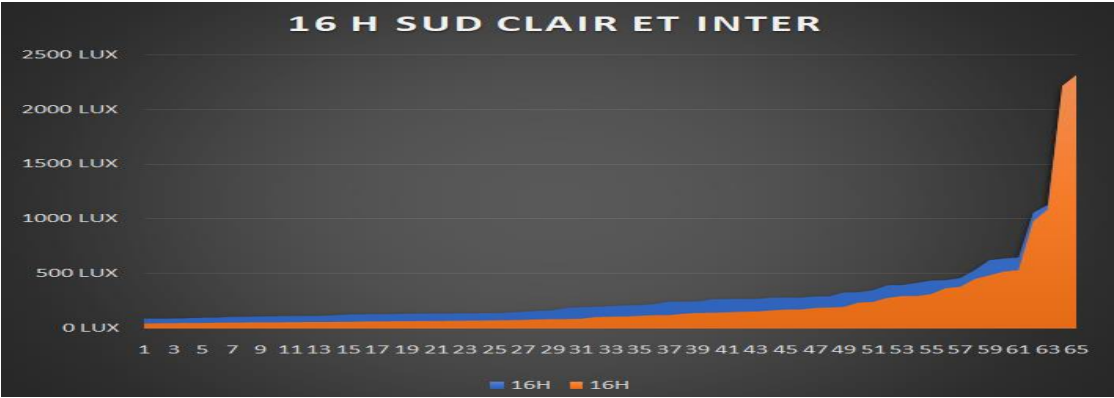


TABLEAU GLOBAL DES RESULTATS DE LA SIMULATION

			Ciel clair							Ciel intermédiaire						
			E_{tot} (Lux)	U_0	ZCV	ZIV _i	ZIV _s	ZIV _s	E_{tot}	U_0	ZCV	ZIV _i	ZIV _i	ZIV _s	ZIV _s	
					100-500lux	<100lux %	%jour %	>500lux %	%jour %			100-500lux	<100lux	%jour	>500lux	%jour
21 D E C E M B R E	S U D	8h	142.9	0.16	28.78	68.14	44.10	3.08	8.00	60.97	0.12	10.60	89.39	64.12	0	4.04
		12h	488.38	0.18	78.78	7.59		13.63		269.52	0.16	40.90	50.00		9.10	
		16h	203.69	0.20	33.33	56.61		6.06		152.35	0.28	43.93	53.04		3.03	
	N O R D	8h	81.08	0.20	16.67	83.33	61.14	0	2.20	39.85	0.14	6.06	93.94	82.83	0	1.51
		12h	194.06	0.33	51.50	45.47		3.03		136.65	0.20	25.76	71.21		3.03	
		16h	152.35	0.28	40.04	54.54		3.03		83.61	0.17	15.15	83.34		1.50	
	E S T	8h	203.70	0.20	41.00	49.94	50.4	6.06	4.09	68.16	0.14	12.20	86.26	72.70	1.52	3.03
		12h	198.96	0.30	47.00	46.82		3.18		189.71	0.18	37.88	57.58		4.54	
		16h	153.62	0.25	41.00	54.53		30.30		122.07	0.18	22.73	74.23		3.03	
	O U E S T	8h	87.14	0.18	15.15	84.85	50.1	0	8.00	35.72	0.14	7.58	92.42	69.20	0	5.05
		12h	280.49	0.23	48.00	34.84		10.61		162.16	0.14	30.30	63.64		6.06	
		16h	305.42	0.18	57.58	30.29		12.13		240.60	0.14	39.40	51.50		9.10	
21 M A R S	S U D	8h	127.85	0.24	27.27	68.19	30.30	4.55	8.00	70.60	0.16	15.15	83.33	58.57	1.52	7.07
		12h	447.53	0.26	92.42	6.06		1.51		297.59	0.20	48.49	40.90		10.61	
		16h	385.83	0.24	66.67	16.66		16.67		275.07	0.14	39.40	51.50		9.10	
	N O R D	8h	80.67	0.17	16.66	83.34	41.92	0	4.04	48.26	0.15	7.58	92.42	69.69	0	3.53
		12h	265.85	0.38	78.79	13.63		7.58		178.88	0.20	37.90	56.04		6.06	
		16h	242.21	0.31	51.00	28.79		4.55		195.08	0.20	34.84	60.61		4.55	
	E S T	8h	258.81	0.33	71.21	19.69	29.28	9.10	8.08	174.49	0.19	36.37	57.57	61.62	6.06	6.06
		12h	236.84	0.33	63.64	28.78		6.06		179.38	0.19	37.90	54.52		7.58	
		16h	234.70	0.18	51.52	39.38		9.10		146.71	0.11	22.73	72.72		4.55	
	O U E S T	8h	79.05	0.18	12.12	84.87	34.35	0	10.10	32.56	0.15	4.55	95.45	61.10	0	8.59
		12h	390.37	0.27	81.80	4.55		13.64		278.21	0.13	34.88	53.02		9.10	
		16h		0.21	72.70	10.63		16.67		463.20	0.15	48.49	34.84		16.67	
21 J U I N	S U D	8h	200.30	0.22	43.94	46.96	19.15	9.10	14.16	191.69	0.15	31.82	74.24	55.04	6.06	8.59
		12h	425.23	0.33	81.80	1.50		19.70		246.49	0.20	43.94	46.96		9.10	
		16h	420.67	0.26	77.30	9.01		13.69		337.04	0.15	45.46	43.93		10.61	
	N O R D	8h	161.49	0.30	42.40	54.56	36.46	3.04	15.1	144.85	0.17	25.76	71.21	65.65	3.03	4.04
		12h	267.21	0.34	69.50	24.50		6.00		152.49	0.20	27.28	69.69		3.03	
		16h	290.00	0.35	63.60	30.34		6.06		210.43	0.16	37.88	56.06		6.06	
	E S T	8h	422.72	0.15	68.20	19.68	10.61	12.12	24.24	293.40	0.17	44.00	46.90	60.59	9.10	15.13
		12h	317.76	0.36	93.93	0.01		6.06		131.79	0.24	22.73	74.27		3.00	
		16h	279.98	0.38	81.80	12.14		6.06		159.60	0.22	36.37	60.6		3.03	
	O U E S T	8h	155.61	0.33	42.45	53.00	18.57	4.55	13.25	99.41	0.17	15.16	80.29	55.53	4.55	9.10
		12h	420.99	0.28	81.81	1.19		17.00		263.07	0.16	42.43	51.47		6.10	
		16h	483.74	0.25	83.33	1.53		18.20		463.29	0.13	48.50	34.83		16.67	

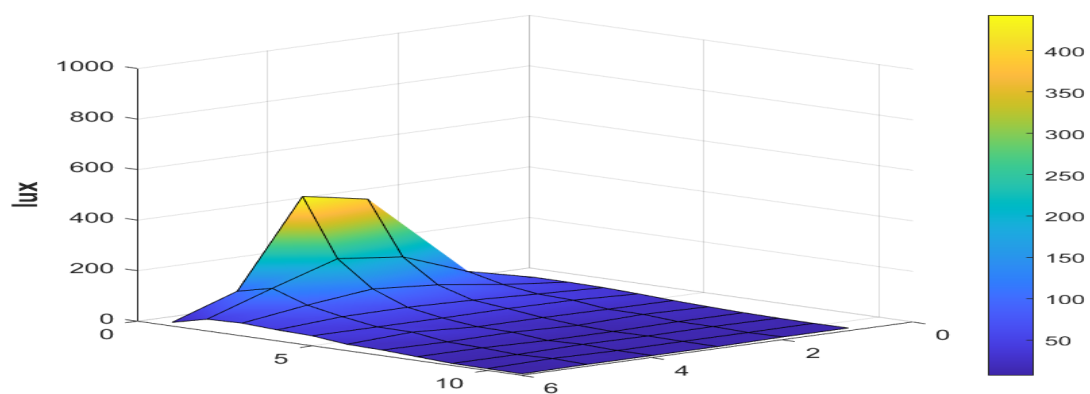
 E_m : Niveau d'éclairement moyen U_0 : Indice d'uniformité

ZCV : Zone de confort visuel

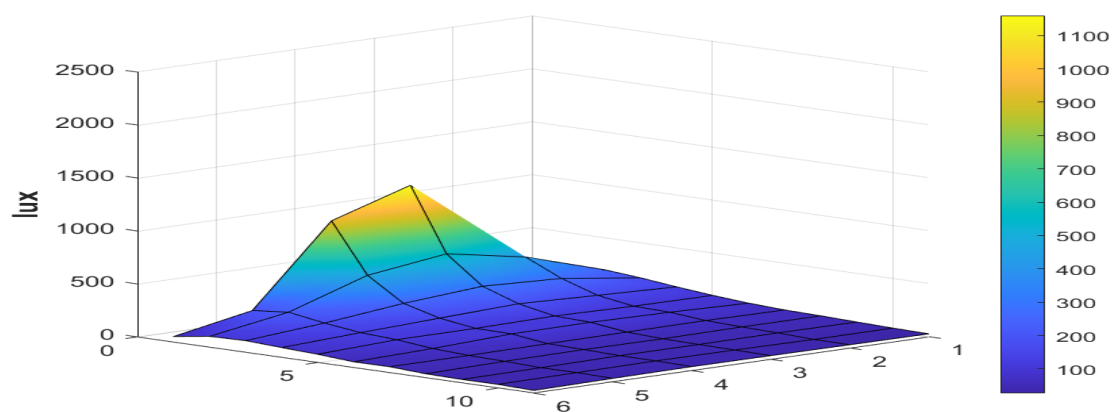
ZIV_i : Zone d'inconfort visuel pour des niveaux d'éclairement < 100 LuxZIV_s : Zone d'inconfort visuel pour des niveaux d'éclairement > 500 Lux

RESSULTAT DE SIMULATION : CAS DE DECEMBRE SOUS CIEL INTERMEDIAIRE

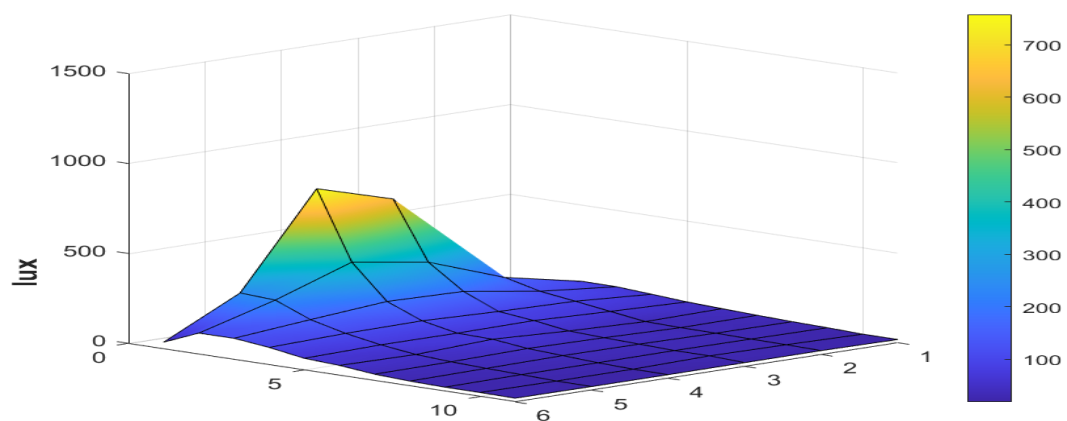
Est 8H

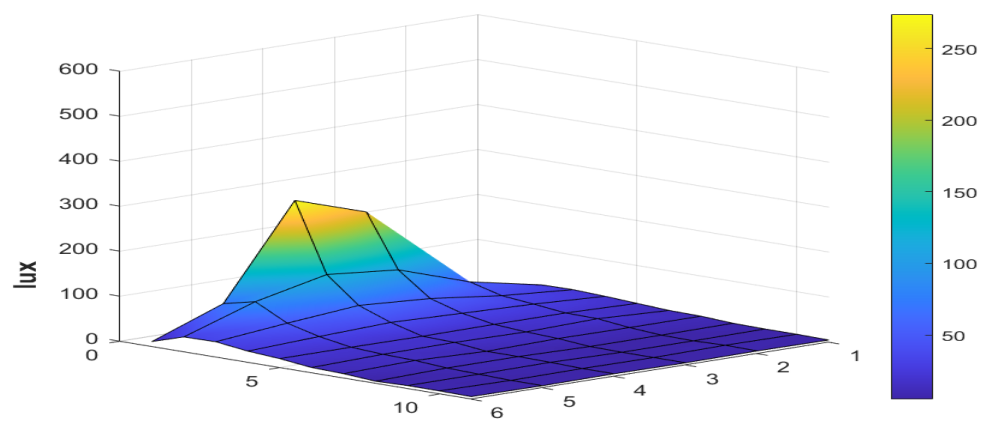
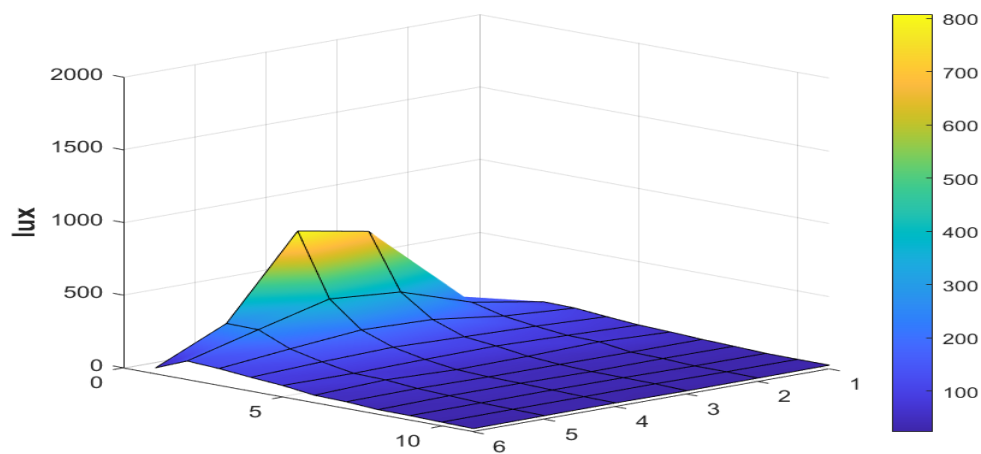
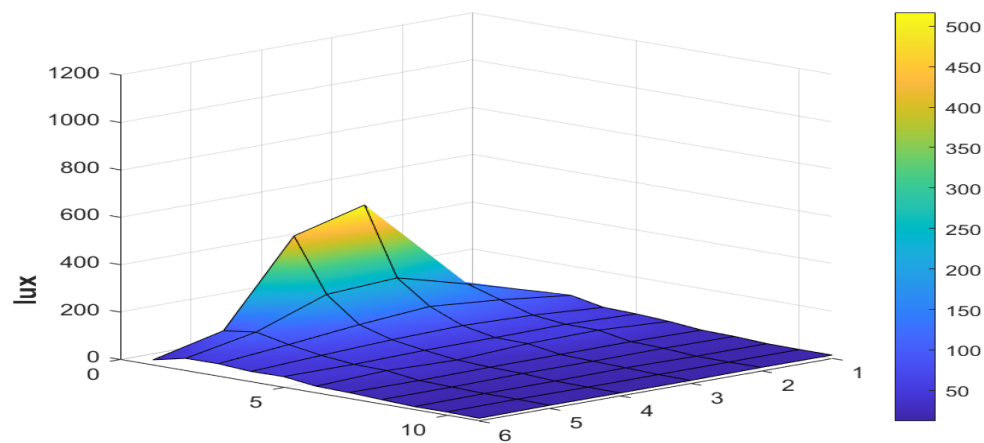


Est 12H

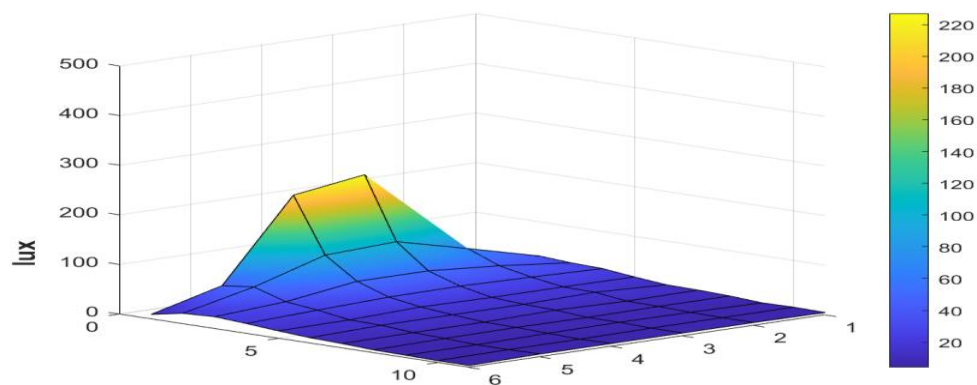


Est 16H

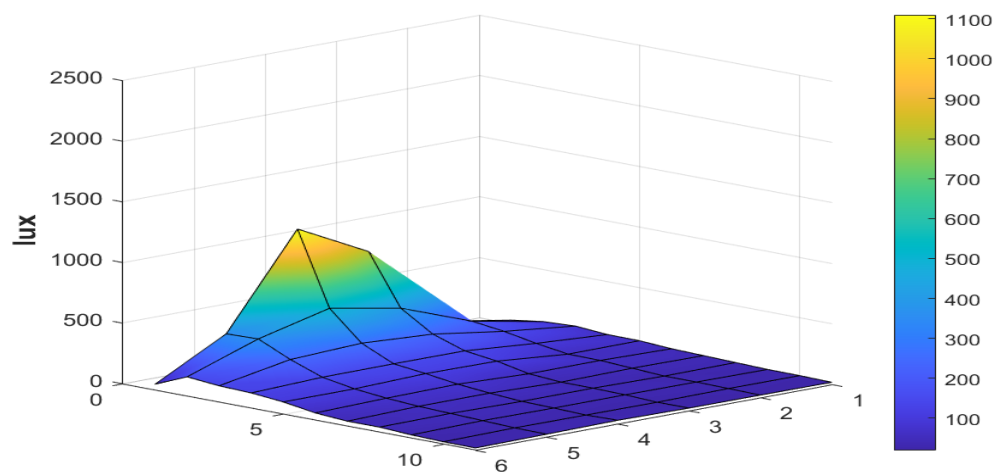


Nord 8H**Nord 12H****Nord 16H**

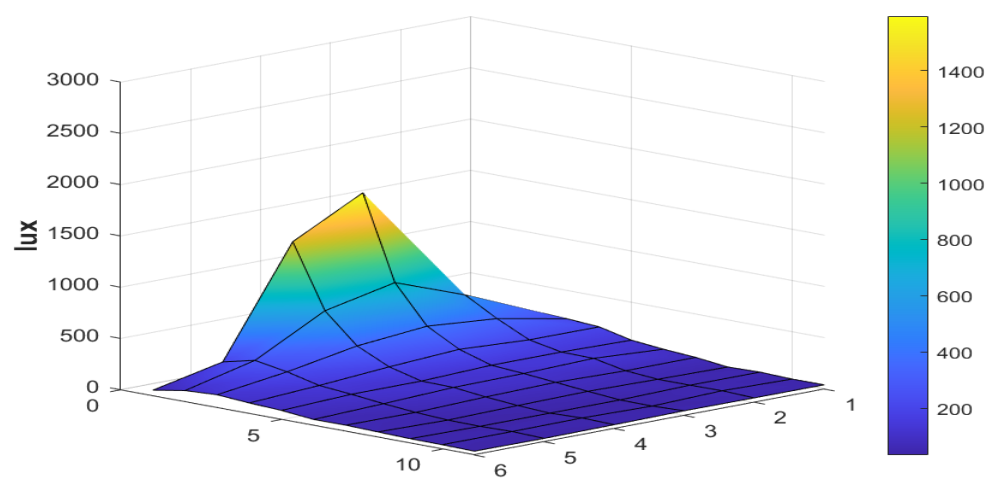
Ouest 8H

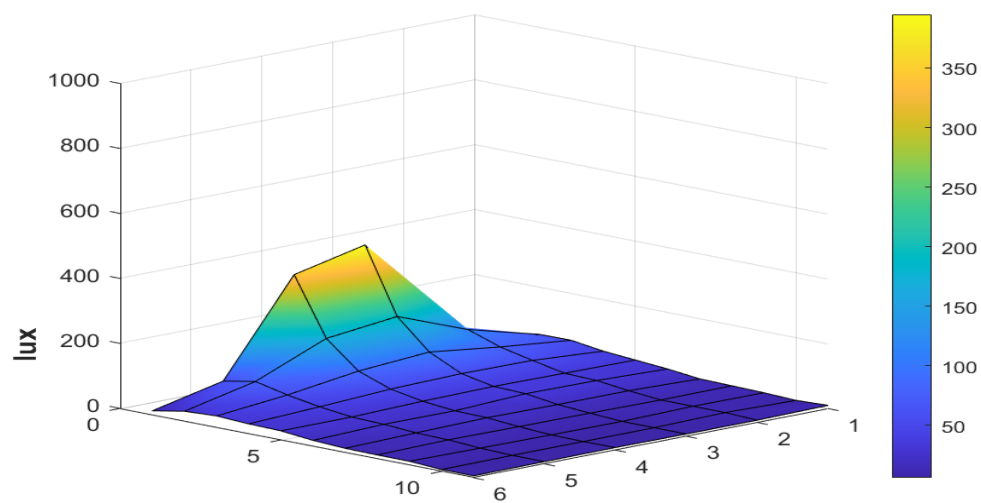
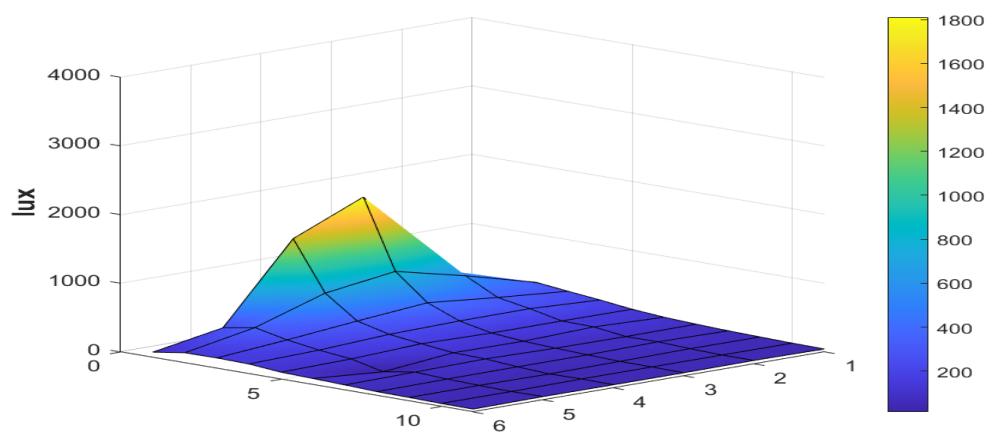
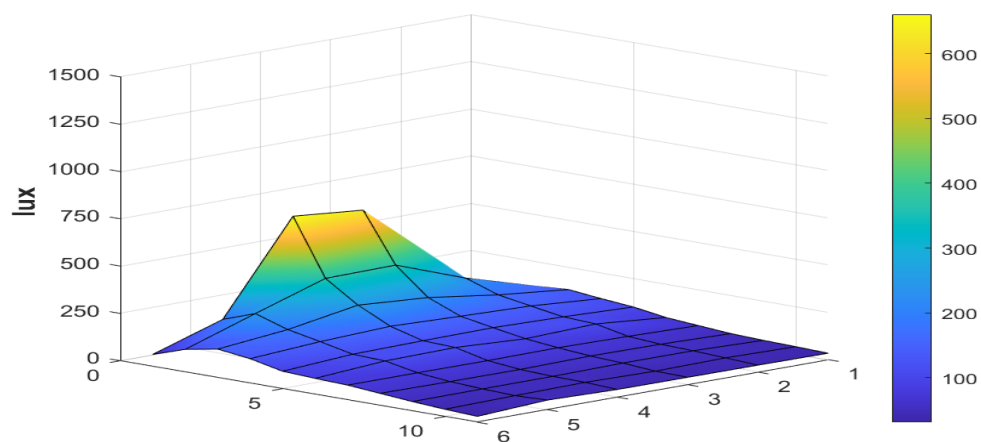


Ouest 12H



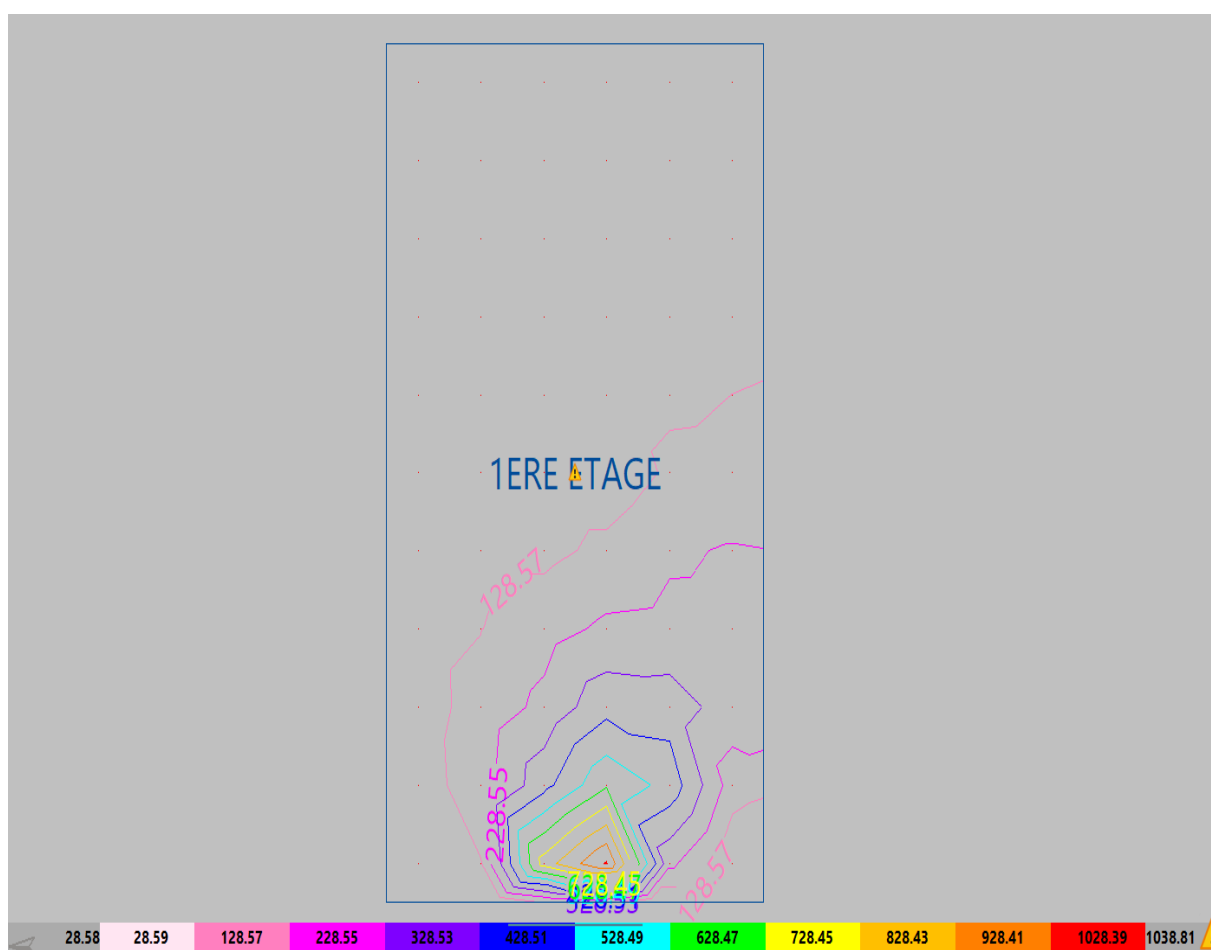
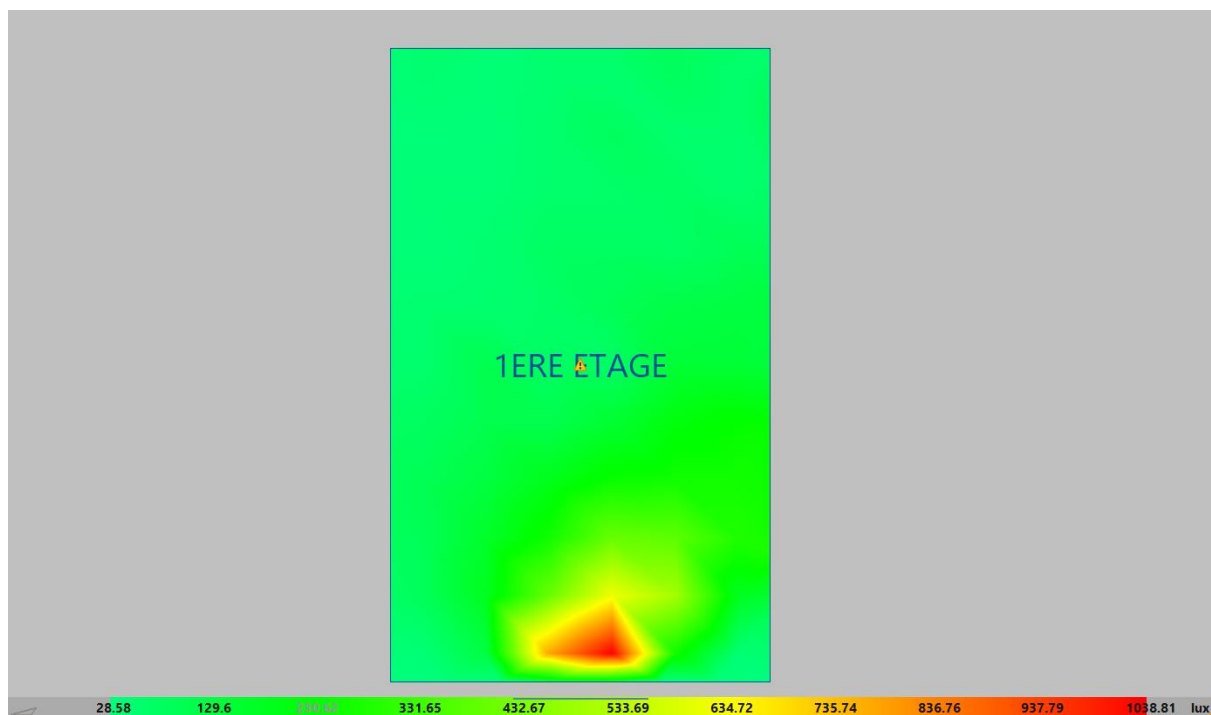
Ouest 16H



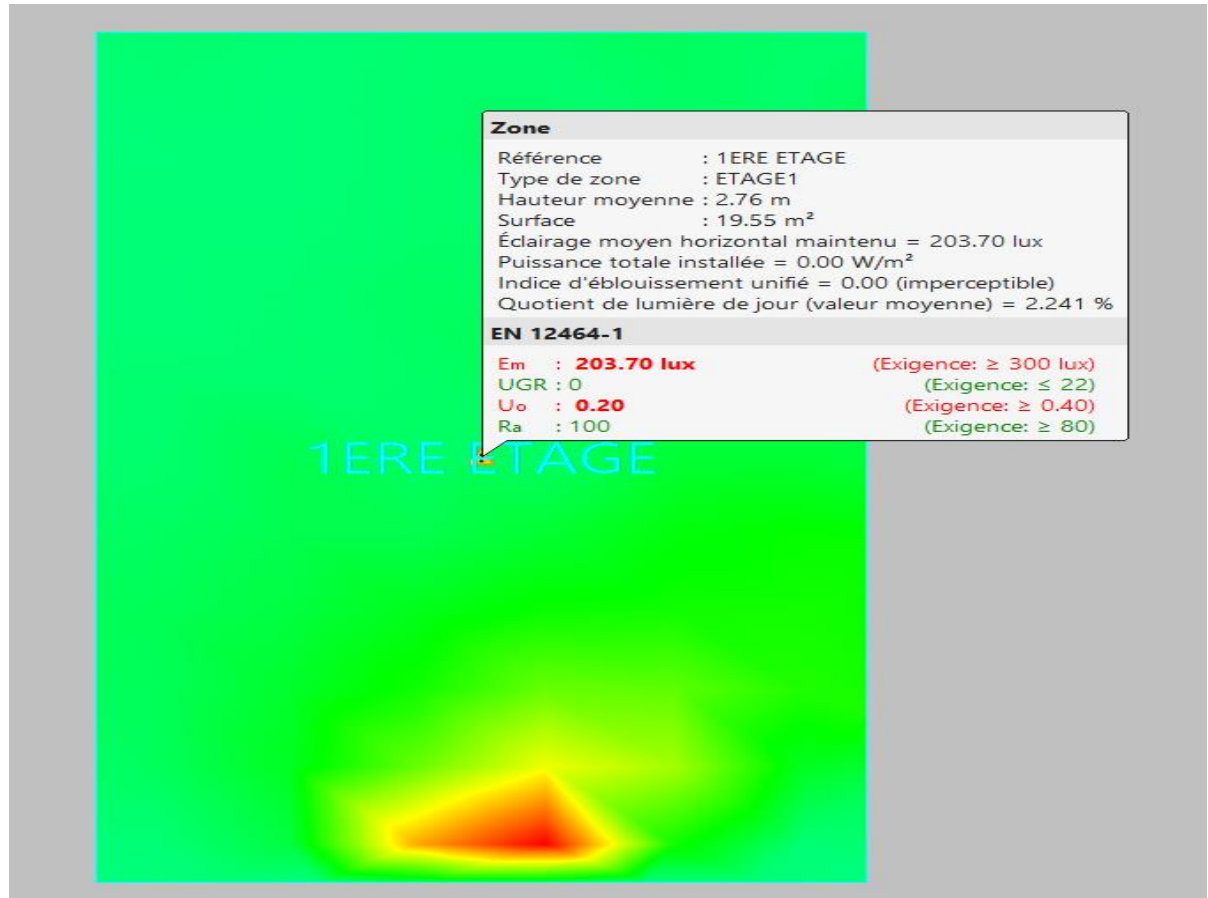
Sud 8H**Sud 12H****Sud 16H**

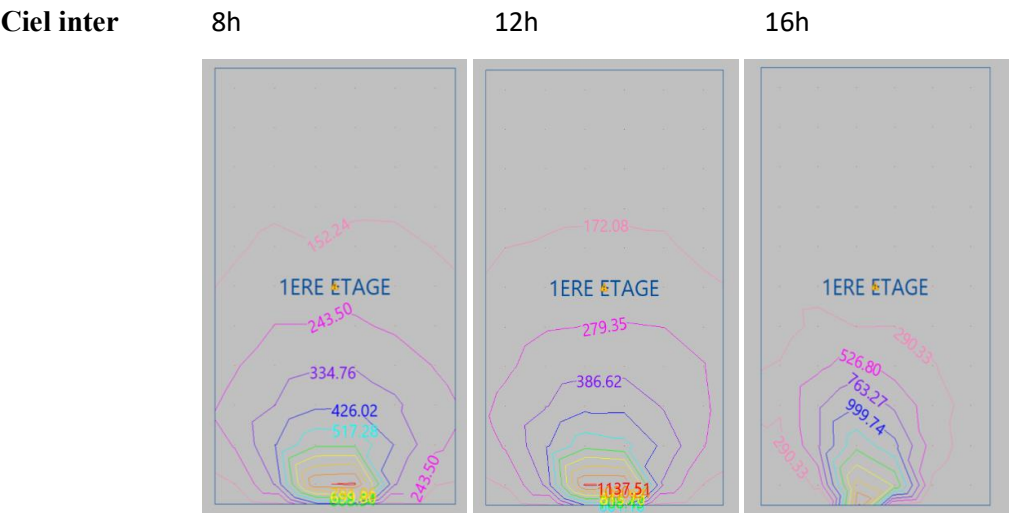
ECHANTILLON DE LA SORTIE DU LOGICIEL

DECEMBRE 8H CIEL CLAIR. EST

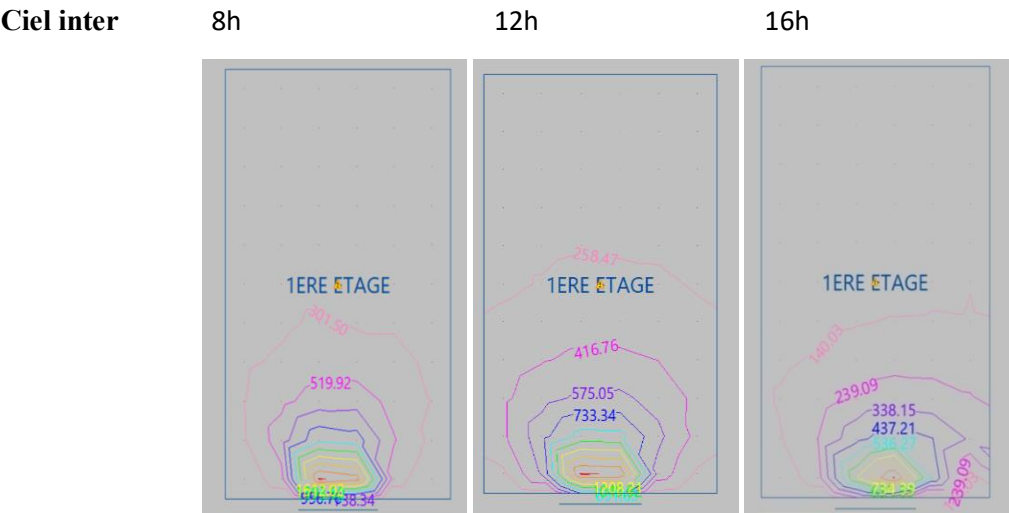
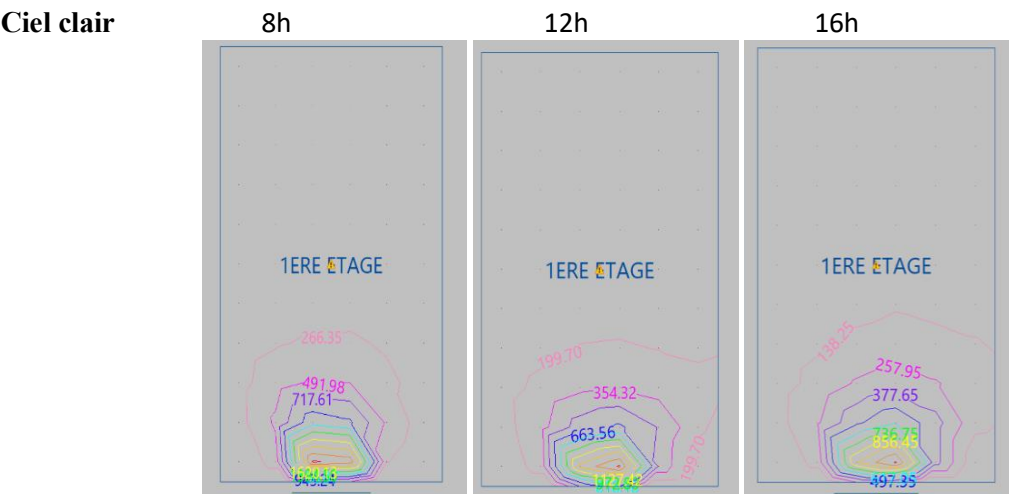


51.67	42.22	56.14	55.89	80.88	57.98
38.19	40.05	59.39	81.76	56.36	56.53
45.11	44.23	62.11	62.92	72.42	57.24
40.1	53.01	74.36	76.27	70.88	95.84
54.71	56.47	66.53	93.41	116.73	128.91
58.29	102.41	71.39	69.24	142.4	145.1
77.03	104.3	104.13	150.19	212.35	237.99
95.4	126.4	187.52	247.54	258.2	260.26
92.49	160.04	256.52	395.96	380.18	279.47
85.44	178.63	396.23	612.23	492.1	178.81
44.84	125.03	774.51	1038.81	254.02	46.17



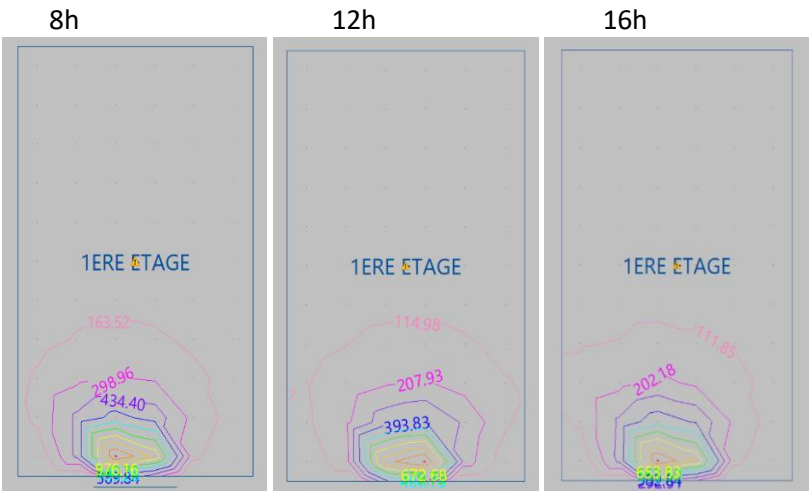


Juin Sud

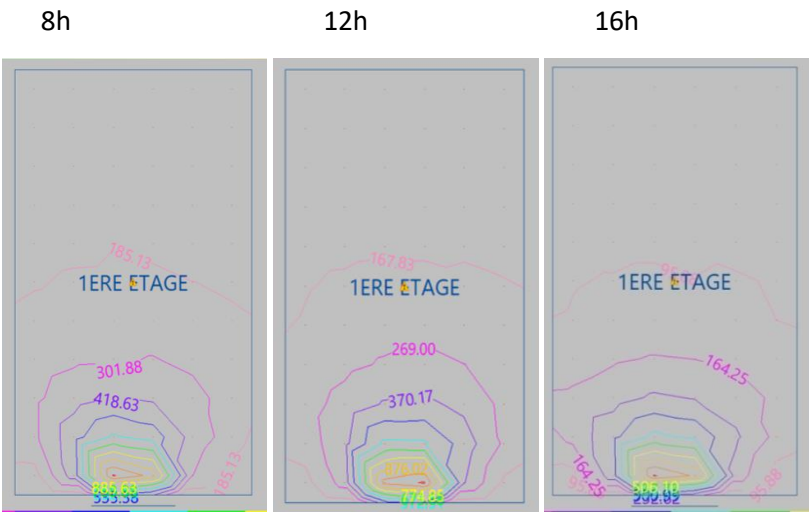


Juin Nord

Ciel clair

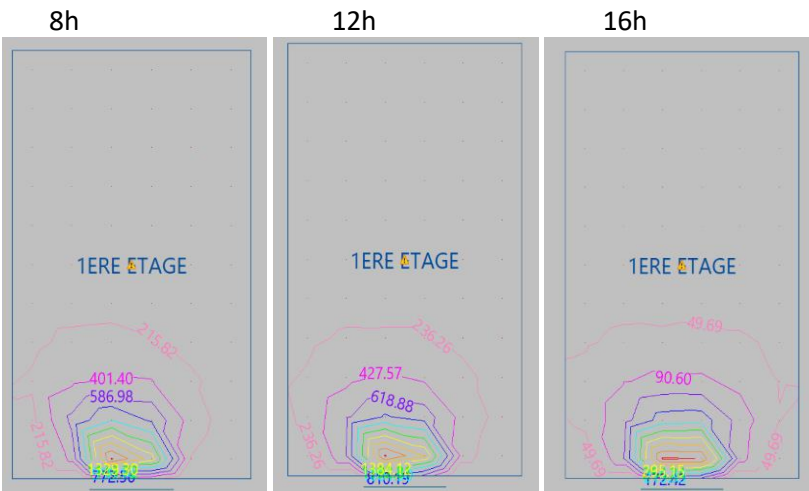


Ciel inter

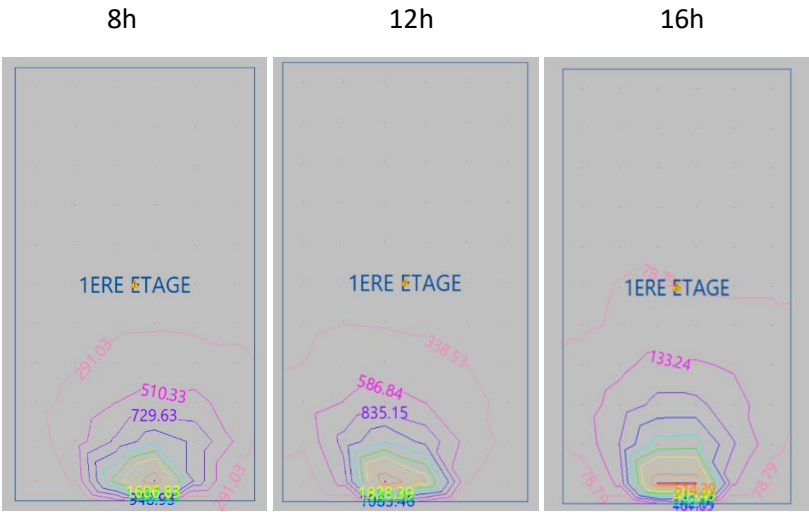


Mars Sud

Ciel clair



Ciel inter



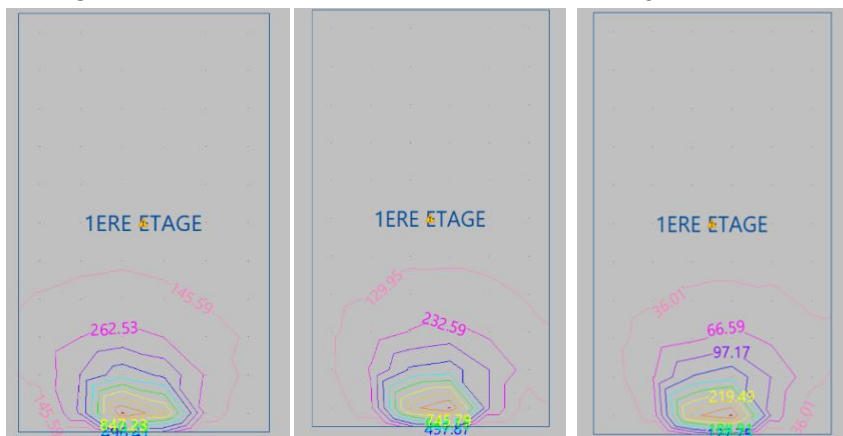
Mars Nord

Ciel clair

8h

12h

16h

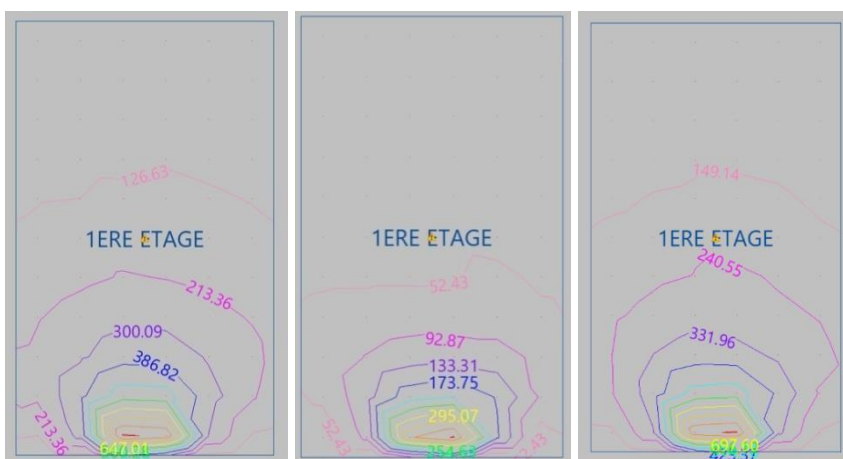


Ciel inter

8h

12h

16h



Mars Est

Ciel clair

8h

12h

16h

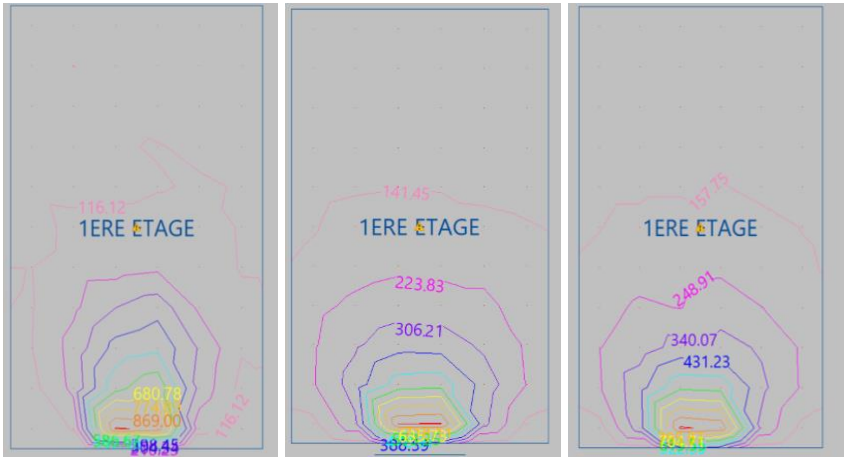


Ciel inter

8h

12h

16h



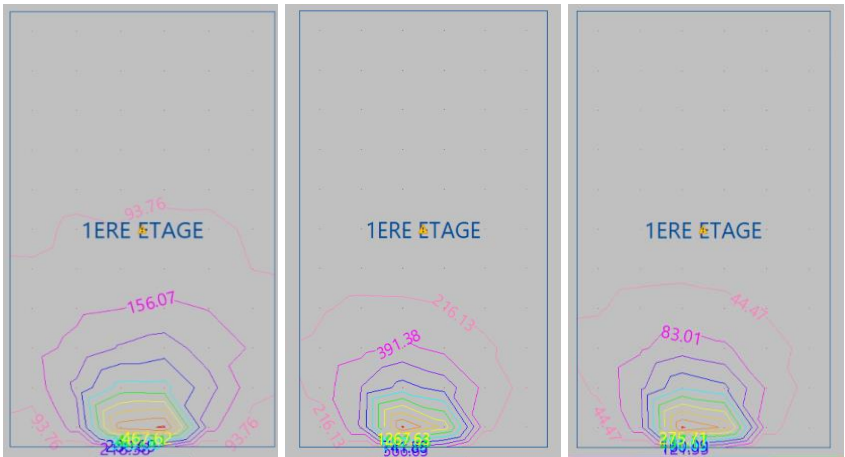
Decembre Sud

Ciel clair

8h

12h

16h

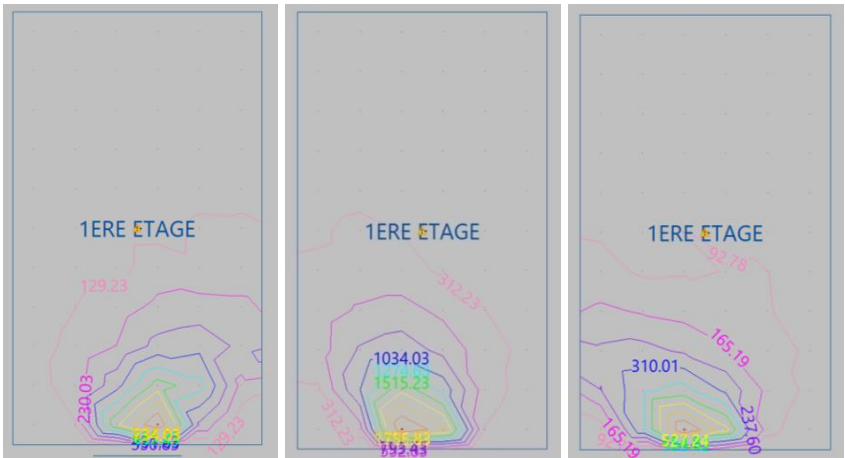


Ciel inter

8h

12h

16h



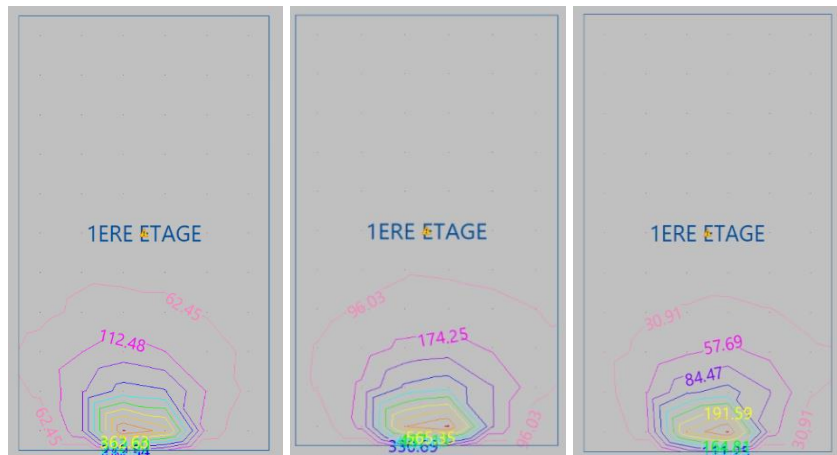
Decembre Nord

Ciel clair

8h

12h

16h

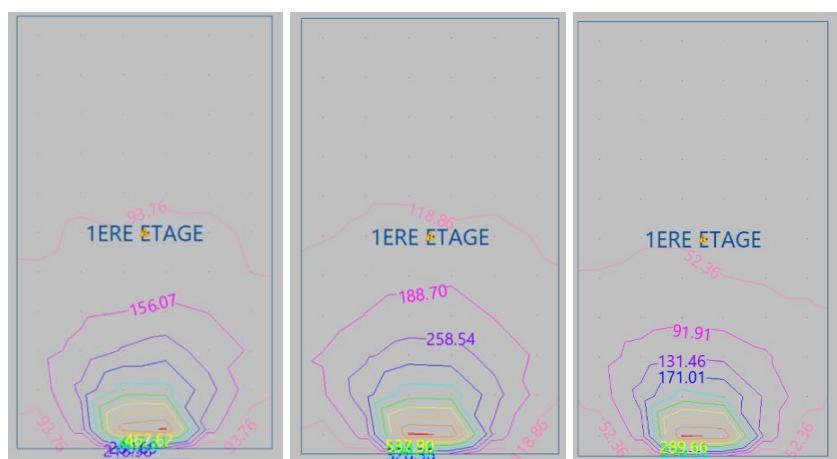


Ciel inter

8h

12h

16h



Decembre Ouest

Ciel clair

8h

12h

16h

