

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



UNIVERSITE SALAH BOUBNIDER CONSTANTINE 3

FACULTE D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME
DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE



MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de MAGISTER
OPTION : ARCHITECTURE CLIMATIQUE ET ENVIRONNEMENT

THEME

**Les façades dynamiques; moyen de contrôle solaire
pour accroître l'efficacité énergétique des équipements
administratifs en climat aride - Biskra**

Présenté par : **Cherif BENBACHA**

Sous la direction de : **Prof. Fatiha BOURBIA**

Jury d'examen :

Président :	Saliha ABDOU	Professeur	Université Constantine 3
Examineur :	Yasmina BOUCHAHM	Professeur	Université Constantine 3
Examineur :	Samira DEBACHE	Professeur	Université Constantine 3
Rapporteur :	Fatiha BOURBIA	Professeur	Université Constantine 3

Soutenu en: Novembre 2017

A nos martyrs qui ont sacrifié pour notre pays

A la mémoire de ma chère grand-mère

« KEBCI Tefaha »

Cherif BENBACHA, 2017

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier le bon Dieu le tout-puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance et mes plus sincères remerciements à mon encadreur, le professeur et la directrice du laboratoire Architecture Bioclimatique et Environnement (A.B.E) BOURBIA Fatiha, pour son suivi, ses nombreux conseils et ses critiques constructives. Je la remercie pour son encadrement, son expérience, sa disponibilité, son aide, et son soutien, tout au long de ce travail.

Je remercie nos chères enseignantes Mesdames : *ABDOU Saliha, BOUCHAHM Yasmina, DEBACHE Samira, BENHASSINE TOUAM Nassira* pour leurs encouragements.

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

J'exprime ma sincère gratitude à Monsieur : Pr. *ATTIA Shady* de l'université de Liège - Belgique pour son aide à ma participation au Summer School « Adaptive Facades » à l'université de Hambourg –Allemagne.

Je tiens à remercier mes collègues de la promotion de post-graduation 2014 avec qui j'ai passé de bons moments. Ainsi, mes chaleureux remerciements à *NAIT Nadia, SOTEHI Oualid, BOUKHELKHAL Islam, RAMOUL Asma* qui ont gravé leurs traces brillantes dans ma mémoire.

Je tiens à remercier également mes inséparables (*Okba Benameur, Zakaria Guenidi, Brahim Charef Eddine Larouci, Amine Merdaci, Safieddine Ounis, Hicham Hadbaoui, Mohammed Lamine*) pour leurs soutiens inestimables, esprit de partage et leurs accompagnements durant toutes les phases de ce travail.

Résumé:

Dans les climats chauds et secs, l'excès des gains solaires peut entraîner une consommation énergétique élevée avec des conditions intérieures désagréables. Le contrôle solaire est un paramètre important, à considérer dans la conception des bâtiments pour améliorer l'efficacité énergétique. Les systèmes avancés du CAO intègrent des outils de calcul, tels que les systèmes de conception paramétriques, qui permettent de concevoir des bâtiments avec des enveloppes adaptatives aux changements de l'environnement extérieur. Le design paramétrique permet la conception des enveloppes de construction innovantes, plus adaptables et interactives, répondant activement aux conditions météorologiques, il permet aussi d'améliorer la performance énergétique et le confort thermique intérieur. Cette étude examine et évalue l'effet des panneaux d'ombrage dynamiques sur le confort thermique intérieur et l'efficacité énergétique. Le contrôle du rayonnement solaire se fait par le calcul de la taille et le mouvement de l'unité de base du panneau d'ombrage en réponse aux changements environnementaux. Les panneaux photovoltaïques (PV) semi-transparents ont été utilisés comme matériau des panneaux d'ombrage, afin d'assurer leur autonomie vis-à-vis de leurs mouvements. Ce dispositif est appliqué pour la protection des façades vitrées d'un immeuble dont le ratio des parois transparentes est trop élevé. Cette étude a été menée à la ville de Biskra (34,6 N de latitude) caractérisé par un climat chaud et aride, situé au sud de l'Algérie. Les résultats obtenus par simulation du bâtiment avec le dispositif d'ombrage intégré, en utilisant GECO-Grasshopper (extension paramétrique pour Rhino), ont montré que les panneaux d'ombrage dynamiques intelligents équipés de modules photovoltaïques ont influencé de manière positive le niveau de confort thermique et visuel, ainsi que l'efficacité énergétique du bâtiment.

Mots-clés: façades cinétiques, efficacité énergétique, confort thermique intérieur, Grasshopper, panneaux photovoltaïques, climats secs et chauds.

Sommaire

Sommaire

Dédicace	
Remerciements	
Résumé	
Table des matières	I
Liste des figures	VI
Liste des tableaux	X
Nomenclature	XI

Introduction générale

Introduction	1
1. Problématique	3
2. Les hypothèses	4
3. Objectifs de la recherche	5
4. Méthodologie de la recherche	5
5. Structure du mémoire	6

Chapitre I

Les enveloppes adaptatives

Introduction	7
I.1. Les enveloppes architecturales :	7
I.1.1. Définition de l'enveloppe architecturale :	7
I.1.2. Définition de l'enveloppe adaptative :	8
I.2. Le développement historique des enveloppes :	8
I.2.1. L'enveloppe dans l'architecture vernaculaire :	8
I.2.2. L'enveloppe dans les anciennes civilisations :	9
I.2.2.1. La civilisation gréco-romaine :	10
I.2.2.2. Les bâtisseurs du moyen âge:	11
I.2.2.3. L'enveloppe architecturale dans l'architecture islamique :	12
I.2.3. L'enveloppe et la façade dans la renaissance : vers des principes esthétiques extérieurs	13
I.2.4. L'enveloppe dans l'architecture baroque : l'art de la mise en scène	14
I.2.5. L'enveloppe dans l'architecture fonctionnaliste :	15
I.2.6. L'enveloppe dans le mouvement moderne :	16
I.2.7. L'enveloppe dans le High — Tech :	17
I.3 Les enveloppes adaptatives au climat :	18
I.3.1. L'apparition des enveloppes adaptatives :	18
I.3.2. Les enveloppes adaptatives contemporaines :	19
I.3.2.1. Institut du monde Arabe :	19

I.3.2.2. Al Bahar tours :	20
I.3.2.3. Centre d'Architecture HelioTrace :	21
I.3.2.4. Q1 Building :	23
I.4. Les types de mouvement d'une façade dynamique :	24
I.4.1. Les types de contrôles des systèmes adaptatifs:	26
I.4.1.1. Le contrôle extrinsèque :	26
I.4.1.2. Le contrôle intrinsèque :	26
I.4.2. Comparaison des systèmes :	27
Conclusion :	28

Chapitre II

La conception paramétrique (concepts et outils)

Introduction	29
II.1. L'architecture paramétrique:	29
II.1.1. Définition de l'architecture paramétrique :	29
II.1.2. Les origines de « Parametric Design »:	31
II.1.3. Systèmes de conception paramétriques	32
II.1.3.1. Les composantes des modèles paramétriques :	32
II.1.3.2. La modélisation paramétrique :	32
II.1.3.2.1. <i>Les fonctions dans la modélisation</i> :	33
II.1.4. Les outils de modélisation paramétrique :	34
II.1.4.1. Rhinocéros :	34
II.1.4.2. Grasshopper:	35
II.1.4.3. Autres logiciels paramétriques :	35
II.1.5. Le paramétrique et la simulation dynamique :	37
II.1.5.1. La définition de la simulation :	37
II.1.5.2. La simulation et l'architecture numérique :	37
II.2. Les styles de conception paramétriques :	38
II.2.1. Le Parametricism :	39
II.2.1.1. Définition conceptuelle du parametricism:	39
II.2.1.2. Définition opérationnelle du parametricism :	40
II.2.1.2.1. Heuristique fonctionnelle négative (tabou fonctionnel) :	40
II.2.1.2.2. Heuristique fonctionnelle positive (dogme fonctionnel) :	40
II.2.1.2.3. Heuristiques formelles négatives (tabous formels) :	40
II.2.1.2.4. Heuristiques formelles positives (dogme positif) :	40
II.2.1.3. Les caractéristiques du parametricism :	41

II.2.1.4. Des aspects dans le paradigme de parametricism :.....	42
II.2.1.4.1. L'inter-articulation des sous-systèmes :	42
II.2.1.4.2. L'accentuation :	43
II.2.1.4.3. La réceptivité :	43
II.2.1.4.4. La figuration :	44
II.2.1.4.5. L'urbanisme paramétrique :	44
II.3. De la conception paramétrique vers la conception générative :	45
II.3.1. Définition de la conception générative :	45
II.3.2. Description des algorithmes génétiques :	46
II.3.3. L'application de la conception générative dans l'architecture	47
Conclusion.....	48

Chapitre III

La performance thermique et l'efficacité énergétique des façades dynamique (L'état de l'art)

Introduction :	49
III.1. Effet des façades dynamiques sur la performance énergétique :	50
III.2. La performance thermique des façades dynamiques :	57
III.3. La façade dynamique et la production d'énergie :	60
III.4. L'impact des façades adaptatives sur le confort visuel :	63
III.5. Les façades dynamiques et méthodes de conception :	65
III.5.1 Paramètres de conception des façades cinétiques :	66
Conclusion :	67

Chapitre IV

Simulation et mesures

Introduction :	69
IV.1. Aperçu sur la ville de Biskra :	71
IV.1.1. Situation de la ville de Biskra :	71
IV.1.2. Aperçu sur le climat de la ville de Biskra :	71
IV.1.2.1. La température :	71
IV.1.2.2. L'humidité relative de l'air :	72
IV.1.2.3. Le régime des vents :	72
IV.1.2.4. Les précipitations :	72
IV.1.3. L'analyse bioclimatique de la ville de Biskra :	74
IV.1.3.1. Les radiations solaires directes - la ville de Biskra :	75

IV.1.3.1.1. Le calcul du facteur solaire FS :.....	76
IV.2. Aperçu sur la consommation énergétique en Algérie :	77
IV.3. Présentation de l'exemple d'étude :	79
IV.4. Campagne de mesures in situ :	81
IV.4.1. Période de mesures :	81
IV.4.2. Méthodologie de mesures :	81
IV.4.3. Interprétation et analyse des résultats :	83
IV.4.3.1. Température de l'air intérieure en été :	83
IV.5. Modélisation et simulation dynamique :.....	84
IV.5.1. Choix des logiciels de simulation pour l'expérimentation :.....	84
IV.5.1.1. Rhinoceros / Grasshopper et GECO :	84
IV.5.1.2. Autodesk Ecotect Analysis 2011 :	84
IV.5.2. Simulation du bâtiment administratif :.....	85
IV.5.2.1. Configuration des entrées :	85
IV.5.2.2. Introduction des données relatives aux matériaux :	86
IV.5.2.3. Fichier des données météorologiques :	87
IV.6. Résultats de la simulation du bâtiment :	87
IV.6.1. Température de l'air intérieur :	87
IV.6.2. Radiations solaires directes :.....	88
IV.6.2.1. Estimations des apports solaires :	89
IV.6.3. Détermination de la période de surchauffe :	90
IV.6.4. Résultats relatifs à la consommation énergétique :	91
IV.6.4.1. Estimation de la consommation énergétique annuelle du bâtiment :	92
Conclusion.....	93

Chapitre V

Résultats et interprétation

Introduction :.....	94
V.1. Définition paramétrique du dispositif d'ombrage dynamique :	95
V.1.1. Design du dispositif d'ombrage :	95
V.1.2. Modèle paramétrique du dispositif d'ombrage :	98
V.1.3. Détermination de la trajectoire solaire dans la ville de Biskra :.....	99
V.1.3.1. Programmation du dispositif d'ombrage:.....	100
V.1.4. Simulation dynamique du dispositif d'ombrage :	101
V.1.4.1. Les conditions internes:.....	101
V.1.4.2. Configuration des algorithmes paramétriques :.....	101
V.1.5. Intégration des panneaux photovoltaïques :	103

V.1.5.1. Détermination du facteur de transmission lumineuse :	104
V.2. Résultats de simulation considérant la façade dynamique :.....	106
V.2.1. Radiations solaires directes :	106
V.2.2. Résultats des des apports solaires :	108
V.1.1.3.1. Sans protection	108
V.1.1.3.2. Avec protection	110
V.2.3. Comportement thermique du bâtiment :	110
V.2.3.1. Comparaison de la température intérieure :	112
V.2.4. La consommation énergétique du bâtiment :	113
V.2.5. Production de l'électricité par les panneaux photovoltaïques :	114
V.2.5.1. Estimation de la consommation énergétique annuelle du bâtiment en DA :..	115
Conclusion :.....	116
Conclusion générale et recommandations.....	118
Bibliographie.....	122
Annexes.....	132
Abstract	
الملخص	

Liste des figures:

Chapitre I

Fig.I.1 : Abri primitif à ossature de bois et un toit de chaume, les îles Salomon	9
Fig.I.2 : Habitation traditionnelle des Bédouins dans le désert	9
Fig.I.3 : Le panthéon romain antique a Rome – Italie	10
Fig.I.4 : Maquette d'une maison Gracque.....	10
Fig.I.5 : Abbaye Saint-Jouin de Marnes – France.....	11
Fig.I.6 : Cathédrale Notre-Dame de l'Assomption de Pise — Italie	11
Fig.I.7 : Cathédrale Notre-Dame de Paris — France	12
Fig.I.8 : Cathédrale Notre-Dame de Chartres— France	12
Fig.I.9 : Façade intérieure d'une maison égyptienne – Le Caire	13
Fig.I.10 : Façade du complexe Qalawun —Égypte	13
Fig.I.11 : La façade de « Ca » d'Oro » ou la maison d'or a Venise – Italie	14
Fig.I.12 : Une façade colorée a Venise — Italie.....	14
Fig.I.13 : Le théâtre de Trévi a Rome – Italie.....	14
Fig.I.14 : La basilique de saint-pierre a Rome — Italie.....	14
Fig.I.15 : Le home insurance building a Chicago par William Le Baron Jenney.....	15
Fig.I.16 : Le bâtiment Wainwright a St Louis, Missouri par Louis Sullivan.....	15
Fig.I.17 : Vila Savoye, Poissy, France 1929 par Le Corbusier.....	16
Fig.I.18 : L'unité d'habitation de Marseille par Le Corbusier.....	16
Fig.I.19 : Le centre culturel George Pompidou par Renzo Piano	17
Fig.II.20 : Les 30 St Mary Axe (Swiss Re Building) par Norman Foster	17
Fig.I.21 : Le pavillon des États-Unis a Montréal – Expo 67.....	18
Fig.I.22 : La façade dynamique sud de l'Institut du monde arabe à Paris.....	19
Fig.I.23 : Le système dynamique d'ombrage à Al Bahar Tours.....	20
Fig.I.24 : Unité d'ombrage à différents états (fermée, semi-fermée, ouverte)	21
Fig.I.25 : Les modifications du comportement cinétique pendant la journée à Heliotrace	22
Fig.I.26 : Section 3D éclatée pour l'unité de fenêtre Helio Trace Center	22
Fig.I.27 : Le système d'ombrage de Q1 Building avec les ailettes verticales amovibles.....	23
Fig.I.28 : Typologie de mouvement de plans.....	24

Fig.I.29 : Des exemples exploitant le mouvement d'éléments de façade	25
---	----

Chapitre II

Fig.II.1 : Une façade modélisée avec un processus paramétrique	30
Fig.II.2 : Maquette d'un stade N par Luigi Moretti. Exposé à l'exposition Parametric Architecture de la XIIe triennale de Milan	31
Fig.II.3 : L'interface et le logo du logiciel Rhino	34
Fig.II.4 : L'interface et le logo du plug-in Grasshopper	35
Fig.II.5 : Une maquette numérique et le résultat d'une simulation de ventilation.....	38
Fig.II.6 : Une conception paramétrique d'une station de métro (le roi Abdullah) -L'Arabie saoudite, par Zaha Hadid	39
Fig.II.7 : Le centre culturel heydar aliyev, a Baku, par Zaha Hadid	41
Fig.II.8 : Subdivision et corrélation entre structure et forme de l'enveloppe architecturale	42
Fig.II.9 : Enveloppe architecturale avec une modulation de courbure par Zaha Hadid	43
Fig.II.10 : Systèmes d'ombrage réactifs et adaptatifs	43
Fig.II.11 : Plan de masse proposé pour la ville d'Istanbul	44
Fig.II.12 : Expmlle d'une eco-conception générative	45
Fig.II.13 : Schéma de principe pour les algorithmes génétiques	46

Chapitre III

Fig.III.1 : Les stores vénitiens testés dans l'étude de Meek et Breshears	50
Fig.III.2 : Les systèmes cinétiques comparés, en porte-à-faux, pliants, persiennes horizontales et persiennes verticales	52
Fig.III.3 : Résultats de demande annuelle d'énergie pour les modèles de simulation en fonction de l'orientation, de la hauteur des fenêtres et des types d'ombrage solaire	54
Fig.III.4 : Immeuble de grande hauteur entièrement vitré choisi pour l'étude de Figliola et Rossi	55
Fig.III.5 : Le système d'ombrage adaptatif (Shape Variable Masharabiya)	56

Fig.III.6 : Résultats de comparaison entre le SVM, Vs, Sv, Vr	57
Fig.III.7 : Résultats de la répartition des valeurs de PPD pendant les heures occupées	58
Fig.III.8 : Une matrice comparative pour les typologies d'ombrage dynamique.....	59
Fig.III.9 : Résultats comparatifs de réduction de la charge thermique des façades	60
Fig.III.10 : Le prototype final proposé avec l'intégration d'un système photovoltaïque.....	61
Fig.III.11 : Les résultats de la production d'énergie des systèmes de protection dynamiques	61
Fig.III.12 : Un système d'ombrage dynamique avec des modules PV intégrés.....	62
Fig.III.13 : Différents scénarios des façades dynamiques perforées testés dans l'étude d'Etman.....	64
Fig.III.14 : Modèle paramétrique des écrans d'ombrage testé dans l'étude de Marroquin.....	65
Fig.III.15 : Paramètres de conception des façades cinétiques	66

Chapitre IV

Fig.IV.1 : La carte géographique de l'Algérie	71
Fig.IV.2 : Diagramme psychométrique de la ville de Biskra.....	74
Fig.IV.3 : Traitement des données climatiques de Biskra et la détermination de l'année typique	75
Fig.IV.4 : Répartition de la consommation énergétique du secteur tertiaire par branche.....	78
Fig.IV.5 : Des bâtiments administratifs à la ville de Biskra	79
Fig.IV.6 : La situation du cas d'étude dans la ville de Biskra	79
Fig.IV.7 : Vue sur la façade Sud de cas d'étude	80
Fig.IV.8 : Les plans des différents niveaux de cas d'étude.....	80
Fig.IV.9 : l'emplacement de différentes stations de mesures	82
Fig.IV.10 : Variations horaires de la température intérieure et extérieure mesurées au RDC (Hall) du 09 au 12/08/2015.....	83
Fig.IV.11 : Variations horaire de la température intérieure et extérieure mesurée au RDC (Hall) le 13/08/2015	84
Fig.IV.12 : Le modèle géométrique étudié dans l'interface (Ecotect et Rhino)	85
Fig.IV.13 : Le modèle géométrique étudié dans l'interface (Rhino)	86
Fig.IV.14 : La bibliothèque des matériaux d'Ecotect.....	86
Fig.IV.15 : La génération du fichier weather data avec le plug-in Geco	87

Fig.IV.16 : Comparaison de la température intérieure (mesurée et simulée) et extérieure au RDC (Hall) Du 09 au 13/08/2015	88
Fig.IV.17 : Moyenne journalière cumulée des radiations directes incidentes	89
Fig.IV.18 : les apports solaires annuels du bâtiment cas d'étude	89
Fig.IV.19 : La consommation énergétique mensuelle du bâtiment cas d'étude	91
Fig.IV.20 : Une facture de consommation énergétique du bâtiment cas d'étude	92

Chapitre V

Fig.V.1 : Détail de l'écran solaire cinétique.....	95
Fig.V.2 : Dispositif d'ombrage dynamique – fermeture totale	96
Fig.V.3 : Dispositif d'ombrage dynamique – Ouverture de 25%	96
Fig.V.4 : Dispositif d'ombrage dynamique - Ouverture de 50%	97
Fig.V.5 : Dispositif d'ombrage dynamique – Ouverture totale.....	97
Fig.V.6 : Définition paramétrique de la trajectoire solaire - Biskra.....	99
Fig.V.7 : Structure de l'algorithme édité sous Grasshopper	102
Fig.V.8 : la géométrie du bâtiment importé sur le logiciel Rhinoceros	103
Fig.V.9 : différents types de panneaux photovoltaïques semi-transparents	104
Fig.V.10 : Moyenne journalière cumulée des radiations directes incidentes [A : Sans protection solaire].....	106
Fig.V.11 : Moyenne journalière cumulée des radiations directes incidentes [B : Avec protection solaire].....	107
Fig.V.12 : les apports solaires annuels du bâtiment (sans protection solaire).....	109
Fig.V.13 : les apports solaires annuels du bâtiment (avec protection solaire)	109
Fig.V.14 : Comparaison de la température intérieure (Sans et avec protection extérieure) Au RDC (Hall) Du 09 au 13/08/2015	112
Fig.V.15 : Consommation énergétique annuelle du bâtiment.....	113
Fig.V.16 : Production mensuelle de l'électricité par les PV intégrés.....	114
Fig.V.17 : Une facture de consommation énergétique du bâtiment.....	116

Liste des tableaux:

Chapitre II

Tableau.II.1 : Logiciels paramétriques utilisés pour la conception et la construction.....36

Chapitre III

Tableau.III.1: Résultats de la comparaison entre différents systèmes d’ombrage fixe et cinétique, sur une façade sud.....53

Tableau.III.2: Simulations intégrées ont été effectuées pour chacune des quatre orientations majeures et trois hauteurs de différentes fenêtres.....53

Tableau.III.3: Les fichiers météorologiques choisis (TMY3) pour les scénarios de la simulation.....58

Chapitre IV

Tableau.IV.1 : Interprétation des données météorologiques de la ville de Biskra.....73

Tableau IV.2 : Les facteurs de réduction solaire des différents types de vitrage76

Tableau IV. 3 : Traitement des radiations solaires directes horaires annuelles Biskra.....77

Tableau IV.4 : les instruments de mesure utilisés dans l’investigation82

Tableau IV.5 : les zones de surchauffes du bâtiment cas d’étude.....90

Chapitre V

Tableau V.1 : Emplacement du dispositif d’ombrage dynamique à l’extérieur du bâtiment.....98

Tableau V.2 : la période moyenne d’exposition au rayonnement solaire100

Tableau V.3 : les conditions internes appliquées pour la simulation.....101

Tableau V. 4 : Résultats de taux d’éclairage d’un bureau de travail105

Tableau V. 5 : Simulation des radiations solaires des différentes façades du bâtiment107

Tableau V. 6 : Zones de surchauffes du bâtiment111

Nomenclature :

te	Température air extérieur
ti	Température air intérieur
Tn	Température neutre
Qgs	Gains solaires
Is	Irradiation solaire
VL	Transmittance lumineuse
FS	Facteur solaire
RI	Radiation incidente
RG	Radiation générale
Gh	Grasshopper
Rhino	Rhinoceros
GA	Algorithme génétique
CAO	Conception assisté par ordinateur
NURBS	Formes libres non-uniformes
SVM	Shape Variable Masharabiya
TMY	Typical meterogical Year
Im	Indice d'aridité de Martonne

Introduction Générale

« Je combats l'architecture "**générique**", qui consiste à cloner des modèles standards. Partout sur la planète, on construit la même chose, les mêmes types d'habitats, les mêmes bureaux de verre à **l'américaine**, les mêmes centres commerciaux. Ou alors, on pratique ce que j'appelle **l'architecture parachutée**: un architecte artiste crée une "**œuvre**" sans tenir compte de **l'environnement**, du contexte ou des paramètres humains. Moi, je défends une architecture "**spécifique**", qui tient compte du site où elle s'implante, de son histoire, de l'usage du bâtiment. »

Jean Nouvel, 2007

Introduction :

Le début du 21^{ème} siècle a été marqué par un enthousiasme face aux problèmes de la planète qui court à sa perte. Les pays industrialisés sont les principaux responsables des problèmes majeurs de l'environnement comme le réchauffement climatique, phénomène d'augmentation de la température moyenne des océans et de l'atmosphère à l'échelle planétaire. Ce phénomène est causé par les émissions des gaz à effets de serre qui perturbent l'équilibre de la planète à grande vitesse.

Selon Gauzin-Müller, le constat mondial est plutôt sombre : le climat se dégrade, les pollutions sont de plus en plus tenaces, les ressources trop souvent surexploitées, de nombreuses espèces sont en danger, et la prospérité réservée à seulement 20% des habitants de la planète. Il faut donc agir par une action immédiate et à long terme qui passe en tout premier lieu par la diminution de nos émissions de gaz à effet de serre. (Gauzin-Müller, 2001)

Dès la fin des années 60, l'humanité a pris conscience de la tendance vers l'épuisement des ressources et la première conférence internationale sur l'environnement de Stockholm en 1972 en est le symbole. Un an plus tard, le premier choc pétrolier illustre la fragilité des systèmes dépendant des énergies fossiles. Ainsi, il est apparu la nécessité de mettre en œuvre une gestion globale de la planète et de ses écosystèmes. En 1988, l'ONU adopte la notion de développement durable qui signifie un développement social, économique et politique répondant aux besoins présents, sans hypothéquer ou compromettre la capacité des générations futures à satisfaire leur propre développement. Cette notion fait apparaître la nécessité, tout à fait nouvelle dans son affirmation internationale officielle, d'une double

solidarité : solidarité entre les peuples et solidarité entre les générations (Mokhtari et al., 2008).

Le climat chaud et aride caractérise les régions subtropicales de l'Afrique, l'Asie, l'Australie et de l'Amérique, où l'aridité est due aux rayonnements solaires directs très intenses qui peuvent atteindre les 800 W/m² sur une surface horizontale (M'sellem, 2007). Dans ces régions le contrôle solaire dans les bâtiments est un problème principal à résoudre pour la conception de l'enveloppe architecturale, vu les gains de chaleur importants traversant cette enveloppe vers l'intérieur, alors que le rayonnement solaire incident sur ces bâtiments doit être régulé par l'enveloppe pour réduire l'utilisation des systèmes de climatisation mécaniques. Si à l'aube du mouvement moderne le slogan était « *la forme suit la fonction* » aujourd'hui, grâce à la technologie numérique développée, il est possible de parler en toute sécurité à propos de « *la forme suit les flux d'énergie* » (Modin, 2014).

L'ambiance thermique à l'intérieur du bâtiment est un facteur important du confort des occupants, car les températures extrêmes, qu'elles soient chaudes ou froides, peuvent provoquer des effets gênants chez l'homme. Actuellement, la prise en compte du confort thermique dans les bâtiments se fait avec des méthodes et des outils élaborés à partir des approches qui simplifient la complexité des phénomènes interactifs.

La conception appropriée de l'enveloppe du bâtiment présente une solution assez importante qui peut répondre efficacement à la lutte contre le rayonnement solaire. Au début du processus de conception; l'analyse climatique est l'étape fondamentale, dans laquelle on définit les gains solaires dans les bâtiments, afin de déterminer la surchauffe due à ces derniers dans la période estivale. ASHRAE stipule que, si l'enveloppe est complètement ombragée de l'extérieur, elle participe à la réduction des gains de chaleur dus au rayonnement solaire jusqu'à 80% (ASHRAE, 2005). Cependant, ce fait est négligé par la plupart des concepteurs.

Aujourd'hui, les progrès technologiques dans la science du bâtiment apportent la possibilité de concevoir des *façades dynamiques*, avec des systèmes de contrôle de rayonnement solaire et de la lumière du jour (Hansanuwat, 2010), en utilisant les logiciels de modélisation paramétrique (**parametric design**), et en se basant sur les outils d'évaluation et la simulation de la performance environnementale. Ces outils ont permis le développement des composants technologiques qui enregistrent et répondent au changement climatique, tout en assurant une nouvelle génération d'enveloppes à haute performance ayant réponse en

temps réel de l'environnement en utilisant des matériaux développés, et des techniques de conception innovantes. (Marroquin, 2010)

Problématique :

Le secteur du bâtiment (résidentiel et tertiaire) est responsable de 45,7% de la consommation énergétique en Algérie, et il représente un taux de croissance annuel estimé à 7.1% (APRUE, 2014). La question concernant la réduction de la consommation d'énergie est d'actualité dans notre pays, la négligence des paramètres climatiques lors de la conception entraîne une augmentation cruciale de la consommation énergétique, en particulier en été. Par conséquent, les professionnels du design doivent explorer constamment et intelligemment les méthodes et les systèmes innovants qui réduisent la consommation d'énergie dans les bâtiments.

La ville de Biskra est caractérisée par un climat chaud et sec, avec un taux de rayonnement solaire très intense. Parmi les problèmes d'ambiance qui peuvent apparaître dans les bâtiments, celui de l'inconfort thermique durant toute la période de la surchauffe et qui rend le système de conditionnement d'air énergivore indispensable tout au long de la journée, afin d'assurer des conditions thermiques ambiantes adéquates aux habitants. La réduction des consommations énergétiques des bâtiments, dans ce cas, présente un souci majeur dans le domaine de la construction et un problème qui nécessite la collaboration de plusieurs disciplines. Le recourir aux dispositifs d'ombrage pour réduire la pénétration directe des rayons du soleil est devenu une nécessité.

Cette recherche porte sur l'intégration du système d'ombrage dynamique, qui est un système technologique intelligent et qui réagit avec l'environnement extérieur. Ce système d'ombrage dynamique proposé dans l'équipement de bureaux consiste à collecter et traiter les données de l'environnement afin d'optimiser le confort intérieur et réduire la consommation énergétique dans ces équipements. De plus, les systèmes de contrôle solaire et d'ombrage peuvent être conçus pour créer un dynamisme dans la façade du bâtiment, tout en offrant un réglage judicieux d'éclairage et un aspect esthétique extérieur. A travers ce constat, plusieurs questionnements relatifs à ce thème peuvent être débattus :

- **Les dispositifs d'ombrage dynamiques peuvent-ils améliorer l'efficacité énergétique, la performance thermique, et l'éclairage naturel dans les immeubles administratifs ?**

- Est-ce que les dispositifs d'ombrage dynamiques sont plus appropriés pour les climats chauds et arides ?
- Peut-on bénéficier de l'énergie solaire intense pour la production de l'électricité et l'alimentation du mécanisme responsable du mouvement de dispositifs d'ombrage dynamique ?

Hypothèses :

Les immeubles administratifs utilisent de plus en plus les façades entièrement vitrées. Celles-ci, appréciées par les concepteurs, offrent un champ de vision externe attrayant et permettent la pénétration de la lumière naturelle.

De nombreuses tentatives pour atténuer les aspects négatifs de ces façades offrent des solutions à des simples problèmes, et ne sont pas assez variables pour contrôler plusieurs aspects à la fois, par rapport à un bâtiment avec un ombrage statique ou sans système de protection solaire.

L'utilisation d'un dispositif d'ombrage dynamique (façade dynamique) peut diminuer la consommation énergétique dans un bâtiment de bureaux, en diminuant les gains de chaleur solaires non désirés, dans le but de maintenir le confort thermique des employés à l'intérieur. Afin de répondre à cette problématique, nous avons construit les hypothèses suivantes:

- **Les dispositifs d'ombrage dynamiques peuvent améliorer l'efficacité énergétique et la performance thermique dans les immeubles administratifs.**
- Les dispositifs d'ombrage dynamiques peuvent mieux s'adapter aux conditions climatiques en offrant un confort thermique intérieur recommandé.
- Les panneaux d'ombrage dynamiques équipés de modules photovoltaïques peuvent assurer de grandes quantités de lumière naturelle recommandée aux occupants, et peuvent créer plus d'énergie par rapport à une façade avec un ombrage statique.

Objectifs de recherche :

L'objectif visé dans le cadre de ce travail est l'obtention d'un niveau de confort thermique avec une consommation énergétique réduite en étudiant l'influence d'un système d'ombrage dynamique dans les bâtiments de bureaux par rapport à sa demande énergétique. Alors les points suivants seront à considérer:

- Réduire les gains de chaleur solaires dans le bâtiment.
- Diminuer la consommation énergétique durant la période estivale.
- Assurer un réglage judicieux d'éclairage naturel pour un confort visuel adéquat à l'intérieur.
- Assurer l'alimentation des dispositifs d'ombrage dynamiques par l'intégration des panneaux photovoltaïques comme source d'énergie renouvelable.

Méthodologie et outils de recherche:

Afin d'atteindre les objectifs visés et vérifier les hypothèses posées, nous allons procéder en premier lieu par :

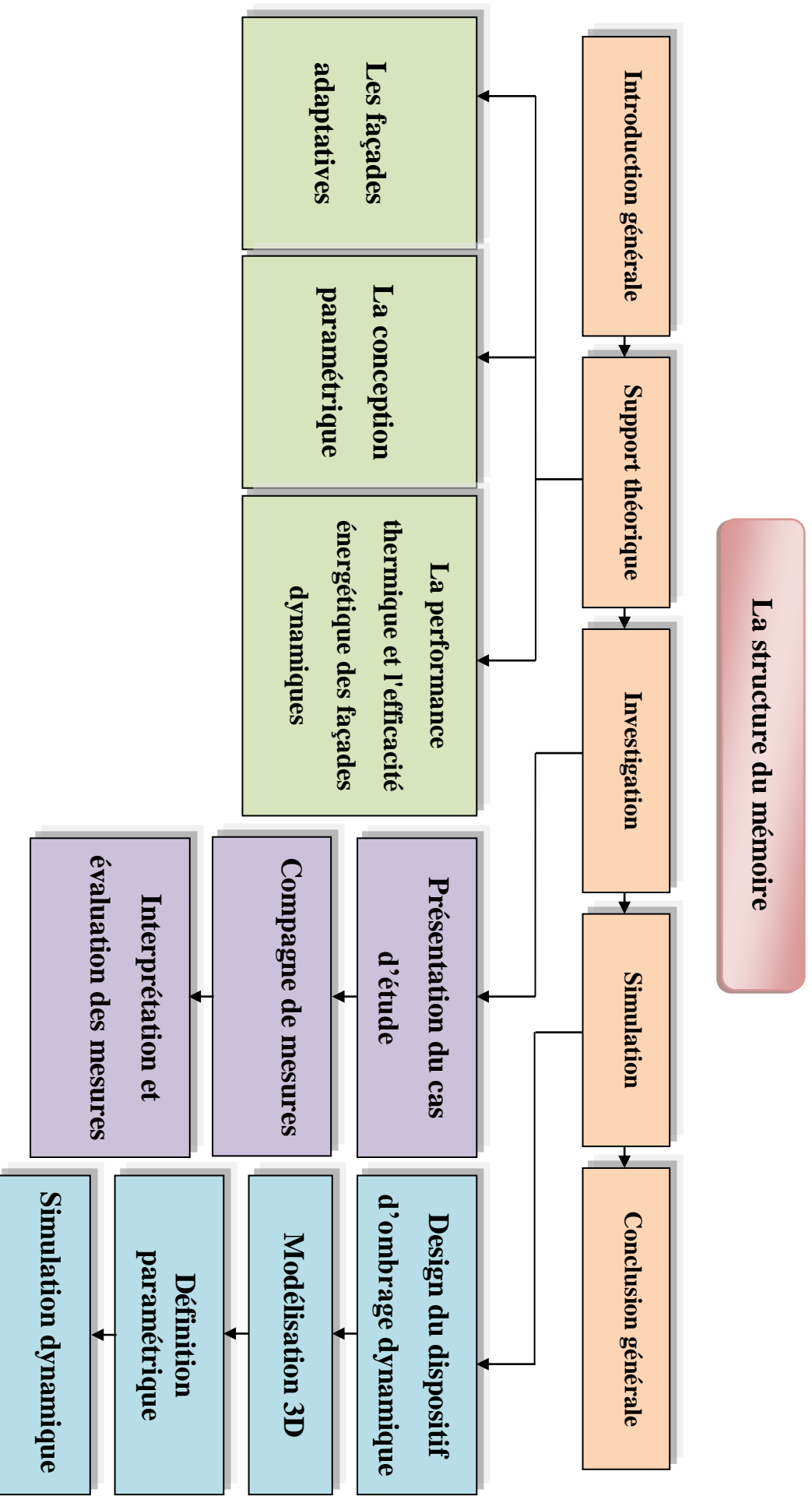
Une recherche bibliographique et documentaire qui permet une meilleure compréhension des éléments les plus importants qui se rapportent au sujet, à savoir les façades dynamiques. Cette partie est composée de trois chapitres :

Le premier traite le développement des façades adaptatives ainsi que les diverses stratégies de protection solaire dynamique des bâtiments, dans le but de réduire l'usage de la climatisation.

Le deuxième chapitre : a pour objectif, la définition des concepts de la conception paramétrique afin de mieux présenter les outils de modélisation et les techniques de conception algorithmiques. Ainsi que les logiciels paramétriques, leurs caractéristiques et les contraintes de la conception paramétrique.

Quant au troisième chapitre, il présente la littérature review (État de l'art) où une synthèse des résultats de recherches concernant la protection solaire dynamique automatisée et leur effet sur l'efficacité énergétique et la performance thermique.

L'étude expérimentale réalisée in situ sur un bâtiment administratif existant fait l'objet du contenu du chapitre quatre. L'objectif du chapitre cinq ce résume dans l'étude de l'influence du dispositif d'ombrage dynamique sur le confort thermique intérieur et l'efficacité énergétique. Alors celle-ci est conçu par la simulation paramétrique du (Rhinceros – Grasshopper). La conclusion et les recommandations font l'objet du dernier chapitre.



Les enveloppes Adaptatives

Chapitre I

*« La façade n'est plus un simple mur percé d'ouverture, elle est une **enveloppe**, une **membrane**, le lieu de **multiples échanges** entre l'extérieur et l'intérieur, l'environnement naturel et le bâti » Euphrosyne. T, 2011*

Introduction

Historiquement, les bâtiments ont été conçus sur la base des conditions préalables transmises par l'environnement et en même temps avec les ressources naturelles disponibles, en créant des espaces confortables en relation avec le climat. L'enveloppe du bâtiment peut être définie comme un filtre de l'environnement, mais elle n'a pas été considérée seulement comme un abri, mais aussi une composante active dans le système du bâtiment.

Le rôle de l'enveloppe et de la façade est de maintenir le confort et la sécurité de l'intérieur contre l'environnement extérieur. La régulation de la température, la protection contre le son, l'excès de la lumière du soleil, la pollution et d'autres facteurs environnementaux, en plus de maintenir le confort thermique et visuel à l'intérieur, la façade fournit également un lien visuel avec l'environnement (Tucker, 2014).

Dans ce présent chapitre, nous allons exposer un bref survol historique concernant la naissance de la notion de l'enveloppe et de la façade en architecture, et le développement du concept, avec une promenade dans les mouvements d'architecture pour mieux comprendre l'évolution et les étapes que l'enveloppe avait connues pendant des siècles de son existence.

I.1. Les enveloppes architecturales :

I.1.1. Définition de l'enveloppe architecturale :

L'enveloppe d'un édifice désigne la partie visible de tout édifice, que l'on se situe à l'intérieur ou à l'extérieur de l'édifice. En ce sens, l'enveloppe joue un rôle d'interface avec l'extérieur. Mais, c'est avant tout une protection, une « matière » permettant la protection de l'intérieure contre le climat extérieur. Son rôle protecteur peut se vérifier à toutes les échelles.

Autrement dit, l'enveloppe est l'enveloppant de tout habitat désigné comme l'enveloppé (Michel-Alder, 2006).

L'émergence de nouveaux concepts architecturaux donne naissance à de nouvelles formes architecturales, à de nouveaux systèmes, qui se traduisent par une terminologie nouvelle (enveloppe adaptative, peau, double peau) qui relève d'une analogie au vêtement et à ses épaisseurs protectrices et superposables.

I.1.2. Définition de l'enveloppe adaptative :

Les enveloppes adaptatives sont des enveloppes architecturales à haute performance et multi paramètres. Mais, à l'opposé des enveloppes fixes, elles réagissent mécaniquement ou chimiquement au climat externe d'une façon dynamique pour répondre à des charges internes et les besoins des occupants (Loonen et al, 2013).

L'enveloppe adaptative est une seule désignation d'un concept qui a été décrit par une multitude de différents termes. Dans ce contexte, les praticiens et les chercheurs favorisent l'utilisation de plusieurs variations sur le terme « adaptative », y compris : actif, avancé, dynamique, intelligent, interactive, cinétique, en réponse, intelligente, commutable, etc. Bien que toutes ces expressions aient un sens différent, ils sont souvent utilisés de façon interchangeable et d'une manière improvisée (Lollini, et al, 2010).

Les enveloppes classiques ont généralement des propriétés statiques, et aucune capacité de se comporter en réponse aux changements du climat extérieur, donc le passage aux enveloppes adaptatives au climat offre la possibilité de s'adapter de la variabilité des conditions environnementales extérieures, et un potentiel élevé pour réduire la demande d'énergie pour la climatisation et l'éclairage des locaux, au même temps également une contribution positive à la qualité de l'air intérieur et les niveaux de confort thermique et visuel (Olewnik et al, 2004).

I.2. Le développement historique des enveloppes :

I.2.1. L'enveloppe dans l'architecture vernaculaire :

Depuis l'antiquité, les hommes se sont, toujours fortement, imprégnés du milieu naturel dans lequel ils s'implantaient et auquel ils s'identifiaient. C'est dans cet esprit que N. Schulz a déclarait que : « *L'identification signifie devenir ami d'un milieu donné* » (Schulz, 1974).

Comme l'homme ne peut s'extraire de la nature qui l'entoure, obligé qu'il collabore avec elle, il essayera cependant de la transformer, ou au moins de s'y intégrer avec profit, l'analyse de l'enveloppe vernaculaire révèle que derrière la simplicité de la forme existent des rapports de causalité complexes, probablement ces enveloppes ont commencées avec de formes simples utilisées pour un abri contre le vent, le soleil et la pluie.



Fig.I.1 : Abri primitif à ossature de bois et un toit de chaume, les îles Salomon

(Source : <http://www.wbdg.org>)



Fig.I.2 : Habitation traditionnelle des Bédouins dans le désert

(Source : <http://www.wbdg.org/design>)

Mais progressivement, au fur et à mesure que le désir d'un meilleur abri a augmenté, les matériaux appropriés ont été identifiés et la construction des compétences ont été acquises, où l'enveloppe primitive minérale prend un aspect protecteur, l'enveloppe végétale prend elle, un aspect de camouflage, et l'enveloppe animale, une forme d'habillement, dans ce sens on a constaté que partout dans le monde, l'architecture vernaculaire est habituellement caractérisée par l'utilisation judicieuse et l'utilisation bénéfique des matériaux locaux disponibles et à l'expérience du climat (Straube, 2006). Voir (Fig.I.1 et Fig.I.2)

I.2.2. L'enveloppe dans les anciennes civilisations :

Lorsque l'homme commence à aménager l'espace, après l'enveloppe naturelle il a ajouté une enveloppe façonnée par les mains de l'homme dans un souci d'adapter son habitat à de nouveaux usages. L'extension de l'enveloppe naturelle permet d'agrandir l'espace investi par des appentis de branchages, un enclos de pierres appareillées, d'ouvrir son habitat vers l'extérieur occasionnant des échappées d'air (pour l'évacuation des fumées) et de lumières pour éclairer l'enveloppé (Émilie, 2009).

I.2.2.1. La civilisation gréco-romaine :

L'histoire de l'architecture accorde une part importante à cette période dont les monuments antiques et les principes ont constitué une source d'inspiration constante dès la Renaissance, particulièrement à cette période les matériaux peu nombreux et les procédés constructifs simples font preuve d'une véritable économie des moyens.

Au cours de la période hellénistique, l'enveloppe architecturale a pris une autre dimension où sa structure est basée sur un système réglé de rapports logiques et dimensionnels entre ses différentes composantes constructives, un système arithmétique et géométrique, et un début de dissociation entre ordonnances extérieures et structure des édifices (Picon, 1999). Voir (Fig.I.4)



Fig.I.3 : Le panthéon romain antique a Rome – Italie
(Source : <http://www.sofadeco.com/decoration>)

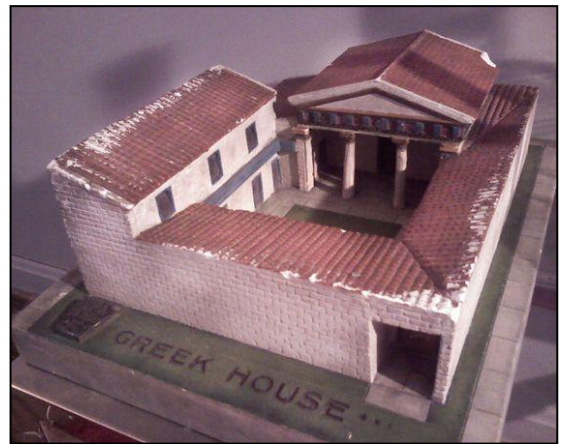


Fig.I.4 : Maquette d'une maison Gracque
(Source : <https://fr.pinterest.com/pin>)

Vitruve distingue clairement la discipline architecturale du simple art de bâtir. À la solidité et à l'utilité (Vitruve, 1486), où l'enveloppe est devenue une façade lourde et massive. Les temples sont construits en bois, en argile et en pierre selon un dispositif simple se basant sur trois éléments constructifs essentiels : le mur, la colonne et la plate-bande. L'architecture préclassique et classique attribue à la muralité et au traitement de l'articulation de la colonne et de la plate-bande une importance capitale (Picon, 1999).

À Rome, ville impériale qui apparaît comme l'héritière de la civilisation hellénistique, les monuments, tels que le Panthéon, font usage d'une nouvelle technique, le béton romain, qui permet de bâtir au moyen d'un mélange de mortier et d'agrégats avant de procéder à un

habillage de brique ou de pierre, accentue la dissociation entre forme et structure (Choisy, 1899). Voir (Fig.I.3)

I.2.2.2. Les bâtisseurs du moyen âge:

Au cours du Moyen-âge, l'enveloppe architecturale ne cesse de se complexifier, avec une architecture qui s'est développée avec différentes techniques et divers styles dans le monde, l'architecture médiévale a notamment servi à la construction de grands ouvrages militaires, comme les châteaux forts et les remparts ; religieux, comme les églises, les cathédrales, les abbayes et les cloîtres (Gympel, 1997). Voir (Fig.I.5)



Fig.I.5 : Abbaye Saint-Jouin de Marnes – France
(Source : www.trekearth.com)



Fig.I.6 : Cathédrale Notre-Dame de l'Assomption de Pise — Italie
(Source : <https://fr.dreamstime.com/photos>)

À cette période, les enveloppes des édifices ainsi que les façades ont été compactes et massives, avec des murs épais et peu élevés. À l'extérieur, les murs sont rythmés par les bandes lombardes, réunies à leur sommet par des arcatures aveugles, il faut même les renforcer à l'extérieur par des contreforts. On ne peut y pratiquer que de rares ouvertures qui ne laissent pénétrer que peu de lumière à l'intérieur de l'édifice (Gympel, 1997).

L'architecture gothique qui se développe de la fin du XIIe au début du XVIe siècle, accorde un intérêt croissant à l'homme et la nature et s'exprime à travers l'enveloppe architecturale par l'évidement des murs, la multiplication des fenêtres et l'accentuation de la verticalité, transformant ainsi les édifices en un système dynamique de butées et de contrebutées qui s'exprime avec franchise. La construction se donne à voir au même titre que le décor sculpté qui orne les façades avec de très fins appuis verticaux et obliques révèle les lignes de force de la structure (Coste, 1997). Voir (Fig.I.6)



Fig.I.7 : Cathédrale Notre-Dame de Paris —
France

(Source : www.patrimoine-religieux.fr)

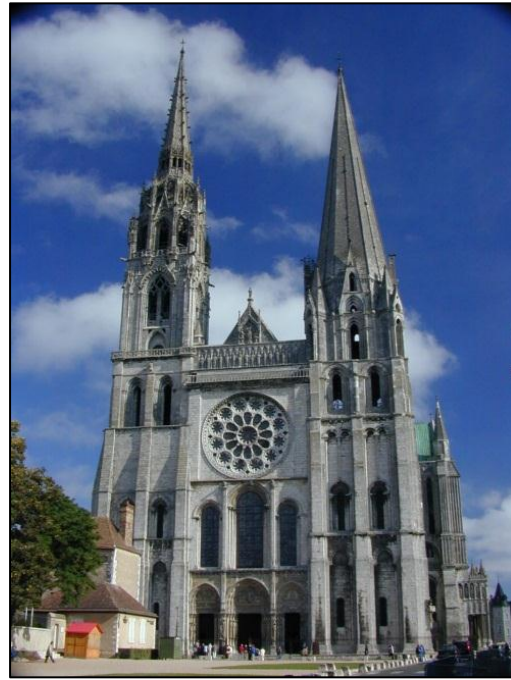


Fig.I.8 : Cathédrale Notre-Dame de Chartres —
France

(Source : <https://www.pixel77.com/design>)

Tandis que la conception d'une église romane s'appuyait sur un symbolisme, des nombres renvoyant au message biblique et à ses interprétations, la conception des cathédrales accorde un intérêt à la géométrie. Cette géométrie diffère de celle de Vitruve qui repose sur les rapports dimensionnels entre le tout et les parties. Les bâtisseurs gothiques usent d'une géométrie nouvelle, la géométrie de la règle et du compas, véritable outil de conception et de communication nécessaire à la coordination du plan et de l'élévation de l'édifice et à la définition des gabarits des pierres permettant sa réalisation (Henriet, 2005). Voir (Fig.I.7 et Fig.I.8).

I.2.2.3. L'enveloppe architecturale dans l'architecture islamique :

L'architecture islamique était fondée sur plusieurs questions éthiques, religieuses, et quint débouché sur des bases climatiques, d'après l'histoire l'une des caractéristiques les plus frappantes de tous les monuments de l'architecture islamique est de les concentrer sur les espaces clos, à l'intérieur plutôt qu'à l'extérieur, pour cela l'enveloppe architecturale islamique a été introverti de sorte que la façade principale est à l'intérieur des bâtiments (Grube, 1995). Voir (Fig.I.9)



Fig.I.9 : Façade intérieure d'une maison égyptienne
– Le Caire

(Source : <http://www.lescahiersdelislam.fr>)



Fig.I.10 : Façade du complexe Qalawun —
Égypte

(Source : <http://egypte-eternelle.org/index>)

Le bâtiment islamique a été caractérisé par les façades intérieures sur la cour. Au contraire, la façade extérieure a été solide afin de surmonter des conditions climatiques difficiles et d'éviter un ensoleillement direct, en conséquence les façades extérieures et intérieures travaillent ensemble le rôle climatique (ElGhazi, 2009), il est rare qu'une façade donne une indication sur l'organisation interne ou l'objet de l'immeuble en question. Voir (Fig.I.10).

I.2.3. L'enveloppe et la façade dans la renaissance : vers des principes esthétiques extérieurs

La renaissance qui naît en Italie, redécouvre l'idéal humaniste, politique, philosophique et artistique de l'Antiquité, et elle n'a plus de visée technicienne. L'enveloppe architecturale est transformée en façade qui se base sur des principes esthétiques supérieurs, des concepts abstraits tels que la symétrie et les proportions, l'emploi d'une langue strictement réglementée dans son vocabulaire et sa syntaxe, et le système des ordres. Plaçant la « beauté » au centre de ses préoccupations, elle représente une régression pour l'architecture, le système des ordres, et elle fit de nouveaux appels, pour les immeubles résidentiels, à des éléments décoratifs des façades empruntées aux édifices représentatifs de l'antiquité. L'organisation centrée, axiale de la façade fut développée, l'application de ce principe à plusieurs maisons permet de conférer un rythme plus accentué à la ligne de façade (Gympel, 1997). Voir (Fig.I.11 et Fig.I.12)



Fig.I.11 : La façade de « Ca » d'Oro »
ou la maison d'or a Venise – Italie
(Source : <https://www.boundless.com/>)



Fig.I.12 : Une façade colorée a Venise —
Italie
(Source : <http://www.wysinfor.com/>)

L'architecture de la renaissance refuse toutes performances comme l'élévation excessive du volume, l'allègement des parois ou l'ouverture à la lumière. Elle condamne le dernier style du Moyen-âge et ses « *ouvrages monstrueux et barbares qu'on peut appeler plutôt confusion et désordre* » (Vasari, 1991).

I.2.4. L'enveloppe dans l'architecture baroque : l'art de la mise en scène

L'enveloppe et la façade baroques sont là pour frapper l'imagination, par ses aspects et les effets de ses riches ornements, les façades s'animent de colonnes tout à fait dégagées, de décrochements audacieux, de lignes courbes et de niches autrement dit l'architecture baroque combine les éléments et les formes connus de manière surprenante et selon des rythmes nouveaux, accentuant les volumes, exagérant la décoration, variant les plans, y ajoutant une sculpture colossale.



Fig.I.13 : Le théâtre de Trévi a Rome –
Italie
(Source : <http://www.art-baroque.net>)



Fig.I.14 : La basilique de saint-pierre a Rome —
Italie
(Source : <https://www.decoenligne.org>)

L'esprit baroque réside dans la liberté de modifier les formes classiques à l'origine de manière à les rendre perméables à toutes les nuances d'expression émotive ; rupture de soubassement, doublement des colonnes, incurvation des frontons, effet de trompe-l'œil (Lemerle, 2008). Voir (Fig.I.13)

I.2.5. L'enveloppe dans l'architecture fonctionnaliste :

Après 1750, l'architecture passe par une phase intermédiaire et instable, critique et libératrice, marquée par la pensée scientifique et par la réflexion historique, par la crise des croyances qui fondaient l'autorité de l'architecture savante depuis la Renaissance. La nouvelle approche historique et le débat technologique ouvrent la voie à la modernité.

Concernant la façade ou l'enveloppe architecturale dans l'architecture fonctionnaliste on peut constater une réduction de son importance, tant du point de vue économique que du point de vue esthétique. Elle devient abstraite et répétitive, exprimant uniquement son propre processus de fabrication, pour cela le bâtiment n'est plus exprimé comme unité indépendante, chaque façade ressemblant au fragment d'un tissu gigantesque et pas à une composition finie (Boulazreg, 2014). Voir (Fig.I.15)



Fig.I.15 : Le home insurance building a Chicago par William Le Baron Jenney
(Source : www.britannica.com)



Fig.I.16 : Le bâtiment Wainwright a St Louis, Missouri par Louis Sullivan
(Source : www.stlouis-mo.gov)

L'architecte de Chicago Louis Sullivan se rendit célèbre en résumant en une phrase le mot principe du fonctionnalisme (form follows function) la forme suit la fonction, résumant sa pensée suivant laquelle la taille d'un bâtiment, sa masse, sa grammaire spatiale et toutes les

autres caractéristiques de son apparence doivent dériver uniquement de sa fonction (Foura, 2008).

I.2.6. L'enveloppe dans le mouvement moderne :

Au début du XXe siècle, le débat architectural devient plus incisif, avec l'apparition des avant-gardes qui se sentent investies d'une responsabilité autrement plus globale que le simple replâtrage des défauts de la société industrielle.

Le mouvement moderne débutait déjà avec Adolf Loos en 1908 où l'habitat devient le temple de ce temps. À cette époque, la façade est considérée comme une membrane légère, avec une élévation d'un plan séparée de la structure, une forme simple et pure, transparence avec l'utilisation du verre, et l'absence de l'ornementation. Ce mouvement a exigé un nouveau style d'architecture appropriée à la nouvelle technologie, de nouveaux systèmes de construction, des matériaux et un mode de vie qui s'en dégage l'esthétique (ElGhazi, 2009). Voir (Fig.I.17)

L'emploi de béton, acier et verre, les brises soleil en façade avec un rythme asymétrique sont les principes de base de l'architecture moderne exprimée par « l'unité d'habitation de Le Corbusier, voir (Fig.I.18).



Fig.I.17 : Vila Savoye, Poissy, France 1929

par Le Corbusier

(Source : <https://www.pinterest.com/pin>)



Fig.I.18 : L'unité d'habitation de Marseille

par Le Corbusier

(Source : www.audioguideportal.de)

L'utilisation généralisée de la structure « poteau — poutres — dalle » en béton armé permet de libérer les espaces intérieurs des murs porteurs et d'ouvrir les appartements sur l'extérieur par des baies, des balcons et des terrasses, pour cela elles apparaissent donc des constructions qui ont en commun leur aspect cubique, des toits plats à usage de terrasse, des

façades sans ornement et parfois des fenêtres en longueur favorisant l'éclairage des pièces. Cette nouvelle architecture se manifeste partout dans le monde et dégage une telle homogénéité que l'on parle rapidement de Style international (Belmont, 1987).

I.2.7. L'enveloppe dans le High — Tech :

Dans la seconde moitié du 20ème siècle, s'affirme une tendance communément appelée « high-tech », qui plonge ses racines dans l'architecture de fer du 19ème siècle. La conception de ces architectures fonde son esthétique sur l'expressivité des éléments constructifs dérivés de l'ingénierie et de la technologie : structure métallique apparente, enveloppe de verre et les techniques traditionnelles comme le mur en pierre sont abandonnées en faveur de nouvelles structures et matériaux : acier, panneaux métalliques légers, et plastiques. L'enveloppe ou la façade high-tech ne se résume pas à une paroi lisse opaque, mais est une paroi animée par les éléments constructifs (Foura, 2008), voir (Fig.I.19 &20).



Fig.I.19 : Le centre culturel George Pompidou par Renzo Piano

(Source : www.architravel.com)



Fig.I.20 : Les 30 St Mary Axe (Swiss Re Building) par Norman Foster

(Source : <http://www.fosterandpartners.com>)

L'enveloppe high-tech repose souvent sur la transparence totale ou partielle pour montrer au monde extérieur l'activité continuant à l'intérieur. Généralement, leur aspect global est léger, dans une combinaison de courbes dramatique et des lignes droites (Gympel, 1997).

I.3 Les enveloppes adaptatives au climat :

I.3.1. L'apparition des enveloppes adaptatives :

Au cours des dernières années, des enveloppes de bâtiment innovatrices ont apparues avec des formes flexibles et interactives avec le climat. Cette architecture adaptative assiste à la commodité de l'utilisateur, voire à l'amélioration des performances énergétiques du bâtiment en lui proposant des opportunités d'adaptation.

L'une des premières enveloppes climatiques adaptatives automatisées c'était la façade de Buckminster Fuller du pavillon des États-Unis construit pour l'Expo 1967 de Montréal, qui a donné la naissance à une nouvelle génération d'enveloppes à haute performance et l'émergence des ensembles sophistiqués alliant réponse en temps réel de l'environnement ont utilisant des matériaux développés, l'automatisation dynamique avec microprocesseurs embarqués, des capteurs sans fil et actionneurs, et de nouvelles techniques de conception pour la fabrication (Trubiano, 2012). Voir (Fig.I.21)

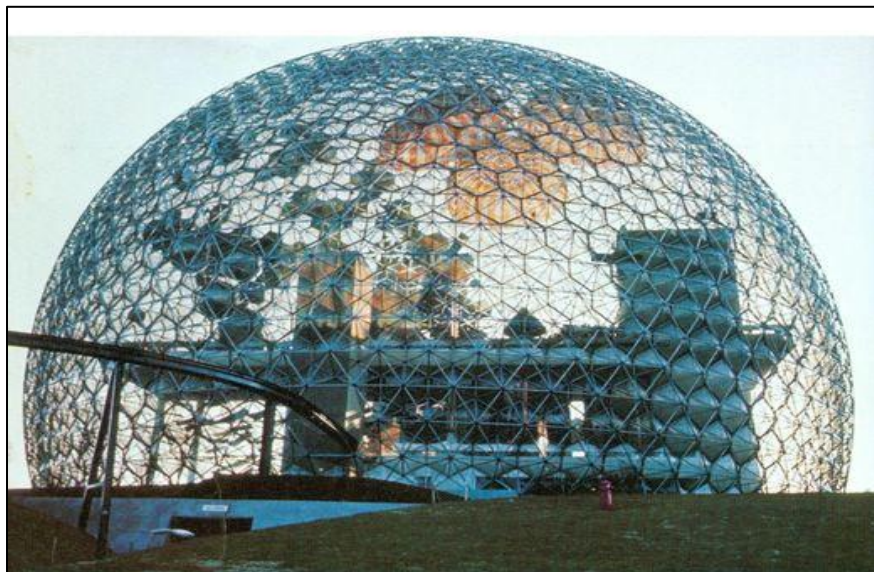


Fig.I.21 : Le pavillon des États-Unis a Montréal – Expo 67

(Source : <https://www.flickr.com/photos/>)

L'architecture adaptative se base sur une nouvelle définition du confort thermique, qui intègre la question du dynamisme de l'architecture et la participation des occupants (Cole et al, 2008), dans cette optique, l'architecture adaptative confère à l'occupant un rôle actif dans l'atteinte de son confort et dans les performances énergétiques du bâtiment en lui proposant des opportunités d'adaptation.

La possibilité de changer ou adapter l'enveloppe du bâtiment à la course du soleil (soit en bloquant ses rayons pour éviter la surchauffe et l'éblouissement, ou en leur permettant de contrôler la pénétration de rayonnement pour le gain de la chaleur passive et/ou la lumière du jour), qui était la cause principale d'une innovation historique purement technologique, nommée l'enveloppe intelligente du bâtiment (Gorman, 2006).

I.3.2. Les enveloppes adaptatives contemporaines :

Le développement de la technologie informatique a amélioré la capacité de gérer des modèles complexes des enveloppes adaptatives, accompagnées par des outils de calculs plus précis de la performance énergétique, ce qui permet de concevoir une enveloppe optimale, adoptée aux conditions et des contextes spécifiques, alors les avantages d'un tel progrès technologique ont contribué à l'apparition des façades et des enveloppes innovantes avec des caractéristiques d'adaptation avancées, comme le montrent les exemples suivants:

I.3.2.1. Institut du monde Arabe :

L'Institut du monde arabe se situe en France plus précisément dans la ville de Paris qui est caractérisé par un climat océanique altéré. Le mur sud de cet institut, peut-être l'exemple le plus connu de l'enveloppe adaptative. Il est conçu par l'architecte Jean Nouvel et (Architecture studio) ; achevé en 1989. Et fabriqué à partir de 240 photosensibles qui jouent un rôle crucial pour le climat intérieur du bâtiment (Fig.I.22), mais les solutions hautement mécaniques tend à se briser facilement, et les différentes parties ne sont pas faciles à remplacer quand cela arrive (Coelho et Maes, 2009).

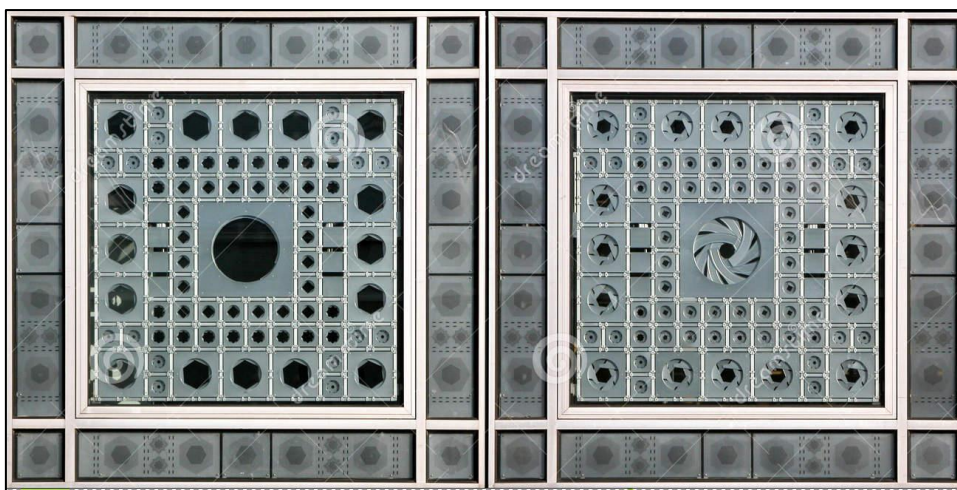


Fig.I.22 : La façade dynamique sud de l'Institut du monde arabe à Paris

(Source : <http://www.architecture-studio.fr>)

Ces derniers sont munis de diaphragmes qui peuvent s'ouvrir et se fermer, suivant la course du soleil afin de contrôler le rayonnement solaire. Les cellules photoélectriques chargées de piloter ce dispositif ont montré des défaillances, concernant l'ouverture et la fermeture de dispositif. Se fassent désormais à chaque changement d'heure. L'inconvenant de la façade dynamique, c'est la fatigue des pièces mobiles du système.

I.3.2.2. Al Bahar tours :

Al Bahar Towers inspiré du « Mashrabia », c'est un système d'ombrage traditionnel islamique. Le Mashrabia est un système d'ombrage efficace qui réduit le gain solaire, minimisant l'éblouissement et offrant l'intimité. Le génie de cette architecture d'Al Bahar Towers c'est l'utilisation de ce système (Mashrabia) comme une stratégie de protection solaire contre les rayonnements intenses du soleil de la ville d'Abu Dhabi (Fig.I.23).



Fig.I.23 : Le système dynamique d'ombrage à Al Bahar Tours
(Source : <https://laviebohemetravel.wordpress.com>)

Le « Mashrabia » à Al Bahar Towers se compose d'une série de modules de parapluie transparents qui s'ouvrent et se ferment en réponse à la trajectoire du soleil, chacun des deux tours contient plus d'un millier de dispositifs d'ombrage individuels, l'architecte s'est inspiré de la fleur de Mangrove où les tours sont situés (Arup, 2012), chaque unité de la paroi d'ombrage comprend une série de PTFE (polytétrafluoroéthylène) (Fig.I.24), l'état de panneau lorsqu'il est ouvert est entraîné par un actionneur linéaire qui va progressivement s'ouvrir et se fermer une fois par jour en réponse à une séquence préprogrammée qui a été calculée pour empêcher les gains solaires directs ce procédé se ferme complètement une fois que les rayons solaires atteignent 400 watts. Toute l'installation est protégée par une variété de

capteurs qui ouvriront les unités en cas de conditions nuageuses ou de vents violents (Alkhayyat, 2013).

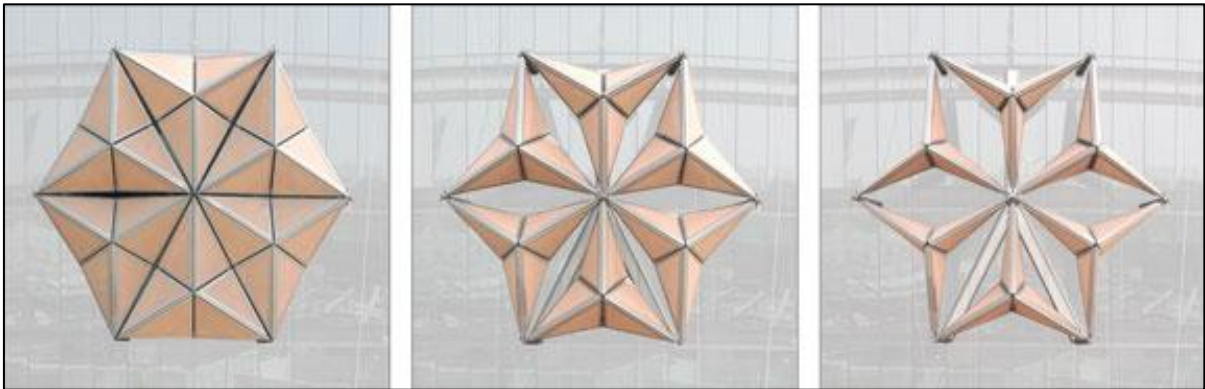


Fig.I.24 : Unité d'ombrage à différents états fermée, semi-fermée, ouverte
(Source : <https://laviebohemettravel.wordpress.com>)

I.3.2.3. Centre d'Architecture HelioTrace :

Le concept de la façade du « HelioTrace », réalisé dans le cadre d'une compétition architecturale menée par une équipe de l'initiative « *Adaptive Building* ». Le but de cette architecture est de développer un bâtiment sophistiqué entouré par une enveloppe qui pourrait s'adapter à son environnement, en créant un système cinétique sensible de mur-rideau.

Les membres de cette équipe citent auparavant ont envisagé une configuration qui améliore les performances du mur-rideau en ce qui concerne la lumière du jour et l'éblouissement, et qui diminue le gain de chaleur solaire de 81 %, pour cela l'équipe « *Adaptive Building* » a développé un système d'ombrage cinétique pour toute la façade, en appliquant son système de « Strata » à base de motifs (Hoberman et Schwitter, 2008).

Le système de rideau cinétique Helio Trace peut suivre continuellement le chemin du soleil au cours d'une journée et d'une année. Contrairement aux autres mécanismes ; ce modèle cinétique développera expressément la lumière du jour alors que la diminution du gain de chaleur solaire aura des répercussions sur les résidents du bâtiment. Voir (Fig.I.25)

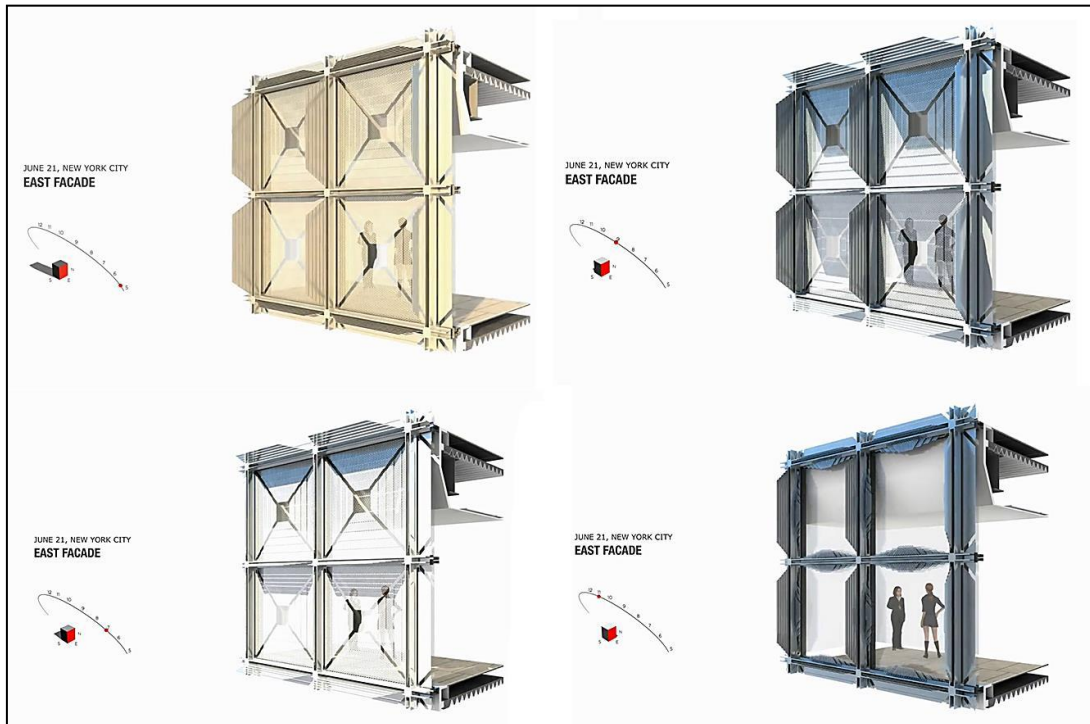


Fig.I.25 : Les modifications du comportement cinétique pendant la journée à HelioTrace

(Source : Hoberman and Schwitter, 2008)

Trois éléments formalisent le système :

Les motifs cinétiques de l'ombre sur la façade du bâtiment sont liés à un revêtement préfabriqué, thermiquement efficace, qui permet l'utilisation des plaques de plafonds intérieurs refroidis qui ont un rendement énergétique inférieur à celui des autres solutions de climatisation standard.

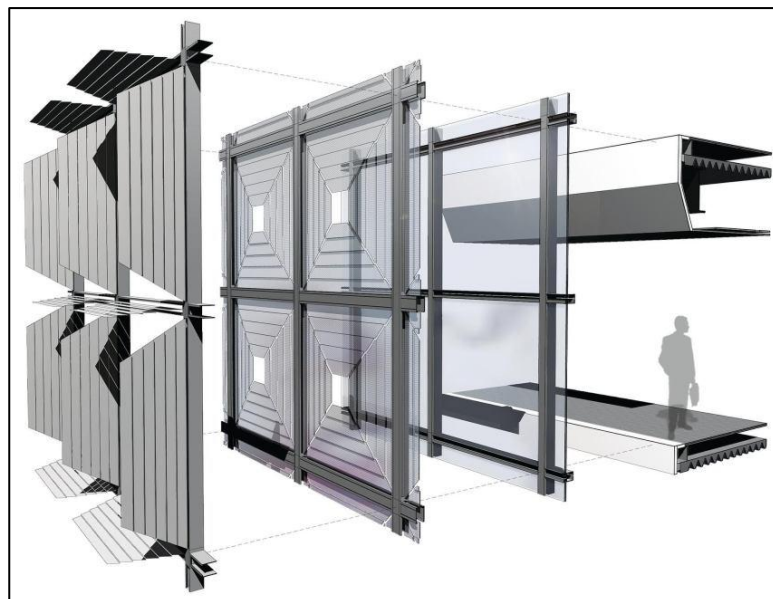


Fig.I.26 : Section 3D éclatée pour l'unité de fenêtre Helio Trace Center

(Source : <http://www.architectmagazine.com>)

La conception finale présente un modèle cinétique adaptatif ; répondant aux exigences écologiques, formelles et fonctionnelles. (Fig.I.26).

I.3.2.4. Q1 Building :

Q1 building est un équipement administratif situé à la ville d'Essen en Allemagne où la principale fonction du système de son façade est de contrôler l'entrée de la lumière dans le bâtiment. Le système d'ombrage est constitué de 3 150 ailettes verticales amovibles en acier inoxydable dans lesquelles sont installées des persiennes horizontales adaptables (Fig.I.27). Le câblage pour toutes ces ailettes et ces volets est logé dans les conduits qui coulent en haut et en bas de la façade.

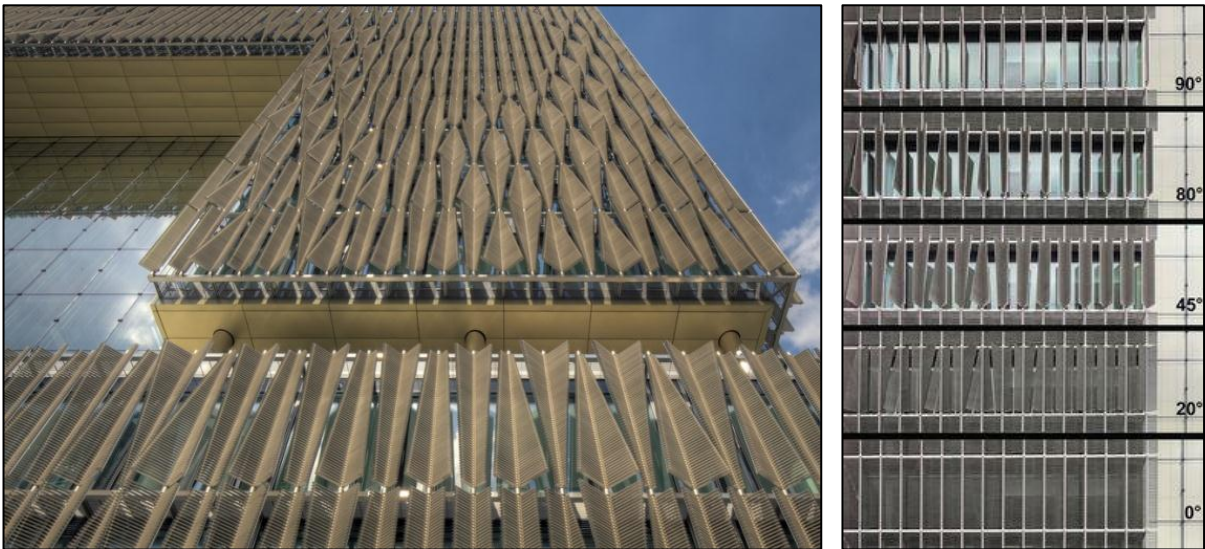


Fig.I.27 : Le système d'ombrage de Q1 Building avec les ailettes verticales amovibles

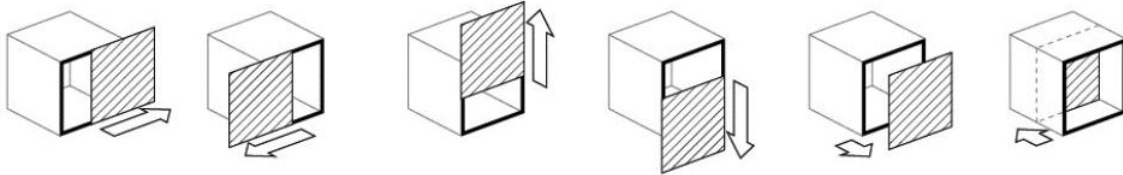
(Source : [http:// www.tommr.de](http://www.tommr.de))

Les ailettes verticales tournent 180 degrés autour des conduits et les louves horizontales agissent dans une mini étagère légère et réfléchissent la lumière dans les espaces intérieurs, il s'agit d'un système optimisé qui tire parti des lames horizontales adaptables et des éléments verticaux adaptatifs. Ils se déplacent en conséquence avec l'angle du soleil en réduisant le besoin d'éclairage artificiel et de la climatisation artificielle créant un système hautement durable et économe en énergie. Ce système tente également de maximiser les vues pour les utilisateurs (Grefen, 2010).

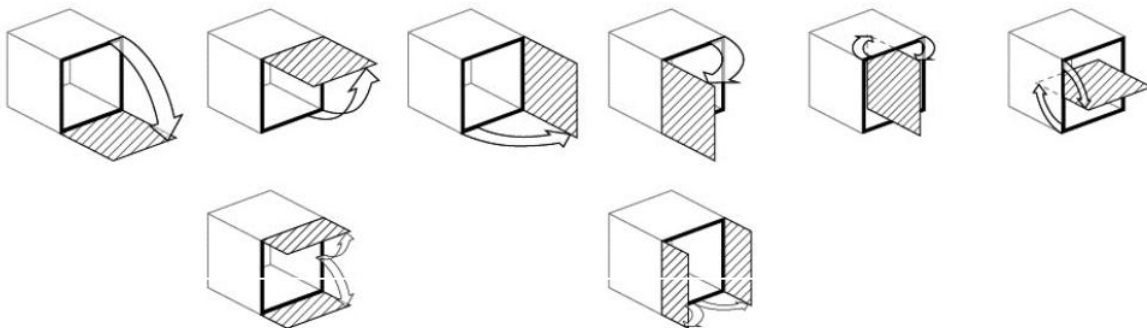
I.4. Les types de mouvement d'une façade dynamique :

Schumacher et al. (2010) et Moloney (2011) se sont intéressés à la question du dynamisme en architecture, principalement au niveau de la façade.

Coulissant



Pivotant



Pliant

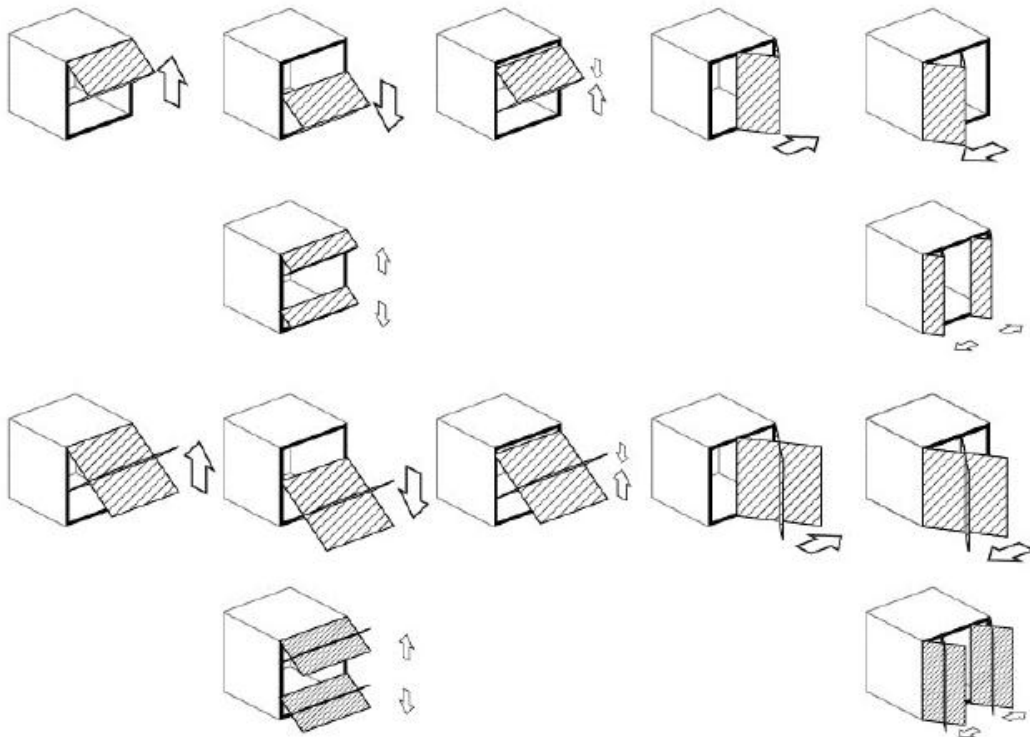


Fig.I.28 : Typologie de mouvement de plans

(Source : Schumacher et al. 2010)

Ils identifient deux grandes familles de mouvements de plans, soit la translation et la rotation, qui forment les différentes typologies de mouvement. Voir (Fig.I.28)

Schumacher et al. (2010) définissent le mouvement comme « résultant du passage d’une position stationnaire à une nouvelle position stationnaire ». Il peut être fonctionnel, sensible, poétique, Fox et al. (2009) notent un grand potentiel en architecture. Ils affirment que le mouvement en façade peut intégrer la conception notamment sur les plans de la limite entre zones publiques et privées et de l’optimisation environnementale.

Coulissant

		
olsonkundigarchitects.com Stilt Cabin Seattle, EU Olson Sundberg	detail-online.com House in Oderbruch Oderbruch, Allemagne Heide & von Becheracht	Schumacher et al. (2010) Sliding House Suffolk, Royaume-Uni dRMM
Ouverture/Intimité Conservation	Occultation Conservation	Exposition/Conservation Protection

Pivotant

			
architectnophilia.blogspot.ca Tucker House Victoria, Australie Sean Godsell	tinyhouseblog.com False Bay Cabin San Juan, Island Tom Kundig	stahl-info.de Haus Schwartz Munich, Allemagne ILG Architekten	arup.com Arup Campus Solihull, Royaume-Uni Arup Associates
Occultation	Création d’espace Conservation Réflexion	Occultation Ouverture/Intimité	Occultation

Pliant

			
architectmagazine.com Loblolly House Taylors Island, EU Kieran Timberlake Ass.	Schumacher et al. (2010) Kiefer Technic Showroom Steiermark, Autriche Brecht+PartnerZT GmbH	akdn.org B2 House Çanakkale, Turquie Han Tümerterkin	kma.com Service Center Munich, Allemagne Staab Architekten
Occultation Intimité Double Paroi	Occultation/Réflexion Ouverture/Intimité	Occultation Ouverture/Intimité	Occultation Ouverture/Intimité

Fig.I.29 : Des exemples exploitant le mouvement d’éléments de la façade

(Source : Montier, 2013)

La conception d'une façade adaptative doit tenir compte de l'effet du mouvement sur le confort des occupants, mais également de l'esthétique du mouvement en tant que tel. Bien que la recherche ne s'attarde pas à cette question, il existe effectivement dans le mouvement une poésie intrinsèque.

I.4.1. Les types de contrôles des systèmes adaptatifs:

L'efficacité de contrôle est un élément clé pour la réussite de l'opération des CABS, deux types de contrôle différents se distinguent dans l'analyse :

I.4.1.1. Le contrôle extrinsèque :

La qualité distinguée des enveloppes adaptatives avec un contrôle extrinsèque est la capacité de bénéficier de la rétroaction, car le feedback implique que les effets de la configuration actuelle (d'action) peuvent être comparés à l'état désiré (point de consigne), et si nécessaire le comportement de l'enveloppe du bâtiment peut être ajusté activement. La structure extrinsèque contrôlée se compose de trois éléments de base : des capteurs, des processeurs et des actionneurs (Teuffel, 2004).

Le comportement est en mesure de changer l'intention en action à deux différents niveaux :

- a. Distribué par l'intermédiaire de calcul intégré dans les processeurs locaux.
- b. Centralisé, entraîné par une unité de contrôle de surveillance pour atteindre des valeurs globales ciblées.

I.4.1.2. Le contrôle intrinsèque :

Les enveloppes adaptatives avec un contrôle intrinsèque se caractérisent par le fait que la capacité d'adaptation est une caractéristique inhérente des sous-systèmes comprenant l'enveloppe du bâtiment. Les CABS de ce type sont auto réglable, car le comportement adaptatif est automatiquement déclenché par des stimuli environnementaux tels que : la température, l'humidité relative, les précipitations, vitesse et direction du vent, le rayonnement solaire, la couverture nuageuse ou de niveau CO₂. Ce type de contrôle autonome est parfois aussi appelé « contrôle direct », car les impacts environnementaux sont directement transformés en actions sans composante de prise de décision externe (Fox et Al, 1999).

I.4.2. Comparaison des systèmes :

Le type de système extérieur de contrôle du soleil est un point important à étudier pour la plupart des bâtiments, en particulier pour ceux qui sont situés dans des environnements extrêmes similaires au climat de désert Algérien avec une prédominance de ciel clair. La mise en œuvre d'un système de contrôle solaire mécanique doit être étudiée précisément en incluant une analyse de plusieurs éléments en rapport avec l'environnement particulier dans lequel le système sera placé :

- Géométrie solaire
- Températures extrêmes
- Niveaux d'éclairement
- Humidité relative
- Les habitudes de vent
- La concentration de la poussière dans l'air
- Matériaux du système
- Mécanismes appropriés

Conclusion :

Notre climat a commencé à changer de façon spectaculaire. Le réchauffement de la planète fera en sorte que ses cours d'évolutions politiques, économiques et technologiques produisent des cultures en voie de mondialisation et dynamique et de milieux de travail virtuels parmi d'autres changements au taux logarithmique. L'architecture doit répondre. Afin de se tenir à jour dans ce monde dynamique, les architectes doivent reconsidérer la conception au-delà du médium numérique. Nous avons besoin de croire que les peaux architecturales peuvent être sensibles, des prolongements interactifs de notre propre corps et pas seulement sur la protection de la nature.

Le bâtiment doit être en relation plus proche du contexte climatique, et que l'enveloppe du bâtiment est la frontière entre le climat environnant et l'intérieur, de la construction de l'enveloppe devient un paramètre crucial dans la conception durable et de l'efficacité énergétique du bâtiment efficace. Comme Mark Weston (2010) met « la construction durable est tout simplement une bonne conception et il a toujours été ».

L'évaluation des façades adaptatives utilisant des protocoles de mesure et d'évaluation actuellement disponibles pose un certain nombre de défis et de questions, telles que la méthodologie, la référence de la performance, la complexité et l'intégration des façades avec la réponse des occupants, le contrôle des systèmes HVAC, la représentation de la technologie et la modélisation des données.

Les enveloppes adaptatives réussies, doivent avoir la capacité d'agir en réponse aux fluctuations du rayonnement solaire, pour assurer des vues extérieures tout en évitant l'éblouissement, l'inconfort. Le maintien de l'exploitation de ce procédé de contrôle, accorde une économie d'énergie dans le bâtiment.

La conception Paramétrique

(Concepts et outils)

Chapitre II

« *L'ordinateur n'a pas inventé la conception paramétrique ni a redéfini l'architecture; il fournit un outil précieux qui a permis aux architectes de concevoir et de construire des bâtiments innovants avec des conditions qualitatives et quantitatives plus strictes* » **Phillips. S, 2014**

Introduction

L'architecture paramétrique a pris de l'ampleur au cours des dernières années. Cette nouvelle approche de conception implique les comportements d'esquisse dans les programmes de conception informatiques avancés, et qui aident les architectes à explorer de nouvelles géométries (Schumacher, 2009). Le paramétrage d'une conception peut conduire à une exploration générative des alternatives de conception. Une fois que les intentions de conception ont été numérisées par des paramètres, le modèle paramétrique peut être ajusté en permanence pour produire des conceptions alternatives qui suivent les contraintes du projet, ainsi que la direction et les intentions du concepteur (Tucker, 2014).

Le processus de travail paramétrique par opposition à la modélisation manuelle fournit une flexibilité qui permet des solutions multiples avant la réalisation du projet. Le concepteur est en mesure de générer des "versions" de propositions pour la conception qui sont légèrement différentes entre eux et de tester ceux-ci avec l'autre afin de déterminer l'optimal par la suite à la performance.

Dans ce présent chapitre, nous allons exposer cette nouvelle approche de conception, ces multiples concepts et outils de travail qui nous permettent de mieux comprendre cette tendance

II.1. L'architecture paramétrique:

II.1.1. Définition de l'architecture paramétrique :

Le terme *paramétrique* provient des mathématiques (équation paramétrique) et fait référence à l'utilisation de certains paramètres ou variables qui peuvent être modifiés pour manipuler ou modifier le résultat d'une équation ou d'un système final (Encyclopedia of Mathematics).

La conception paramétrique (parametric design) : est une approche innovante du design numérique qui permet de générer des formes à géométrie complexe à partir de l'exploitation d'une grande quantité des données. Ces données peuvent être de type environnemental, acoustique, structurel, et social ou urbain (Frazer, 2016). Le paramétrique est un processus basé sur la pensée algorithmique qui permet la combinaison des paramètres demandés ensembles, qui définissent, codent et clarifient la relation entre l'intention et la réponse de la conception. Voir (Fig.II.1)



Fig.II.1 : Une façade modélisée avec un processus paramétrique

(Source : <http://www.commentcamarche.net/contents>)

D'après Ahlquist et Menges en 2011, cette conception paramétrique est un processus de calcul aussi, qui peut fonctionner comme un générateur ou comme méthode d'analyse lors de la conception et la réalisation, elle a récemment obtenu une grande approbation des chercheurs et des professionnels.

La conception paramétrique permet la reconnaissance des modèles de comportement géométrique, et les capacités performatives liées dans une rétroaction continue avec l'environnement extérieur. Ces tendances comportementales peuvent alors informer le développement ontogénétique d'un système spécifique à travers la différenciation paramétrique (Hensel et Menges, 2008).

II.1.2. Les origines de « Parametric Design »:

Le terme paramétrique même s'il provient du mathématiques, mais il y a un débat depuis quand les concepteurs ont commencé à l'utiliser. David Gerber en 2007, dans son thèse de doctorat intitulée « Parametric Practice » a crédité *Maurice Ruitter* pour avoir utilisé le terme pour la première fois dans un article en 1988 intitulé *Parametric Design*, mais Robert Stiles en 2006 soutient que la provenance réelle du paramétrique était quelques décennies plus tôt. L'architecte Luigi Moretti été le pionnier qui a beaucoup écrit sur *l'architecture paramétrique*, et qu'il définit comme l'étude des systèmes d'architecture dans le but de «définir les relations entre les dimensions dépendantes des différents paramètres.» Moretti a utilisé la conception paramétrique pour la première fois dans un stade a milan , en expliquant comment la forme du stade peut dériver de dix-neuf paramètres, comme les angles de vision et le coût économique du béton. Le stade conçu par Moretti été présenté dans le cadre de son exposition d'architecture paramétrique à la douzième triennale de Milan en 1960 (Bucci et Mulazzani 2000). Voir (Fig.II.2)

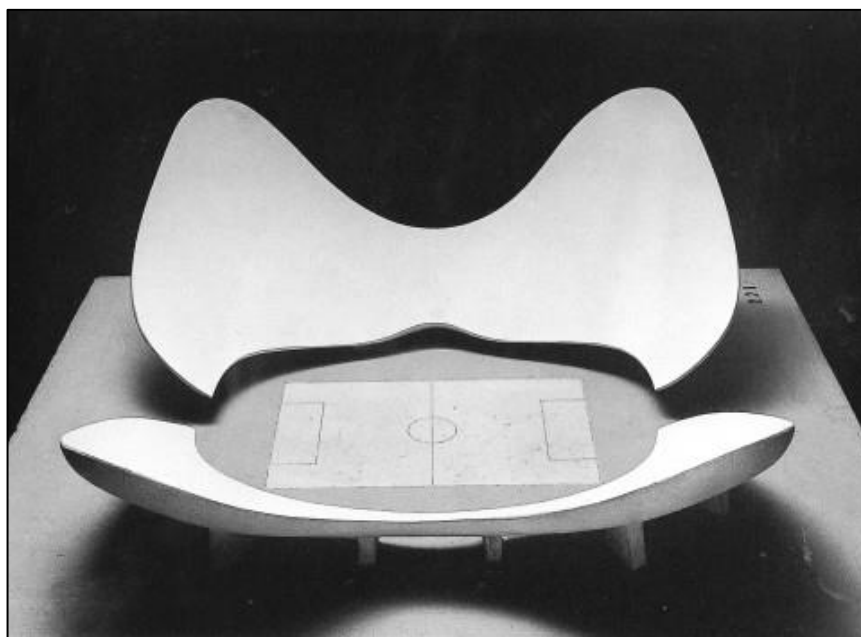


Fig.II.2 : Maquette d'un stade N par Luigi Moretti. A Milan
(Source: Bucci et Mulazzani 2000)

Dans les cinq années qui suivent l'exposition, entre 1960 et 1965, Moretti conçoit le Complexe Watergate, qui est le premier grand ouvrage de construction à faire un usage significatif des ordinateurs (Livingston, 2002). Le complexe Watergate est maintenant mieux

connu par les nombreux architectes qui utilisent aujourd'hui des ordinateurs pour créer des modèles paramétriques de la manière de Moretti.

La conception paramétrique a une longue histoire en mathématiques et les premiers exemples étant utilisés pour décrire les modèles tridimensionnels viennent presque cent ans avant les écrits de Moretti.

II.1.3. Systèmes de conception paramétriques

II.1.3.1. Les composantes des modèles paramétriques :

La conception paramétrique est une *conception basée sur des contraintes*, pour cela elle contrôlée par des paramètres, et par la collecte des procédures associatives (Monedero, 1998). Dans cette dernière, les paramètres de la conception contrôlent la géométrie en particulière, et pas les formes prédéfinies. En outre, des différentes formes et configurations géométriques peuvent facilement être obtenues par des différentes valeurs de paramètres (Kolarevic, 2003). C'est pourquoi la conception paramétrique a changé le rôle des architectes, de concevoir la géométrie elle-même vers la production de la géométrie à partir des règles prédéfinies par le concepteur.

Les modèles paramétriques ont deux composantes variables:

- **Les paramètres** : les relations géométriques et les nombres
- **les contraintes** : les éléments fixes constants

La modélisation dans l'approche paramétrique nécessite des valeurs définies, ces derniers sont souvent exprimés par le biais des équations mathématiques. Pour cela le design paramétrique a un rôle actif dans la conception basée sur la qualité environnementale. les paramètres établis deviennent des outils qui répondent automatiquement à nos exigences de simulation afin d'obtenir des solutions adéquates durant le processus d'optimisation (LaBelle, et al. 2008).

II.1.3.2. La modélisation paramétrique :

La modélisation paramétrique est un mode de fonctionnement des logiciels de conception assistée par ordinateur actuels. Il s'agit de définir une entité par des paramètres qui peuvent être modifiés facilement. De cette façon, on change aisément la définition des modèles à simuler. Les paramètres peuvent être de plusieurs types : intrinsèques (longueurs, angles),

cartésiens (coordonnées par rapport à un repère), situationnels (distance, angle entre 2 éléments).

Les outils de calcul et particulièrement la conception paramétrique peuvent aider à la coordination raffinée et dynamique de l'intelligence interdisciplinaire qui a été transmise à travers divers outils et techniques analytiques (Kocatürk et Medjdoub, 2011). Par conséquent, les systèmes paramétriques simplifient une interaction multiple entre la géométrie qui est la représentation de la conception primaire, et les exigences de la conception symboliques (Dino, 2012).

Les outils de conception paramétriques mettent en évidence une collection des méthodes de conception. Avec la possibilité de transformer les techniques de conception ordinaires, une fois, par la conception assistée par ordinateur (CAO), ou par la proposition de techniques génératives (Akin, 1990).

II.1.3.2.1. *Les fonctions dans la modélisation :*

Les logiciels de CAO paramétrique se caractérisent par la présence d'un historique. Cet historique est généralement représenté sous la forme d'un arbre reprenant les différentes opérations effectuées, appelées fonctions (feature en anglais, d'où l'appellation anglaise Parametric feature based modeler). Ces fonctions sont généralement créées à partir d'esquisses variationnelles.

Les différents types de fonctions d'un logiciel de CAO paramétrique mécanique généraliste sont:

- Extrusion : à partir d'une esquisse, par enlèvement ou ajout de matière
- Révolution : à partir d'une esquisse, par enlèvement ou ajout de matière
- Arrondi
- Balayage
- Chanfrein
- Dépouille
- Coque
- Découpe par une surface ou un plan (nécessite une représentation interne B-Rep)

- Lissage entre surfaces

II.1.3.2.2. En règle générale la représentation interne du modèle est de type B-Rep et NURBS.

II.1.4. Les outils de modélisation paramétrique :

Concevoir des bâtiments et des villes en utilisant des outils de conception paramétrique et de script peut souvent apparaître visuellement superbe, mais pour la plupart, ces conceptions ont tendance à incorporer beaucoup d'hypothèses aveugles pour pouvoir répondre avec nuance à des situations du monde réel. Dans le monde de l'informatique Parametric Technology Corporation (fondée par le mathématicien Samuel Geisberg en 1985) a lancé le premier logiciel de modélisation paramétrique commercialement performant, Pro / ENGINEER (Weisberg, 2008).

Aujourd'hui, de nombreux grands designers qui se sont engagés dans la conception paramétrique au cours des dix à quinze derniers ans, cette situation a mené vers l'apparition d'un grand nombre des logiciels de modélisation et de simulation paramétrique en temps réel, parmi ces outils on peut citer les suivants :

II.1.4.1. Rhinocéros :

Rhinocéros (Rhino) est un logiciel développé par Robert McNeel & Associates, se spécialise dans la modélisation 3D rationnelle B-spline et (NURBS) les formes libres non-uniformes. Rhino a été officiellement lancé en 1998 et son développement est en cours.

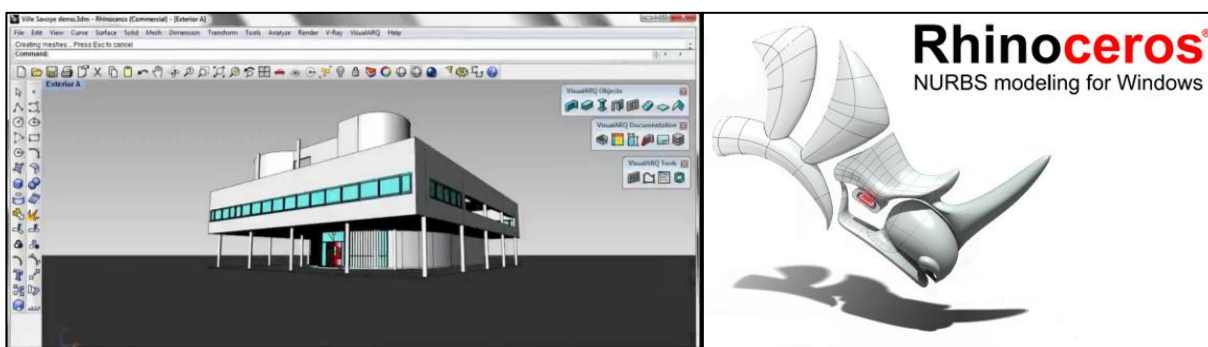


Fig.II.3 : L'interface et le logo du logiciel Rhino

(Source : [http://www. http://altair-consulting.com/](http://www.altair-consulting.com/))

Ce programme de modélisation gagne du terrain parmi les différentes disciplines de conception (Architecture, Ingénierie structurelle et design industriel), car il est diversifié,

facile à apprendre et à utiliser, et dispose d'un ensemble puissant de multiples add-ons et des plug-ins disponibles. Les capacités de modélisation Rhinocéros sont remarquables, mais certains plug-ins, comme Grasshopper, mettent en place un instrument de conception puissant pour conceptualiser (Majed et Alkhayyat, 2013). Voir (Fig.II.3)

II.1.4.2. Grasshopper:

Grasshopper aide Rhinocéros dans la construction des formes géométriques en utilisant « Générative Algorithmes », et ne nécessite aucune connaissance précédente de programmation ou de script. Son interface permet les scripts pour créer la modélisation paramétrique. En outre, Grasshopper est très visuel, une caractéristique que la plupart des designers apprécient. Il apporte la possibilité de développer des routines paramétriques simples ou complexes qui peuvent être appliquées à la résolution de problèmes de conception tout en visualisant simultanément des solutions. Cela devient un outil important pour l'architecture problème de conception résolution. McNeel a fourni une description de ce plug-in (Majed et Alkhayyat, 2013). Voir (Fig.II.4)

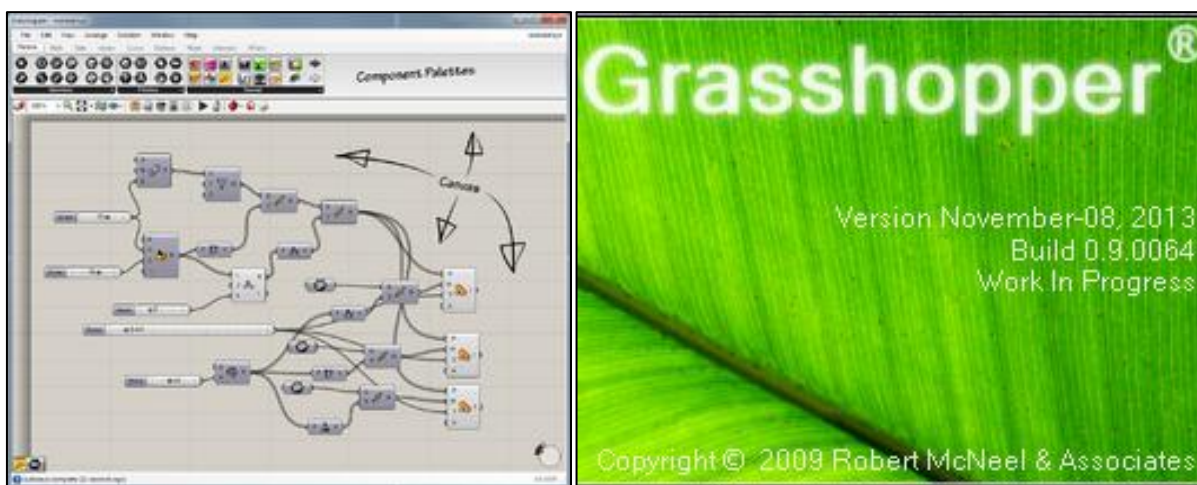


Fig.II.4 : L'interface et le logo du plug-in Grasshopper

(Source : <http://www.arch2o.com/wp-content/>)

II.1.4.3. Autres logiciels paramétriques :

Depuis le début des années 1980, le développement des logiciels paramétriques a été en croissance dans l'industrie du bâtiment et de la conception. Le tableau II.1 indique les logiciels les plus couramment utilisés.

Tableau.II.1 : Logiciels paramétriques utilisés pour la conception et la construction.

(Source : Grijalva, 2012)

Logiciels paramétriques	Description
CATIA	Une application interactive tridimensionnelle assistée par ordinateur, et une plate-forme CAD / CAM / CAE développée par Dassault Systèmes. L'application est initialement développée en 1977 (connu sous le nom de CATI) pour aider à la fabrication d'aéronefs.
SolidWorks	Lancé en 1995. Ce logiciel de CAO et 3D a été conçu comme un logiciel pour le système Windows. Propriété actuelle de Dassault Systèmes.
Generative Components	Introduit par Bentley Systèmes en 2003. Ce logiciel est utilisé avec la modélisation des solides 3D pour fournir des capacités paramétriques.
ParaCloud GEM	Un logiciel de Generative Design qui acquiert des données de Microsoft Excel pour créer des modèles paramétriques. Il est compatible avec Rhino, Maya, 3DS Max et Sketch Up. Il a été lancé en 2008.
ArchiCAD	Lancé par Graphisoft en 1987, ce logiciel BIM-CAD est capable de créer des objets 3D paramétriques, qui peuvent être représentés soit en 2D, soit en 3D.
Revit	Un logiciel BIM-CAD qui a des spécificités architecturales, structurelles, dans lequel des modèles spécifiques peuvent fusionner en un centralisé. Il a été acquis par Autodesk en 2002.

Digital Project	Un logiciel BIM-CAD basé sur CATIA v5, développé par Gehry Technologies. Lancé en 2004 comme un effort pour rassembler AEC industrie.
------------------------	--

II.1.5. Le paramétrique et la simulation dynamique :

II.1.5.1. La définition de la simulation :

Le terme simulation se réfère à une technique de modélisation qui peut être utilisée pour envisager la performance d'un système par la représentation mentale des composants de base du système sans en illustrer l'intégralité (Grobman et Ron, 2011).

II.1.5.2. La simulation et l'architecture numérique :

La simulation dans l'architecture numérique est définie comme des outils numériques qui permettent de prédire les performances environnementales et structurelles du bâtiment. La puissance des techniques de simulation et des logiciels dépend de la performance du système à la modification qui a été faite par les concepteurs. Cependant, le principal inconvénient des programmes de simulation est qu'ils fonctionnent sous un processus d'essai et d'erreur. Cela signifie que le concepteur doit avoir la solution afin d'obtenir des commentaires pour le moteur de simulation. Par conséquent, le processus de la conception implique des possibilités récurrentes, des évaluations et des ajustements pour atteindre les résultats désirés (LaBelle, et al. 2008).

En dépit de ses faiblesses, les simulations considérées comme un outil important dans le processus de conception numérique, en particulier dans la conception basée sur la performance. Dans la phase d'esquisse, les simulations alimentent le processus de conception en aidant les concepteurs à trouver, expliquer et confirmer par des représentations les solutions désirées. Pourtant, le succès de ce processus dépend des compétences de concepteur dans la définition correcte du problème de la conception, la formulation d'hypothèses précieuses et surtout d'interpréter les résultats alternatifs (Chalabee, 2013). Voir (Fig.II.5)

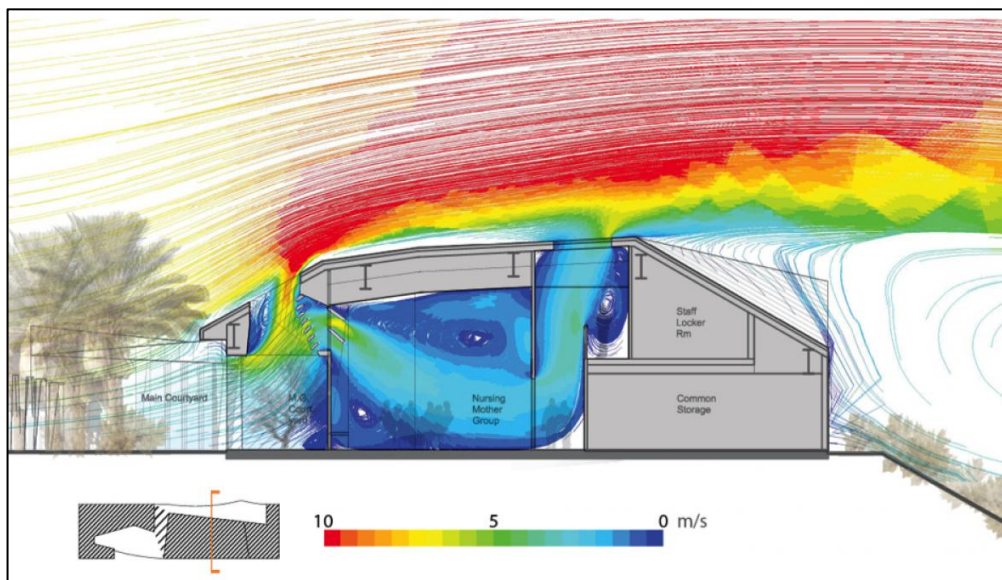


Fig.II.5 : Une maquette numérique et le résultat d'une simulation de ventilation

(Source : <https://www.design.upenn.edu/sites>)

De nombreuses implications ont été développées pour simuler et évaluer les performances de différents bâtiments, telles que la structure, l'éclairage, les flux thermiques, la consommation d'énergie. Les améliorations apportées aux environnements de simulation des bâtiments ont été absorbées dans deux domaines: comment sont-ils structurés et quelles fonctions soutiennent-ils ? Certes, les développeurs modernisent les algorithmes de simulation pour prédire la performance du bâtiment, afin d'atteindre l'efficacité des représentations et la validation des prévisions.

II.2. Les styles de conception paramétriques :

Y a-t-il un style paramétrique? La conception paramétrique est une méthodologie de conception basée sur la modélisation paramétrique et les techniques de script. Cette méthodologie pourrait être employée d'une manière productive sur n'importe quelle conception architecturale, indépendamment du style architectural auquel le concepteur pourrait adhérer. Tous les styles peuvent bénéficier de l'avantage de maintenir la malléabilité pendant la résolution progressive de la conception. La conception paramétrique est donc également applicable à tous les styles architecturaux et, en ce sens, stylistiquement neutres (Schumacher, 2014).

II.2.1. Le Parametricism :

« *Le Parametricism permet de construire un ordre visuel et sémiologique complexe qui facilite l'orientation en rendant lisible l'ordre complexe des processus de vie urbaine. Le Parametricism est capable de coordonner les préoccupations pragmatiques et de les articuler avec toutes leurs riches différenciations et associations pertinentes. Le danger de dominer la richesse de la vie réelle est minimisé parce que la variété et l'adaptabilité sont inscrites dans la composition très génétique du Parametricism.* » **Patrick Schumacher 2011**

Le **parametricism** est le style contemporain qui avance le plus vigoureusement par son programme de conception sur la base des techniques de conception paramétrique, pour cela les aspects de parametricism ont été utilisés dans la conception urbaine, la conception architecturale, le design intérieur et le design de mobilier.

II.2.1.1. Définition conceptuelle du parametricism:

Le parametricism est un style contemporain au sein de l'architecture avant-garde, promu en tant que successeur de l'architecture post-moderne et de l'architecture moderne. Le terme a été inventé en 2008 par Patrik Schumacher, un partenaire architectural de Zaha Hadid. Le parametricism à son origine dans la conception paramétrique est basé sur les contraintes dans une équation paramétrique. Il se repose sur des programmes, des algorithmes et des ordinateurs pour manipuler des équations au cours de la conception (Schumacher, 2012). Voir (Fig.II.6)



Fig.II.6 : Une conception paramétrique d'une station de métro (le roi Abdullah) –L'Arabie saoudite
Par Zaha Hadid

(Source : <http://www.world-architects.com/pages/>)

II.2.1.2. Définition opérationnelle du parametricism :

La définition opérationnelle du parametricism comprend à la fois une heuristique formelle (établir des règles et des principes qui guident l'élaboration et l'évaluation du développement formel et de la résolution de la conception) ainsi qu'une heuristique fonctionnelle (établissant des règles et des principes qui guident l'élaboration et l'évaluation de la fonctionnalité du design).

II.2.1.2.1. Heuristique fonctionnelle négative (tabou fonctionnel) :

- Il faut éviter tout stéréotype fonctionnel rigide, il faut éviter de penser en élément fixe et éviter les désignations fonctionnelles rigides.
- Le principe moderniste du zoning est interdit ainsi que toute zone monofonctionnelle.

II.2.1.2.2. Heuristique fonctionnelle positive (dogme fonctionnel) :

- Toutes les fonctions sont des scénarios paramétriques. L'utilisation des nouvelles technologies dans la simulation des activités sociales qui permet la construction des scénarios socio-viables.
- Toutes les activités sont connectées entre elles. Autrement dit tous les territoires et espaces sont conçus de telle sorte qu'il maximalise l'accessibilité de leurs événements et activités.

II.2.1.2.3. Heuristiques formelles négatives (tabous formels) :

- Il définit toutes formes géométriques rigides carrées triangles ainsi que l'assemblage de différents éléments et de systèmes comme étant à éviter. Mais aussi toute répétition simple et la monotonie, cela implique un manque de diversité spatiale.

II.2.1.2.4. Heuristiques formelles positives (dogme positif) :

- le privilège des formes douces qui sont des formes malléables, facilement modifiables selon les paramètres donnés.
- Tous les éléments d'un système doivent être différents. Il faut ainsi éviter toute répétition d'éléments dans un même système.

II.2.1.3. Les caractéristiques du parametricism :

Les partisans de parametricism ont déclaré que l'une des caractéristiques définissant est que le parametricism implique que tous les éléments de la conception deviennent paramétriquement variables et mutuellement adaptables (Katerina, 2015).

Selon Schumacher, le parametricism rejette à la fois l'homogénéisation (une répétition de série), et de la différence pure (des éléments indépendants) en faveur de la différenciation et de corrélation en tant que valeurs de composition clé. Le but est de construire l'espace spatial avec plus de complexité tout en conservant la lisibilité, et savoir intensifier les relations entre les espaces (ou les éléments d'une composition) et de s'adapter à des contextes d'une manière qui établissent des connexions lisibles (Schumacher, 2011).



Fig.II.7 : Centre culturel heydar aliyeu, a Baku par Zaha Hadid

(Source : <http://www.arq4design.com/tododesign/>)

Le parametricism implique que tous les éléments et les compositions architecturaux sont paramétrablement malléables, cela implique aussi un changement ontologique fondamental au sein des éléments constitutifs de l'architecture. Au lieu de la dépendance classique ou moderne des figures géométriques idéales (hermétiques, rigides) — droites, rectangles, cubes, cylindres, pyramides et (semi-sphères) — les nouvelles primitives du parametricism sont animées (dynamiques, adaptatives, interactives), etc. (Schumacher, 2011). Voir (Fig.II.7).

Ce qui caractérise ce nouveau style aussi, ce sont les nouvelles ambitions et les nouvelles valeurs, tant sur le plan formel (la forme) que sur le plan fonctionnel (la fonction), qui doivent

être poursuivies à l'aide des nouveaux outils et techniques. Le parametricism poursuit le but très général d'organiser et d'articuler la diversité et la complexité croissante des institutions sociales et les processus de vie au sein d'un centre plus avancé, pour cette tâche, le parametricism vise à établir un ordre spatial complexe à travers les principes de la différenciation et de la corrélation (Schumacher, 2011).

II.2.1.4. Des aspects dans le paradigme de parametricism :

Le stade actuel d'avancement au sein du parametricism est concerné autant par l'avancement continu des processus de conception assisté par ordinateur. Le parametricism ne peut exister que par la promotion continue et l'appropriation sophistiquée de la géométrie algorithmique, et les techniques de conception et de calcul avancées telles que le script (Rhino-script) et la modélisation paramétrique (avec des outils comme Rhino ou ArchiCAD), c'est une réalité qui devienne omniprésente. Aujourd'hui, il est impossible de rivaliser au sein de la scène avant-garde contemporaine sans maîtriser et faire progresser ces techniques. Cependant, l'avancement des techniques devrait aller de pair avec la formulation de nouvelles ambitions et des agendas (Schumacher, 2007).

Les cinq programmes suivants vont injecter de nouveaux aspects dans le paradigme paramétrique et de pousser plus loin le parametricism :

II.2.1.4.1. L'inter-articulation des sous-systèmes :

L'ambition de passer par la différenciation d'un système unique vers l'association scriptée des multiples sous-systèmes Eg : enveloppe, structure, subdivision interne.

La différenciation dans un système quelconque est corrélée avec des différenciations dans les autres systèmes (Fig.II.8).

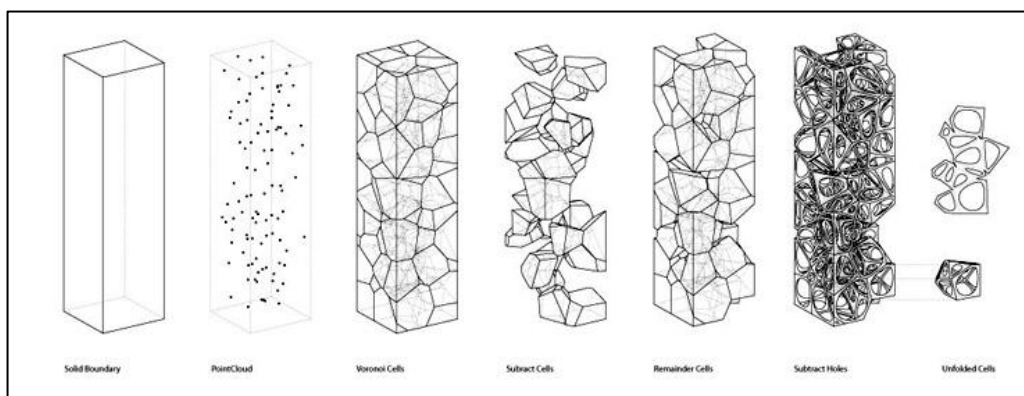


Fig.II.8 : Subdivision et corrélation entre structure et forme de l'enveloppe architecturale

(Source : <http://archisupertorture.blogspot.com/2016>)

II.2.1.4.2. L'accentuation :

L'accentuation dans le parametricisme est l'amélioration du sens général de l'intégration organique par des corrélations complexes qui favorisent l'amplification de déviation plus tôt que des adaptations compensatoires ou amélioratrices. Par exemple, lorsque les composantes génératives peuplent une surface avec une modulation de courbure subtile, la corrélation de la composante légitime doit accentuer et amplifier la différenciation initiale (Fig.II.9).

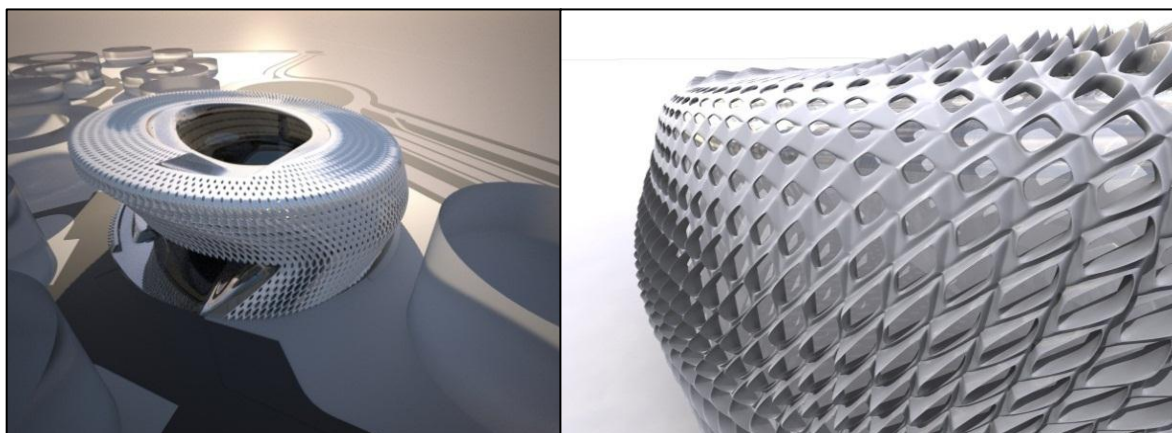


Fig.II.9 : Enveloppe architecturale avec une modulation de courbure par Zaha Hadid

(Source : <http://www.patrikschumacher.com/Texts>)

II.2.1.4.3. La réceptivité :

Les environnements urbains et architecturaux (intérieur) peuvent être conçus avec une capacité cinétique intégrée qui permette à ces environnements de se reconfigurer et de s'adapter en réponse aux modèles d'usage et d'occupation courants (Fig.II.10).

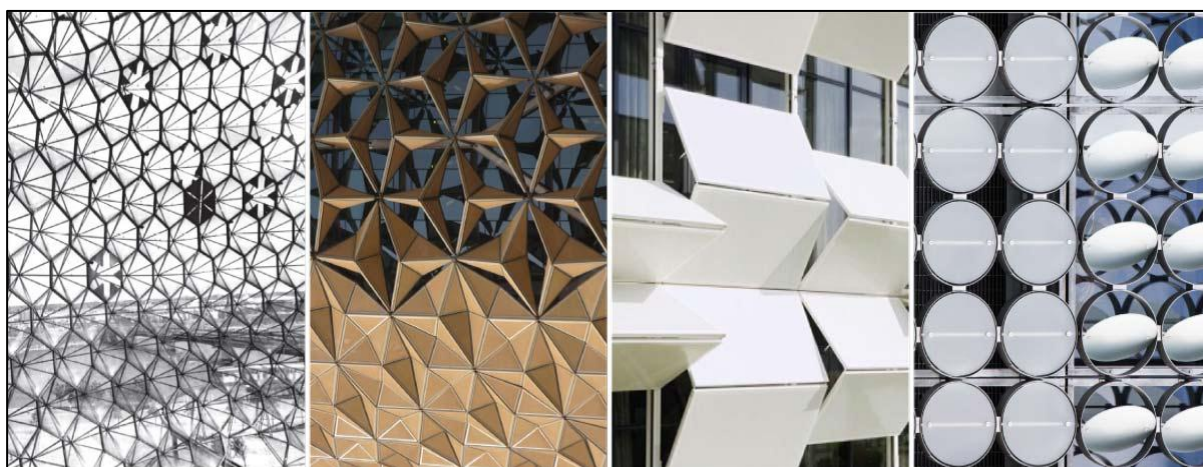


Fig.II.10 : Systèmes d'ombrage réactifs et adaptatifs

(Source : <http://fabacademy.org/archives/2015/sa/students>)

L'enregistrement en temps réel des patterns d'utilisation produit des paramètres qui conduisent le processus d'adaptation cinétique en temps réel. L'enregistrement cumulatif des modèles d'utilisation donne lieu à des transformations morphologiques semi-permanentes. L'environnement bâti acquiert une agence réactive à différentes échelles de temps.

II.2.1.4.4. La figuration :

Le modèle paramétrique peut être mis en place pour que les variables soient extrêmement sensibles. Les variations paramétriques déclenchent des catastrophes gestalt, c'est-à-dire que la modification quantitative de ces paramètres déclenche des changements qualitatifs dans l'ordre perçu de la configuration. Cette notion de figuration paramétrique implique une expansion des types de paramètres considérés dans la conception paramétrique. Au-delà des paramètres usuels des objets géométriques, les paramètres ambiants (confort, lumières) et observateurs (caméras variables) doivent être pris en compte et intégrés dans le système paramétrique.

II.2.1.4.5. L'urbanisme paramétrique :

L'urbanisme paramétrique n'implique que la modulation systématique des morphologies des bâtiments qui produit des effets urbains puissants et qui facilite l'orientation. Ces bâtiments forment un champ en évolution constante, avec des continuités légales cohérentes avec cette multiplicité de bâtiments. L'urbanisme paramétrique peut impliquer aussi l'accentuation paramétrique, la figuration paramétrique et la réponse paramétrique. (Fig.II.11)

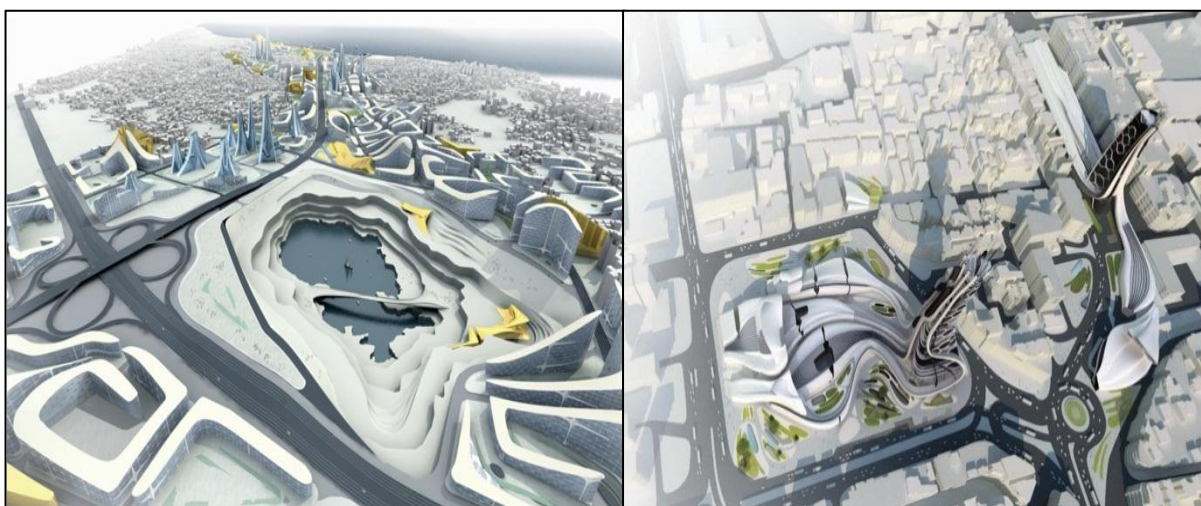


Fig.II.11 : Plan de masse proposé pour la ville d'Istanbul par Zaha Hadid en 2006

(Source : <http://www.patrikschumacher.com/Texts>)

II.3. De la conception paramétrique vers la conception générative :

Récemment, les simulations informatiques sont devenues un outil puissant pour étudier la performance environnementale du bâtiment (Caldas et Norford, 2002), pour cela l'utilisation des outils de simulation permet de s'engager dans des pratiques de conception basées sur des boucles de rétroaction entre les décisions de conception et les impacts environnementaux. (Chalabee, 2013).

Une nouvelle approche a été mise en place qui est capable d'évaluer de différentes alternatives de conception basées sur des objectifs précédemment définis, dans lequel cette méthode nommée comme « conception a objectif orienté » (Caldas et Norford, 2002). L'idée était sur l'application des techniques de recherche et d'optimisation, et les algorithmes génétiques (GA). Le concept d'algorithme génétique transfère la théorie de l'évolution naturelle au champ de l'optimisation en imitant dans un environnement virtuel une analogie rapide d'un mécanisme d'évaluation dans la nature (Chalabee, 2013). Voir (Fig.II.12).

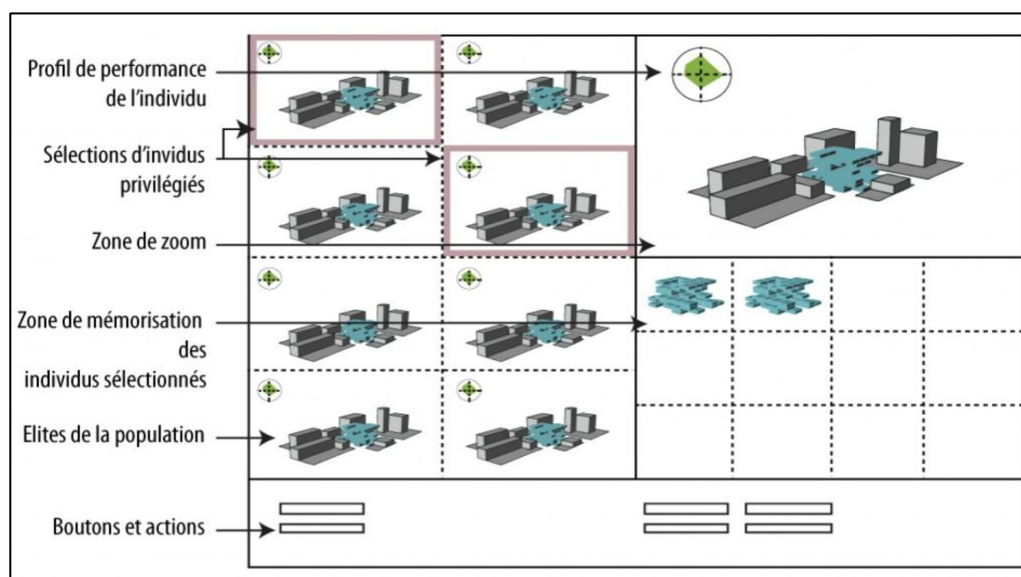


Fig.II.12 : Exemple d'une éco-conception générative

(Source : <http://dnarchi.fr/pedagogie/le-map-un-laboratoire>)

II.3.1. Définition de la conception générative :

La conception générative peut être exprimée comme une approche algorithmique est basée sur des règles de conception dans lesquelles des solutions diverses de conception possibles peuvent être générées. Les règles de la conception générative peuvent comprendre des

paramètres et des variables. Pour générer une gamme des résultats de conception possible, les paramètres étant appliqués de manière systématique (Galante, 1996)

II.3.2. Description des algorithmes génétiques :

Le concept des algorithmes génétiques (GA) a été introduit par Holland en 1975 et à partir de là, ils ont été utilisés comme approches de recherche adaptative pour résoudre des problèmes prétendant l'évolution biologique. Les nouvelles générations en GA utilisent le principe darwinien de la reproduction et la survie des opérations génétiques naturelles (Goldberg, 1989).

Les Algorithmes génériques sont une technique de recherche connue dans le monde entier pour rechercher des espaces de solutions bruyantes. La recherche commence par un échantillonnage aléatoire dans l'espace de la solution, puis des opérateurs stochastiques pour diriger un processus d'escalade basé sur la valeur de la fonction objective (Goldberg, 1989).

Dans le principe des Algorithmes génétiques, un individu est une solution unique au problème, alors la population est un groupe de solutions en cours à chaque étape. Dans les GA binaires, chaque individu est représenté par une chaîne binaire appelée **chromosome**, qui code tous les paramètres d'intérêt correspondant à cet individu. En outre, tout individu spécifique qui correspond à la fonction objective à un point spécifique appelé **fitness**.

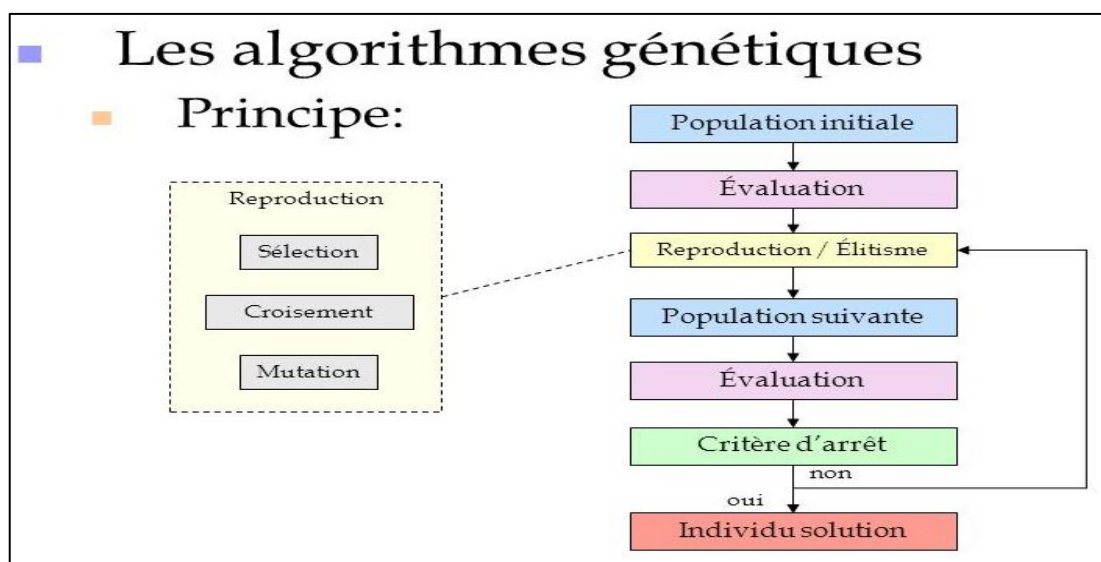


Fig.II.13 : Schéma de principe pour les algorithmes génétiques

(Source : <http://www.slideplayer.fr/slide/1204905/>)

La génération de solutions aux problèmes est contrôlée et évaluée par les opérateurs génétiques. Voir (Fig.II.13)

Il existe trois opérateurs génétiques de base, qui sont Reproduction, Croisement et Mutation.

- a) *Reproduction* : est proportionnelle à l'adéquation de cette solution.
- b) *Croisement* : échange de deux chromosomes choisis au hasard pour créer un nouvel individu.
- c) *Mutation* : changement d'un allèle dans une solution pour rechercher de nouveaux points dans l'espace de la solution. (Khabazi, 2012).

II.3.3. L'application de la conception générative dans l'architecture

Avant d'utiliser l'ordinateur en architecture, les cinq points de Le Corbusier (qui constituent son style) ont été comptés comme des exemples de systèmes générateurs analogiques (El-Khaldi, 2007). Autre exemple contemporain, l'utilisation par Peter Eisenman des principes de transformation analogique a été utilisée dans les configurations de conception architecturale. Le concept de la conception d'Eisenman fonctionne sur un système qui permet des actions créatives, et qui génère un nombre illimité de dialogues et fait un usage illimité des mots, Eisenman a reflété cet exercice sur la conception d'un ensemble de résidences (Hays, 2000).

Quatre éléments sont nécessaires pour former le processus de conception générative : l'entrée est la première phase, de commencer par la définition des paramètres et des conditions, la deuxième phase est la technique de génération en utilisant des algorithmes et un ensemble de règles, la troisième phase est la sortie, c'est l'action de générer des alternatives de conception, et la dernière phase consiste à sélectionner la conception la plus efficace, l'artefact de conception ne peut être atteint que dans la quatrième phase, donc un système génératif est un système de production ou un simulateur représentatif (Kolarevic, 2003).

Les systèmes génératifs peuvent généralement être identifiés en deux catégories : linguistique et biologique (Shea, 2004; Oxman, 2006; Arida, 2004). Un système linguistique est un formalisme basé sur la grammaire où un certain nombre de principes de composition (syntaxe) contrôlent et forment la conception (sémantique). L'application computationnelle des systèmes linguistiques génératifs se manifeste principalement dans les grammaires de forme. ces dernières déterminent et appliquent une collection d'éléments essentiels sur une forme originale afin de pouvoir générer de nouvelles formes et des géométries complexes .

Selon Knight, les grammaires de formes sont des règles descriptives et génératives qui ont une base de modification qui peut formaliser les formes requises hors de la conception générée d'origine (Knight, 2000).

Conclusion

Ce n'est qu'au cours de la dernière décennie que la modélisation paramétrique est devenue un artifice mathématique utilisé par Gaudí, Otto, Sutherland et certains ingénieurs pour devenir une partie régulière de la pratique architecturale. Alors que dans les mathématiques paramétriques ou ça signifie un ensemble de quantités exprimées comme une fonction explicite d'un certain nombre de paramètres indépendants, mais dans l'architecture, cela est complété par un dogme utilitariste pour explorer les possibilités offertes par le modèle.

Cette exploration est facilitée à la fois par la modification des paramètres du modèle et par la modification des relations entre les modèles. À l'heure actuelle, la modélisation paramétrique n'est pas le domaine exclusif des outils ouvertement paramétriques comme CATIA et Rhino/Grasshopper ou les équations paramétriques conduisent tranquillement de nombreux outils BIM, elles se manifestent aussi dans les langages de script textuels ou ils sont exposés par des interfaces de script visuelles à base des graphes. La modélisation paramétrique est présente, sous une certaine forme, sur la plupart des projets d'architecture contemporaine.

Cette expansion rapide dans l'application de la modélisation paramétrique qui a naturellement conduit à une certaine confusion sur sa signification, pour cela les experts ont développé des processus de travail efficace qui répondent aux innovations technologiques par l'utilisation de la conception paramétrique et d'intégrer les résultats d'analyse avec la modélisation 3D pour le reflet de l'état actuel de « conception numérique » et son inclinaison à être plus intégrative, reliant les processus par des logiciels et du matériel, non seulement au sein de l'architecture, mais aussi entre architecture et l'ingénierie. Un processus de travail qui combine des outils de modélisation et d'analyse pour pouvoir se rapporter aux deux disciplines.

**La performance thermique et
l'efficacité énergétique des
façades dynamiques
(L'état de l'art)**

Chapitre III

*« Grâce à des stratégies de conception **entièrement intégrées**, la façade d'aujourd'hui peut fournir des **enveloppes réactives et performatives** qui **réagissent contextuellement et conceptuellement** à leur environnement local tout en déterminant simultanément les conditions intérieures » Ben Van Berkel, 2014*

Introduction :

Aujourd'hui, la société devient de plus en plus consciente du fait que la consommation d'énergie de toute activité a une contribution négative directe par rapport au réchauffement climatique et contribue positivement à la diminution des combustibles fossiles. Selon des recherches antérieures, « parmi les paramètres influençant la performance énergétique du bâtiment est la façade » (Erhorn et al. Cité par Winther, 2012).

La conception et l'orientation de la façade jouent un rôle crucial dans la performance énergétique d'un bâtiment. Winther suggère que, pour créer une façade qui interagisse avec l'environnement, le microclimat devrait être exploité d'une manière bénéfique pour le bâtiment (Winther, 2012). Actuellement, la plupart des éléments de l'enveloppe du bâtiment sont statiques en ce qui concerne leurs propriétés de résistance thermique, leur transmission solaire et visuelle, de même pour les surfaces transparentes de ces enveloppes. Les surfaces transparentes constituent parfois une exception, ayant des dispositifs d'ombrage qui influencent sur ses propriétés physique, ces dispositifs étant contrôlés avec certains motifs (dans la plupart des cas sont contrôlés par l'utilisateur). L'inefficacité de ces dispositifs de contrôle statique engage une utilisation plus approfondie d'une technologie moderne qui se trouve généralement dans les façades entièrement vitrées des immeubles de bureaux, qui est la façade adaptative ou dynamique (Colombari et al, 2002).

L'évolution technologique permet maintenant une approche plus efficace, offrant une variété de systèmes de contrôle énergétique pour aborder le problème de la transformation des enveloppes statiques traditionnelles en enveloppes dynamiques qui répondent directement aux besoins du bâtiment et des conditions extérieures, à l'aide de systèmes intelligentes qui

utilisent des mécanismes techniques récentes pour diminuer la demande d'énergie des bâtiments et aide à la protection de l'environnement.

À ce stade, il est important de savoir dans quelle mesure une enveloppe d'un bâtiment répond d'une manière positive aux conditions climatiques extérieures et qui pourrait influencer la consommation énergétique globale et la performance thermique de ce bâtiment. Des études ont été effectuées dans ce domaine afin de définir les impacts et les effets des façades dynamiques et les enveloppes adaptatives sur le confort thermique intérieur.

III.1. Effet des façades dynamiques sur la performance énergétique :

Des études antérieures de De Carli et De Giuli 2009, Correia, Leal et Andersen 2012, Atzeri, Cappelletti et Gasparella, 2014 ont montré que la réduction d'énergie obtenue par l'utilisation des enveloppes adaptatives varie en fonction du type d'ombrage, les systèmes d'enveloppes, les modèles de contrôle comportemental et les variations climatiques. Par conséquent, une approche dynamique intégrative à la conception des systèmes d'ombrage est essentielle pour maximiser les économies d'énergie.

Meek et Breshears dans une étude en 2010 ont évalué la performance énergétique des systèmes de stores vénitiens dynamiques, en fonction de leur position dans l'enveloppe (Fig.III.1). Les résultats de cette étude ont montré que la variation substantielle de ce système a un impact important sur la demande d'électricité ainsi que sur les émissions du CO₂ dans l'environnement. Comme conclusion, les stores extérieurs ont considérablement diminué les charges de climatisation.

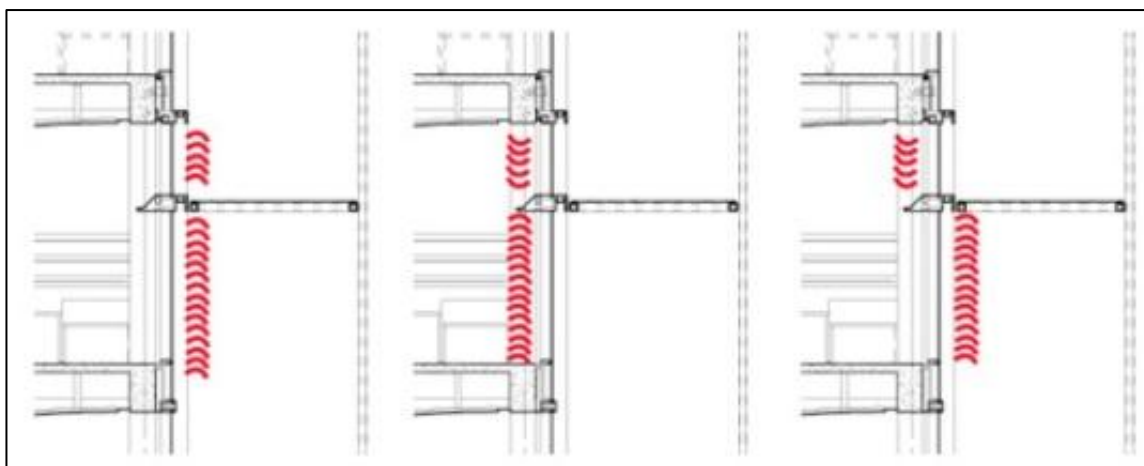


Fig.III.1 : Les stores vénitiens testés dans l'étude

(Source: Meek et Breshears, 2010)

Les résultats obtenus de cette recherche, affirme les résultats du Atzeri, Cappelletti et Gasparella en 2014. Ces derniers, et par le biais d'une investigation ont confirmé que l'utilisation de l'ombrage dynamique externe peut réduire les charges de climatisation même si les charges de chauffage sont légèrement augmentées, tout en ajustant la transmission solaire, la réflectivité, le dispositif d'ombrage, et la distance entre la fenêtre et le système d'ombrage. Lee et al., en 2009 ont comparé la consommation d'énergie d'éclairage entre les systèmes d'ombrage traditionnels statiques et dynamiques. Après étude des résultats obtenus, une différence de 5 % à 11 % en économie d'énergie a été constatée. Une autre recherche dans le même contexte, réalisé par Hammad et Abu-hijleh en 2010, où les résultats obtenus étaient de 5 à 14 % par rapport à l'économie d'énergie. En 2012, Olbina et Hu ont réussies de faire une économie d'énergie par rapport à l'éclairage de 12 % toujours en comparant les stores vénitiens statiques et dynamiques.

D'autres études des chercheurs (Batool et Elzeyadi, 2014 ; Sherif et al., 2012) ont montré que les écrans solaires améliorent le confort intérieur avec une économie d'énergie substantielles entre 2 et 38 % selon la géométrie de l'écran, qui se caractérise par : les profils, la profondeur, la perforation, le rapport plein/vide, la matérialité et l'opérabilité.

Dans le même contexte, une autre étude a confirmé que une perforation optimale de 80 % pour les écrans solaires et pour les orientations (Ouest et Sud), avec des rapports de profondeur/largeur pour les ouvertures de 1:1 a était associée à 30 % de réduction annuelle de la consommation d'énergie (Sherif et al., 2011). Une autre analyse avec une profondeur plus faible et plus de perforations, les résultats ont montré un effet modéré avec une faible réduction des gains de chaleur solaire pendant les saisons estivales et qui nécessitent un rafraichissement passif ou actif (Batool et Elzeyadi, 2012).

D'autres études sur les protections mobiles et les systèmes d'ombrage à « caisses d'œufs » ont révélé une réduction de 8,9 % à 20 % de la consommation d'énergie, surtout pendant les saisons chaudes (Palmero-Marrero & Oliveira, 2009). D'autres études dans les climats chauds et arides avec l'utilisation du même système d'ombrage sont arrivées à une réduction d'électricité qui est de 20 à 38,5 % (Batool & Elzeyadi, 2014). Ces économies d'énergie supplémentaires étaient plus élevées en utilisant des persiennes externes dynamiques en combinaison avec des ailettes verticales.

Kensek et Hansanuwat en 2011 ont tenté aussi dans une étude expérimentale intitulée « *Environment Control Systems for Sustainable Design: A Methodology for Testing, Simulating and Comparing Kinetic Facade Systems* », et pour but de comparer plusieurs types de protection solaire amovible et dynamique, du point de vue énergétique, confort thermique, éclairage naturel et génération d'électricité. L'étude a analysé les solutions cinétiques par rapport à leurs avantages environnementaux (Fig.III.2) ou les recommandations obtenues par cette recherche sont à la base de plusieurs simulations et un prototype construit dans le but d'améliorer l'efficacité énergétique dans les immeubles de bureaux.

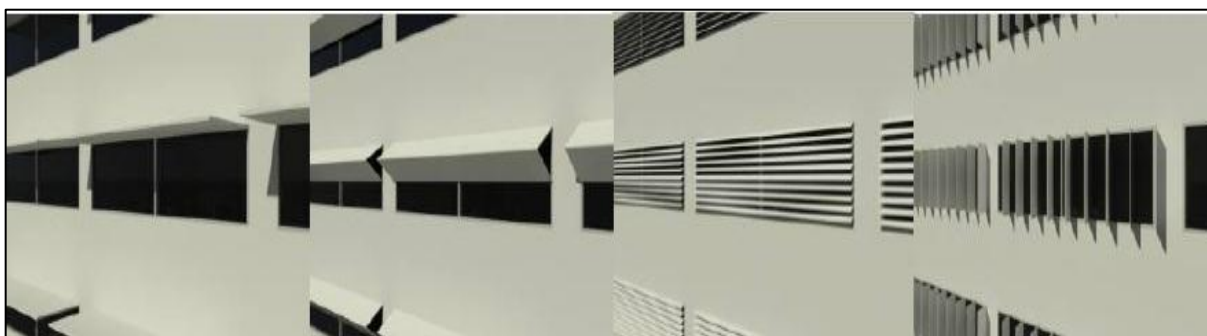


Fig.III.2 : Les systèmes cinétiques comparés, en porte-à-faux, pliants, persiennes horizontales et persiennes verticales

(Source : Kensek et Hansanuwat, 2011)

Un immeuble de bureaux à deux étages avec une façade semi vitrée a été choisi comme un cas d'étude. Le but de cette investigation est de comparer plusieurs situations de contrôle solaire. Premièrement, la fenêtre dans son état initial (sans protection), deuxièmement, le système de protection a été évalué en changeant sa configuration angulaire de 0° (vertical), 30°, 60° jusqu'aux 90° degrés (horizontal). Dans la troisième situation, l'auteur a utilisé un système auto-pliant, destiné à imiter un mécanisme qui glisse le long des pistes, tandis que dans les deux derniers cas, les chercheurs ont installé un système ordinaire de persiennes horizontale et verticale.

L'évaluation des résultats obtenus ont montré une amélioration dans l'économie d'énergie des quatre systèmes étudiés ; expliqué auparavant par rapport une fenêtre non ombragée. La réduction de la consommation énergétique était de 28 % à 30 % pour le chauffage et de 28 % à 33 % pour le refroidissement (Tableau.III.1).

Tableau.III.1 : Résultats de la comparaison entre différents systèmes d'ombrage fixe et cinétique, sur une façade sud.

(Source : Kensek et Hansanuwat, 2011)

Cooling	kWh	kWh Decrease	Percent Decrease
Control	128,040	x	x
Overhang	85,820	42,220	33.0%
Folding	86,180	41,860	32.7%
Horizontal Louver	85,460	42,580	33.3%
Vertical Louver	92,002	36,038	28.1%

L'étude de Nielsen, et al, publiée en 2011 intitulée « *Quantifying the potential of automated dynamic solar shading in office buildings through integrated simulations of energy and daylight* » examine l'effet des protections solaires dynamiques et automatisées de plusieurs orientations sur l'efficacité énergétique d'un immeuble de bureaux en Denmark. Le bureau choisi pour l'investigation est de 3x 3x 6 m (largeur — Longueur — hauteur), conçu pour deux personnes et pour chaque orientation (Sud/Est/Ouest/Nord), la façade est munie d'une protection spécifique. Cette recherche a été établie dans le but d'évaluer l'influence de la quantité de rayonnement solaire incident sur la façade (Tableau.III.2).

Tableau.III.2 : Simulations intégrées ont été effectuées pour chacune des quatre orientations majeures et trois hauteurs de fenêtre différentes

(Source : Nielsen, et Al, 2011)

variables simulés	valeurs
Orientation de la fenêtre	Nord, Sud, Est et Ouest

Hauteur de la fenêtre	1.0 m,
	1.5 m et
	2.0 m

Tous les modèles ont été simulés pour une année entière et les résultats obtenus correspondent à la demande annuelle d'énergie par mètre carré (kWh/m² par an). Comme on le voit sur (Fig. III.3), les résultats ont montré qu'en général, la façade à ombrage dynamique avait la meilleure performance par rapport à la demande énergétique totale. Dans la plupart des cas, les façades avec protection solaire fixe ont moins des performances, à l'exception des façades orientées sud avec une hauteur de fenêtre de 2,0 m, et les façades sans écran solaire ont eu les pires performances énergétiques.

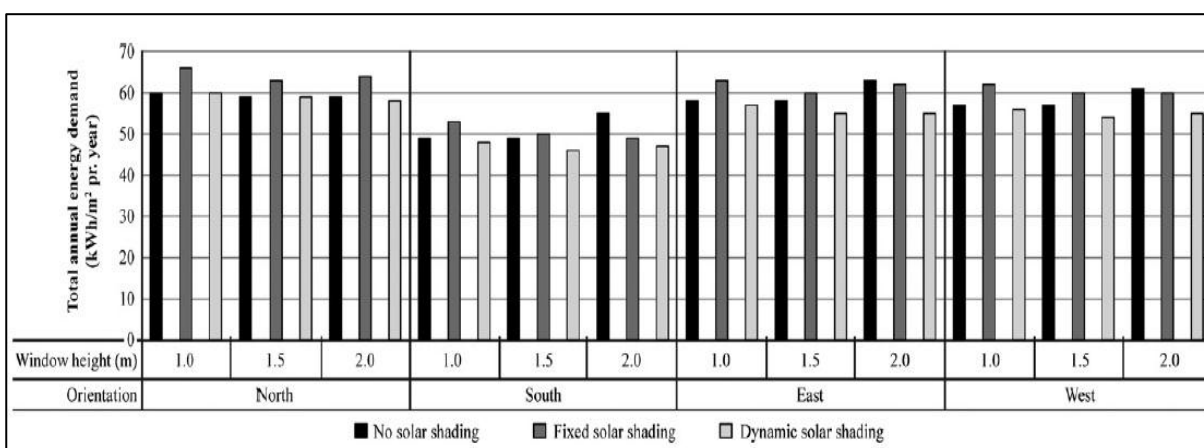


Fig.III.3 : Résultats de demande annuelle d'énergie pour les modèles de simulation en fonction de l'orientation, de la hauteur des fenêtres et des types d'ombrage solaire.

(Source : Nielsen, et Al, 2011)

Une étude élaborée en 2014 par Figliola et Rossi a permis de développer des systèmes technologiques pour une enveloppe intelligente, et évalué l'effet de ces systèmes adaptatifs sur la consommation d'énergie d'un bâtiment de bureaux pour optimiser son performance énergétique. La typologie choisie pour cette étude, est un immeuble de grande hauteur entièrement vitré, caractérisé par une consommation (zero energy building) qui se situe dans la zone méditerranéenne à Ascoli Piceno, en Italie, (Fig.III.4).

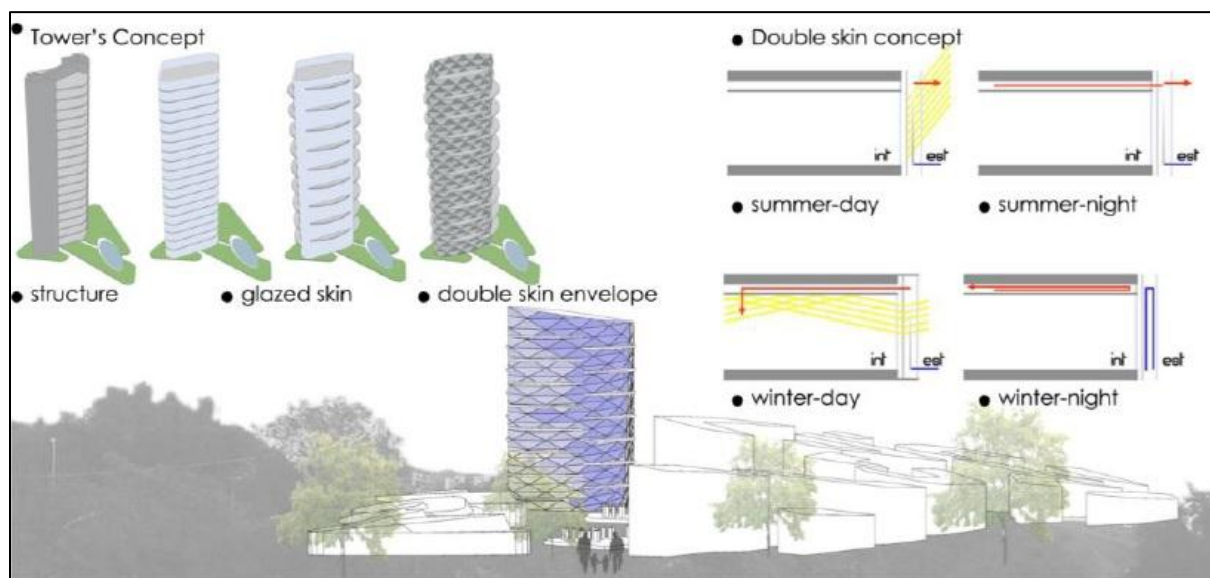


Fig.III.4 : Immeuble de grande hauteur entièrement vitré choisi pour l'étude

(Source : Figliola et Rossi, 2014)

Cette étude est basée sur l'approche paramétrique qui a mis l'accent sur l'effet des variations de radiations solaires sur le système dynamique et les gains de chaleur directes, pour cela le système adaptatif extérieur détecte les radiations directes reçues sur la surface extérieure de l'immeuble par rapport au mouvement de la trajectoire solaire et l'angle d'incidence, dans l'objectif de définir les moments de fonctionnement du mécanisme. Le processus vise notamment à définir une surface dynamique capable de s'ouvrir et de se fermer d'une manière adaptative en fonction de la variation des données climatiques. Par l'utilisation de ce mécanisme ils sont arrivés à une réduction significative et importante de la consommation énergétique.

Une autre étude de la façade dynamique intitulée « *lighting and energy performance of an adaptive shading and daylighting system for arid climates* » publiée en 2015 par Giovannini et Al., L'objectif de cette étude est d'examiner la performance énergétique d'un système d'ombrage adaptatif (Fig.III.5), appliqué aux façades EST et OUEST. Dans cette étude des stores vénitiens externes et aux vitrages réfléchissants, sélectifs ont été comparés au système d'ombrage dynamique pour un immeuble de bureaux situés à Abu Dhabi dans un climat chaud et aride.

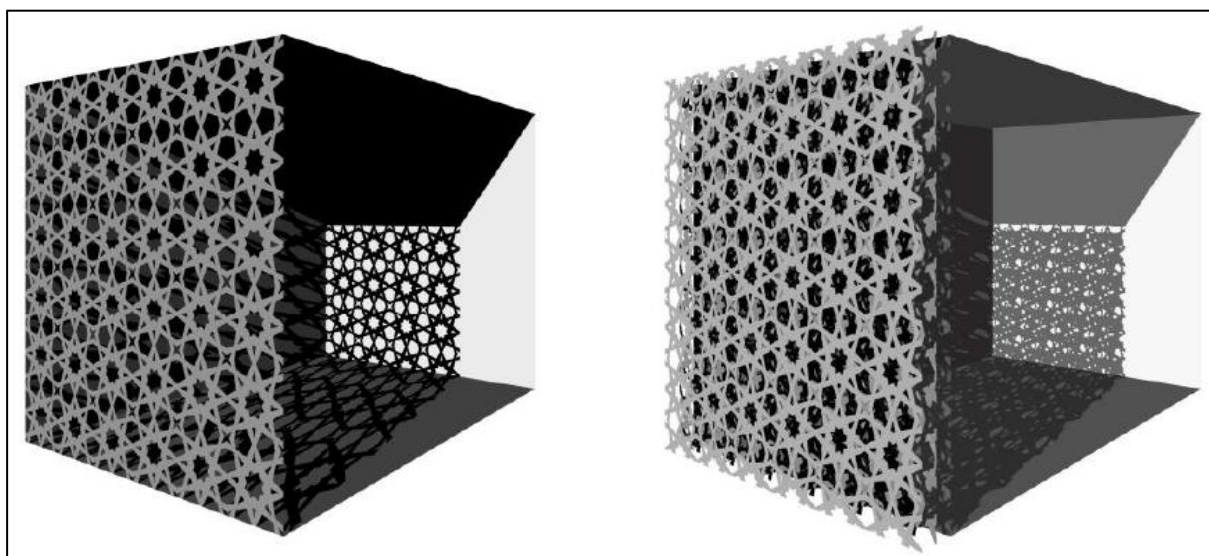


Fig.III.5 : Le système d'ombrage adaptatif (Shape Variable Masharabiya)

(Source : Giovannini et al., 2015)

Le système d'ombrage et de protection solaire dynamique est inspiré de la culture locale de la région (Moyen — Orient) qui est le Masharabiya. Ce système, appelé aussi SVM (Shape-Variable Masharabiya), est capable de bloquer le rayonnement solaire en présence de la lumière directe du soleil, en évitant ainsi la surchauffe des espaces intérieurs et minimisant les problèmes d'éblouissement. L'une des caractéristiques remarquables du SVM est sa capacité à se déplacer sans utiliser l'énergie électrique, grâce à un actionneur développé spécifiquement qui exploite les propriétés de changement de phase d'un matériau chauffé par le rayonnement solaire.

Comme le SVM est spécifiquement conçu pour les façades orientées EST/OUEST, le bureau choisi a été simulé en utilisant le DIVA-for-Rhino pour gérer Daysim. L'objectif de cette étude c'est de quantifier la consommation d'énergie primaire pour le chauffage et le refroidissement nécessaire pour garantir le confort thermique intérieur pour toute (température de confort à 20 °C en hiver et à 26 °C en été). Les résultats ont montré que le SVM est plus avantageux que les autres technologies actuellement utilisées dans les pays du Moyen-Orient pour le contrôle solaire. Il a minimisé les problèmes de surchauffe et par conséquent une économie d'énergie de 17,2 % et 9,9 % par rapport au vitrage sélectif (Vs) et aux stores vénitiens, respectivement (Fig.II.6). Il a également minimisé la consommation d'éclairage - 65,7 % et 30,7 % par rapport au vitrage réfléchissant et aux stores vénitiens, respectivement.

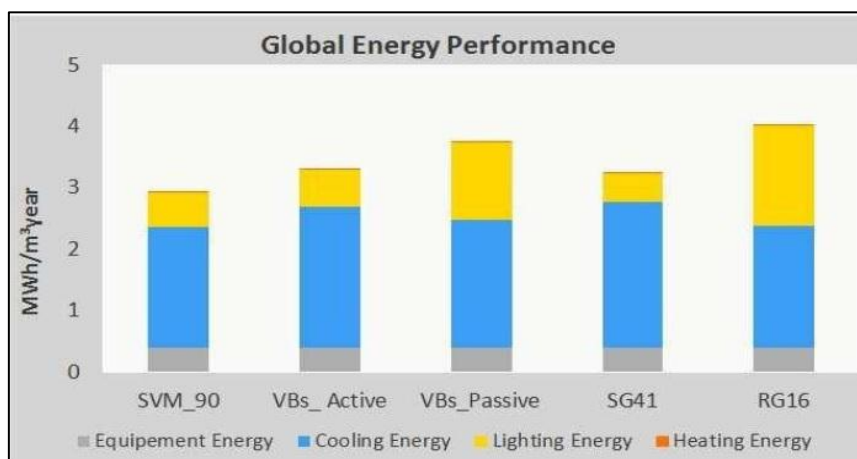


Fig.III.6 : Résultats de comparaison entre le SVM Vitrage sélectif, stores vénitiens, vitrage réfléchif
(Source : Giovannini et al., 2015)

III.2. La performance thermique des façades dynamiques :

Les façades dynamiques intelligentes contribuent à l'amélioration du confort thermique intérieur, vu leurs adaptabilité climatique à leurs environnement immédiat. Ces façades sont capable de changer en fonction de la trajectoire solaire, du confort intérieur et des exigences des occupants afin d'atteindre les objectifs prescrits.

L'effet du rayonnement solaire sur le confort thermique a été étudiée par plusieurs chercheurs tels que (Hodder et Parsons, 2006 ; Tifkowski et al. 2010 ; Hoffmann, Jedek et Arens, 2012). Les protections solaires dynamiques s'ajustent aux divers angles solaires diurnes et saisonniers permettant la diminution de l'éblouissement et les gains de chaleur solaire pendant les mois d'été tout en optimisant les vues vers l'extérieur avec une bonne distribution de lumière naturelle. (Hammad et Abou-Hijleh, 2010).

Erickson a publié une étude en PLEA 2016, son objectif c'était la simulation de l'enveloppe adaptative d'un bâtiment, en répondant aux changements horaires des conditions météorologiques et les charges des occupants pour réduire la consommation d'énergie à l'intérieur de la construction sans compromettre le confort thermique de l'occupant, mesuré selon l'indice de pourcentage prévisible d'insatisfaits (PPD). L'objectif de la simulation est de repérer l'enveloppe adaptative optimale, pour cela, quatre climats ont été sélectionnés afin de présenter un large éventail de conditions météorologiques par des semaines météorologiques extrêmes (TMY3) identifiées au (Tableau.III.3).

Les résultats de la simulation du confort thermique de cette étude ont montré que les enveloppes adaptatives dynamiques présentent de 10 % de PPD, avec une valeur moyenne inférieure de (AEM = 7,6). La conclusion de cette recherche affirme que l'utilisation de l'enveloppe adaptative réduit les variations intérieurs des températures extrêmes, voir (Fig.III.7)

Tableau.III.3 : Les fichiers météorologiques choisis (TMY3) pour les scénarios de la simulation
(Source : Erickson, 2016)

Climate Zone	Climate Type	TMY3 Weather File Location	Winter Extreme	Summer Extreme	Autumn
2B	Hot-arid	Phoenix, Arizona	8-Dec 14-Dec	3-Aug 9-Aug	20-Oct 26-Oct
2A	Hot-humid	Houston, Texas	15-Jan 21-Jan	29-Jul 4-Aug	26-Nov 2-Dec
4C	Mixed-marine	Seattle, Washington	13-Jan 19-Jan	24-Aug 30-Aug	20-Oct 26-Oct
5B	Cool-dry	Boulder, Colorado	8-Dec 14-Dec	6-Jul 12-Jul	29-Sep 5-Oct

Climates and classifications from ASHRAE 90.1 Non-residential Building Standard (2007).

En examinant tous les scénarios, les résultats montrent que les enveloppes adaptatives ne sont pas bénéfiques pour tous les climats. Pour cela ces façades doivent être conçues pour leurs contextes climatiques donnés, afin de garantir un PPD qui ne dépasse pas le 9 %.

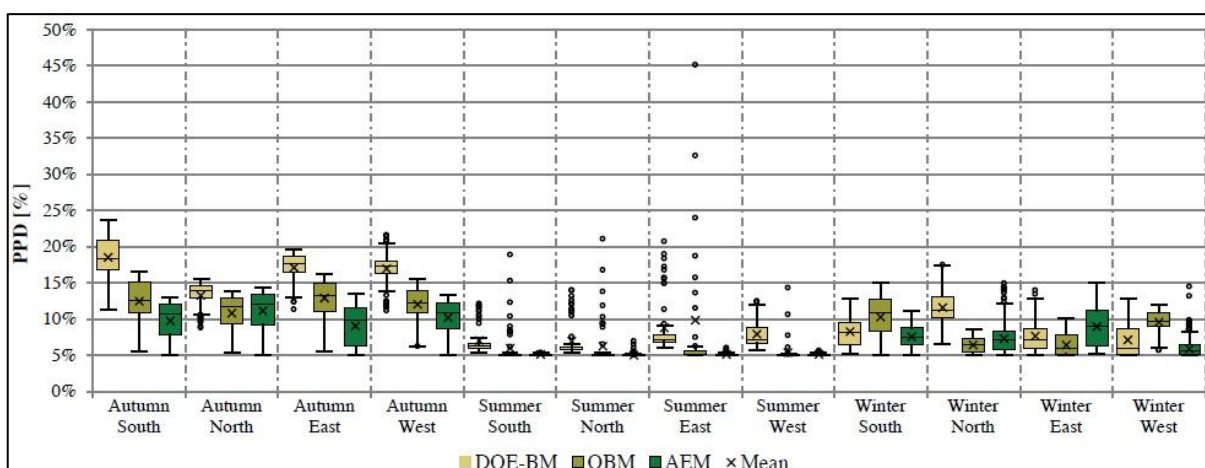


Fig.III.7 : Résultats de la répartition des valeurs de PPD pendant les heures occupées
(Source : Erickson, 2016)

Dans le même objectif de la performance thermique des façades dynamiques ELzayadi et al., en 2016 ont publié une étude comparative entre six stratégies de protection solaire dynamique les plus utilisé par rapport à une façade avec protection fixe optimisée et une façade vitrée sans aucun système d'ombrage. Les six cas d'études avec une variation de typologie d'ombre ont été construits et testés (Fig.III.8).

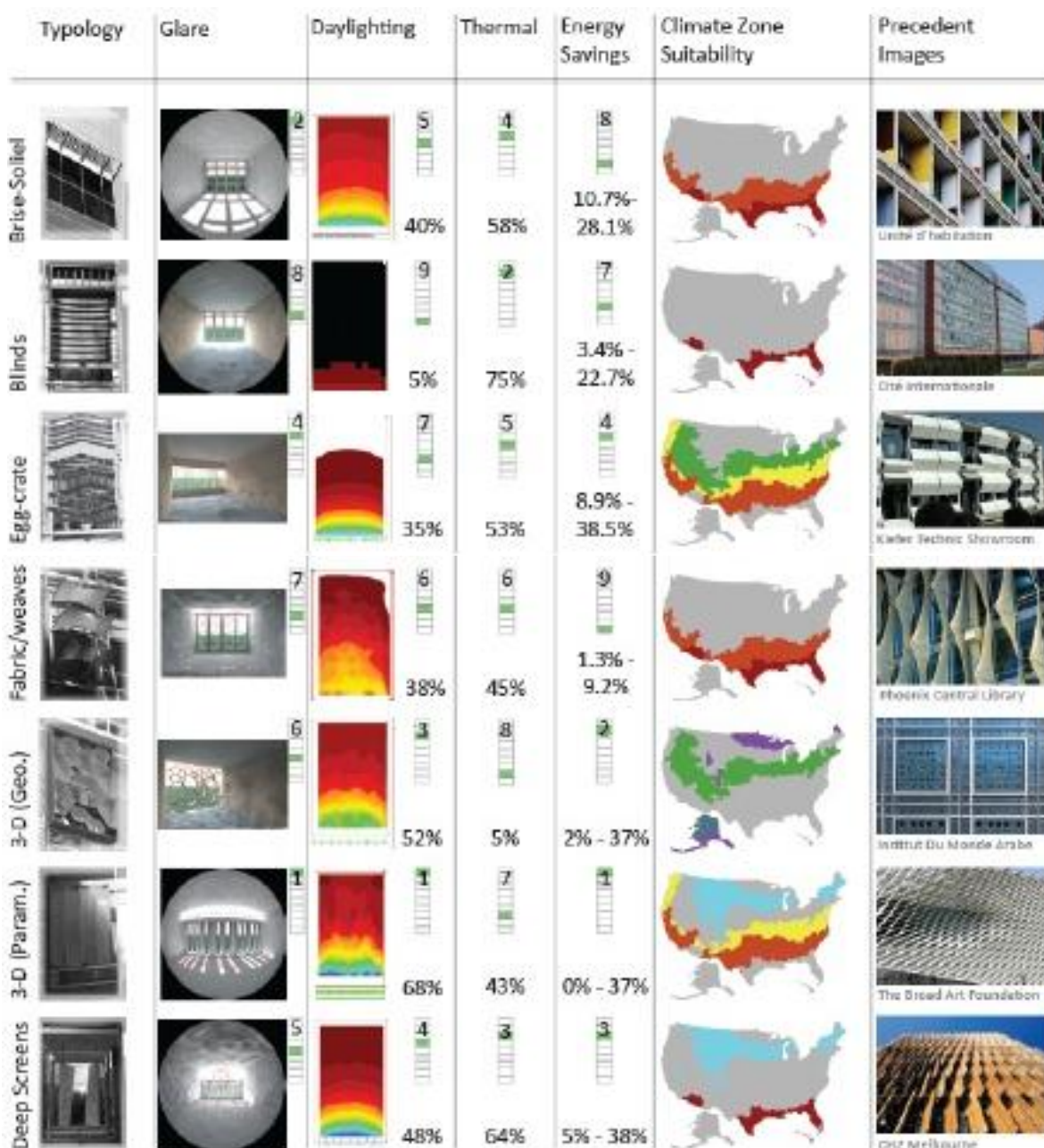


Fig.III.8 : Une matrice comparative pour les typologies d'ombrage dynamique

(Source : ELzayadi et al., 2016)

Les six typologies sont comparées et analysées pour l'optimisation du confort thermique, l'autonomie de la lumière naturelle utile, le coefficient de gain de chaleur solaire, et les économies d'énergie. Les résultats ont montré que sur les six systèmes, les écrans de protection solaire dynamiques présentent la performance thermique la plus positive dans la plupart des climats étudiés, ainsi que les « cages d'œufs » automatisés et les autres éléments thermiques. (Fig.III.9)

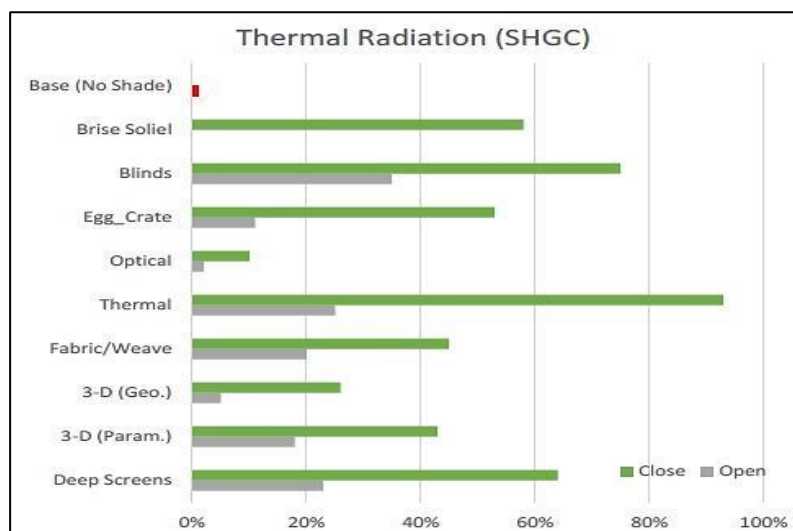


Fig.III.9 : Résultats comparatifs de réduction de la charge thermique des façades
(Source : ELzayadi et al., 2016)

III.3. La façade dynamique et la production d'énergie :

Récemment, les systèmes photovoltaïques intégrés aux bâtiments (BIPV) ont pris de l'ampleur pour la génération de l'énergie électrique. L'enveloppe architecturale est généralement classée comme un filtre, connecteur, et barrière (Norberg-Schulz, 1965), mais il y a eu une autre fonction a été ajoutée à cette enveloppe, c'est la génération et la production de l'énergie (Benjamin, et Al., 2006). L'intégration des panneaux photovoltaïques dans la conception des façades cinétiques peut également profiter de leur mobilité avec la course du soleil, en permettant à ces panneaux de capter le maximum de rayonnement solaire, par conséquent l'efficacité de ces BIPV mobile à doubler sa production en électricité par rapport une sortie BIPV statique (Benjamin, et Al., 2006).

Une autre étude de Kensek et Hansanuwat, en 2011 qui comparent les deux systèmes d'ombrage fixes et dynamique a essayé d'intégrer des panneaux photovoltaïques pour la génération de l'électricité qui alimente le mécanisme de mouvement des façades dynamique (Fig.III.10).



Fig.III.10 : Le prototype final proposé avec l'intégration d'un système photovoltaïque
(Source : Kensek et Hansanuwat, 2011)

Les résultats de l'investigation pour de la production d'énergie montre que trois des quatre systèmes cinétiques étudiés, représentent une amélioration par rapport au système photovoltaïque vertical standard intégré. Le système cinétique de voilure verticale amovible a entraîné une augmentation de 70 % par rapport au système de voilure verticale fixe et ce dernier réalise une augmentation de 43 % par rapport aux autres systèmes, (Fig.III.11).

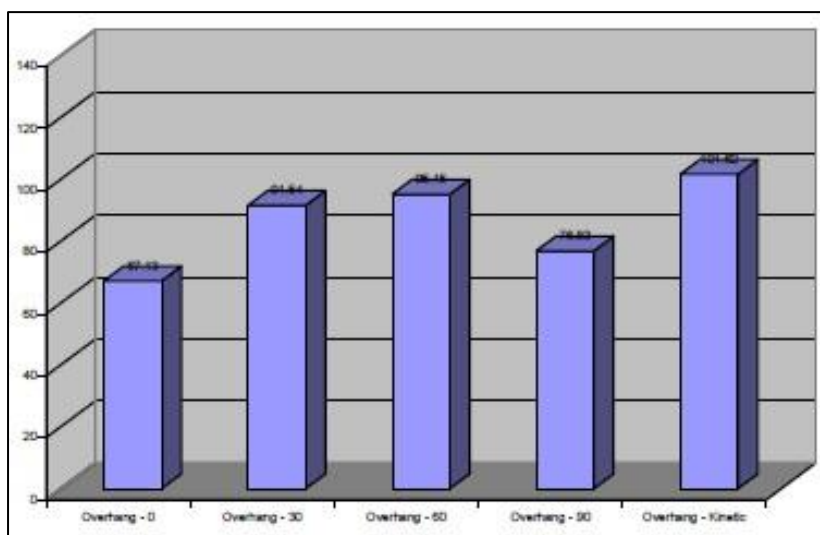


Fig.III.11 : Les résultats de la production d'énergie des systèmes de protection dynamiques
(Source : Kensek et Hansanuwat, 2011)

Konstantoglou et al., publiés en 2013, ont examiné les avantages des panneaux photovoltaïques intégrés dans les façades dynamiques et leurs apports énergétiques pour le bâtiment. Les résultats de l'investigation ont montré que les stores automatisés avec des PV intégrés sont très bénéfiques dans le cas d'une grande surface de vitrage. Les PV intégrés dans les façades dynamiques changent de la position selon le mouvement solaire exprime un meilleur rendement électrique générée, suffisant pour couvrir la demande en énergie du mécanisme responsable du mouvement des stores.

L'étude récente intitulée « *Dynamic Performance of the Shading-Type Building-Integrated Photovoltaic Claddings* », publié en 2015 par Liangliang et al., témoigne que l'efficacité des panneaux photovoltaïques intégrés est relié aux différents paramètres tel que : le type ombrage dynamique, les angles d'inclinaison et les angles d'azimut, les différentes orientations et le rapport fenêtre-paroi du (Fig.III.12)



Fig.III.12 : Un système d'ombrage dynamique avec des modules PV intégrés

(Source : Hofer, 2016)

Les résultats de cette étude ont montré que les panneaux photovoltaïques produisent plus d'électricité chaque année à des angles d'inclinaison plus petite et la puissance de production annuelle des modules PV diminue fortement lorsque les angles d'inclinaison dépassent 40°. Si les modules photovoltaïques orientés vers le sud doivent être installés avec un angle d'inclinaison de 80°, la puissance annuelle se diminue à 27 %.

III.4. L'impact des façades adaptatives sur le confort visuel :

Des études sur les façades adaptatives ont confirmé leurs impacts sur l'amélioration de la qualité de l'environnement intérieure des bâtiments du point de vue de la lumière naturelle. D'autres recherches ont montré aussi les effets positifs des ombrages dynamiques dans la gestion de l'autonomie de la lumière du jour et ces mouvements qui limitent les problèmes de l'éblouissement (Reinhart et Jones, 2004).

D'autres recherches ont montré que les stores ou les volets automatisés dynamiques peuvent augmenter les surfaces de travail avec un facteur de lumière de 2 % ou plus, de 70 à 150 % par rapport aux persiennes statiques, comme ils confirmaient (Nielsen, Svendsen et Jensen, 2011). Par rapport les valeurs de l'indice d'éblouissement de jour (DGI), une étude menée par Konis, Lee et Clear en 2011, a conclu qu'après l'utilisation des stores vénitiens divisés et automatisés par rapport aux stores vénitiens statiques, ils sont arrivés à améliorer le niveau de confort visuel de « simplement inconfortable » aux niveau « juste acceptable ». Pour un autre indice Meek et Brennan en 2014, ont mené d'autres simulations sur des stores manuels et automatisés. Les résultats de l'analyse montrent que les stores automatisés peuvent augmenter le pourcentage de la surface avec une luminosité de ($> 40 \text{ cd/m}^2$) de 36 % avec les stores manuels à 52 % les stores automatisés.

En 2013, Etman, et Al ont étudié l'impact de diverses peaux externes perforées pour des façades cinétiques sur la qualité de la lumière dans les espaces de bureau en Égypte, en utilisant la conception paramétrique et on s'inspirant de la Masharabiya comme solution d'ombrage traditionnelle, ainsi que la génération de différentes formes d'écrans perforés. Cette technique ou cette inspiration a été appliquée comme des panneaux cinétique pour les façades de bureaux, afin de garantir une meilleure qualité de confort visuel à l'intérieur avec des forme unique est esthétique pour tout la construction.

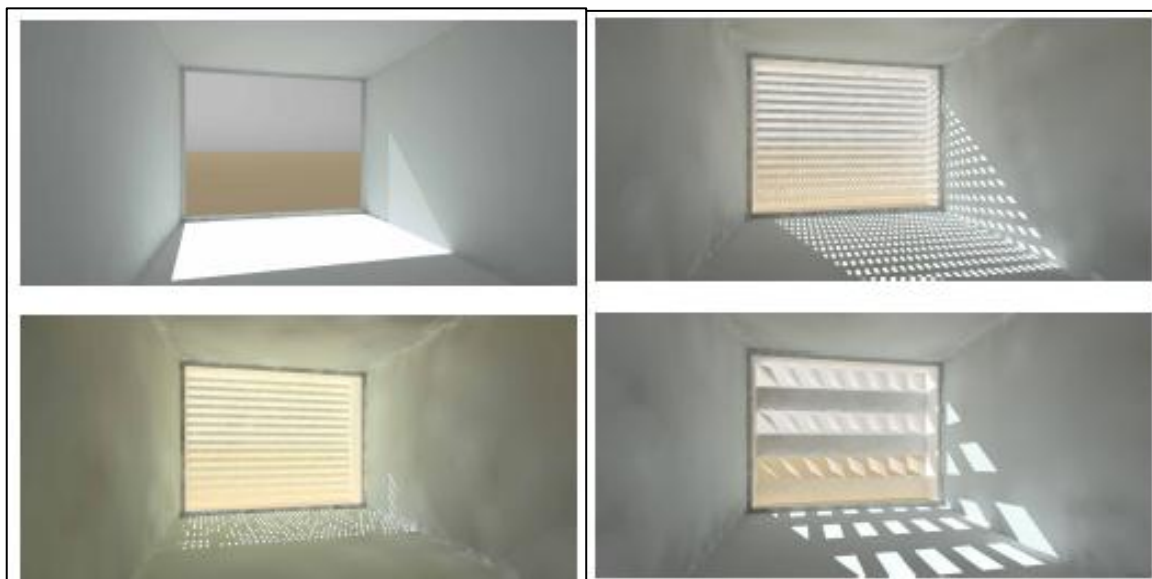


Fig.III.13 : Différents scénarios des façades dynamiques perforées testés dans l'étude

(Source : Etman, et Al, 2013)

L'étude s'est appuyée sur l'analyse numérique, où ils ont utilisé un espace de bureaux de 4x6 mètres, et d'une hauteur de 3 mètres. L'outil de simulation pour tester le comportement visuel de la pièce est effectuée grâce à deux logiciels qui sont Rhino/Grasshopper et RADIANCE à travers le plug-in DIVA, l'analyse a permis de comparer différents scénarios (plusieurs cas de perforation de panneaux par rapport à des différentes saisons). Voir (Fig.III.13)

Les résultats ont été comparés par rapport la luminance et l'éclairement acceptable qui est (300-500 lux). La conclusion de cette étude montre qu'une conception écologique efficace de la façade OUEST pourrait accroître l'utilisation potentielle de la lumière du jour dans les espaces intérieurs. En conséquence, les écrans perforés avec des modules répétitifs, assemblés comme une peau extérieure développés à partir du Mashrabiya traditionnel, ont amélioré la répartition du niveau d'éclairement intérieur acceptable de 54 % à 78 %. La peau proposée a retardé les périodes de pénétration solaire et l'éblouissement potentiel ; l'espace a atteint un niveau d'éclairage intérieur acceptable de 9 h à 16 h, et ces écrans perforés traditionnels sont efficaces surtout dans les façades OUEST.

III.5. Les façades dynamiques et méthodes de conception :

Les méthodes de conception d'une façade dynamique se varient selon plusieurs paramètres tels que les conditions intérieures ou extérieures et la génération de la géométrie des écrans solaires. Une étude réalisée par Marroquin et Al, en 2013 a abordé la nécessité d'une méthode de conception flexible dans la pratique architecturale d'aujourd'hui.

D'après cette étude on constate que l'utilisation des outils de conception paramétrique comme (Rhino/Grasshopper) permet d'établir un travail continu dans la modélisation et l'optimisation de la performance énergétique des enveloppes interactives et permet aussi l'intégration des données quantitatives dérivées de l'analyse dans le processus de conception en temps réel pour rendre l'optimisation des cas à la fois facile et plus efficace, car le processus de travail paramétrique par opposition à la modélisation manuelle fournit une flexibilité qui permet à l'enquête des solutions multiples. (Fig.III.14)

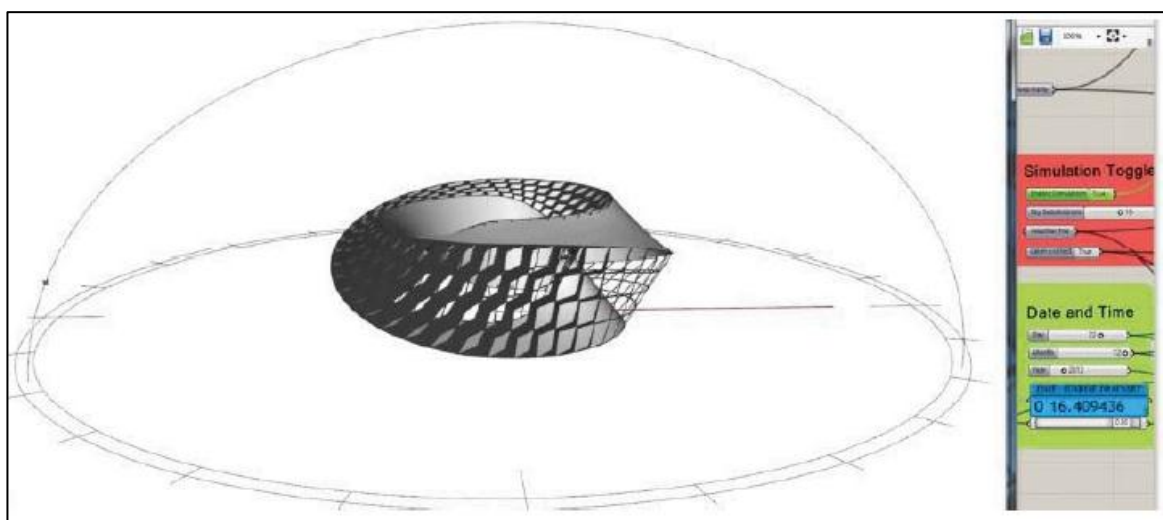


Fig.III.14 : Modèle paramétrique des écrans d'ombrage testé dans l'étude
(Source : Marroquin et Al, 2013)

III.5.1 Paramètres de conception des façades cinétiques :

Dans le même contexte, le chercheur australien Moloney en 2007 a publié une étude intitulée « *Building skins as kinetic process : some precedent from the fine arts* » où il a proposé une structure et un processus de conception pour les façades dynamiques. La proposition a exploré la conception des peaux cinétiques pour établir un programme préliminaire de la gamme des paramètres qui peuvent être considérés par les concepteurs.

Cela déplace l'accent de la solution de conception à la spécification des paramètres : quelles sont les entrées et comment est-ce échantillonné ?

La portée des décisions, se produit autour de trois groupes de paramètres interconnectés d'après l'auteur, comme le montre le diagramme ci-dessous, il s'agit de :

- Choix des entrées (Inputs/Données) ou de l'échantillonnage
- La manière dont ces échantillons sont traités par le système de contrôle
- La logique dynamique (cinétique), le système et l'apparence de la peau.



Fig.III.15 : Paramètres de conception des façades cinétiques

(Source : Moloney, 2007)

Conclusion :

L'utilisation accrue de grandes façades en verre sur les immeubles de bureaux a augmenté la nécessité d'un moyen plus efficace pour contrôler l'environnement intérieur du bâtiment. Les façades peuvent maintenant réagir aux conditions environnementales et faire leurs propres modifications afin d'atteindre les objectifs prescrits. En agissant sur ces contraintes pour se protéger du climat extérieur. Les façades cinétiques peuvent mieux s'adapter aux conditions climatiques et offrir un confort thermique adéquat aux occupants.

Dans une vision comparative, ces façades peuvent réaliser plus de tâches telles que le contrôle des radiations solaires, l'éclairage naturel voire la production énergétique par rapport à celles fixes qui font le seuil physique entre le contexte intérieur et extérieur du bâtiment.

D'après les résultats de recherches on constate que les façades dynamiques ont un impact considérable sur la performance thermique et l'efficacité énergétique aux immeubles de bureaux. La façade cinétique présente un grand potentiel dans l'amélioration de l'environnement intérieur à partir de différents aspects; des performances plus efficaces en terme d'économie d'énergie, un confort thermique acceptable et une meilleure luminosité à l'intérieure.

Les études ont montré que les façades dynamiques ont été en mesure de garantir une diminution d'environ 30% de la consommation d'énergie pour le chauffage et la climatisation par rapport un système non ombragé. Ces systèmes sont capables de protéger les espaces de bureaux du rayonnement solaire, d'isoler le bâtiment de la perte de chaleur, et peuvent le faire à des niveaux variables tout au long de la journée, le mois et l'année.

Il a été démontré que les systèmes cinétiques gardent 38 à 55% de la surface de travail dans les niveaux d'éclairage recommandés, non seulement réduisant le besoin d'éclairage artificiel, mais aussi gardant l'espace dans un cadre confortable pour les tâches requises dans cet espace, allant de 200 à 500 lux. Pour la lumière naturelle, il a été montré que les niveaux d'éclairage dans l'espace peuvent être considérablement améliorés, et les systèmes cinétiques ont été capables de produire plus de surfaces dans la gamme recommandée par rapport un système fixe.

D'après ces conclusions, les systèmes de protections extérieures dynamiques offrent la plus haute qualité environnementale intérieure, y compris la lumière du jour et des vues à ses occupants, avec une consommation réduite d'énergie.

L'incorporation de panneaux photovoltaïques dans la conception de ces façades cinétiques peut également profiter de leur nature déjà mobile; en permettant les panneaux de suivre le mouvement et la trajectoire du soleil pour en profiter de l'énergie solaire. L'efficacité de ces systèmes est augmentée et près de doubler l'énergie par rapport une sortie BIPV statique

Les résultats présentés dans ce chapitre concernant la performance thermique et l'efficacité énergétique des façades dynamique. Ils vont servir dans les chapitres à venir à l'interprétation des résultats de l'expérimentation et sont entreprendre la simulation en attribuant au système d'ombrage dynamique ces différentes recommandations pour définir une amélioration optimale du confort thermique et consommation énergétique.

Mesures et Simulation

Chapitre IV

*La méthodologie est « un ensemble des **méthodes** et des **techniques** qui orientent l'élaboration d'une recherche et qui guident la **démarche scientifique** »*
Angers. M, 1996

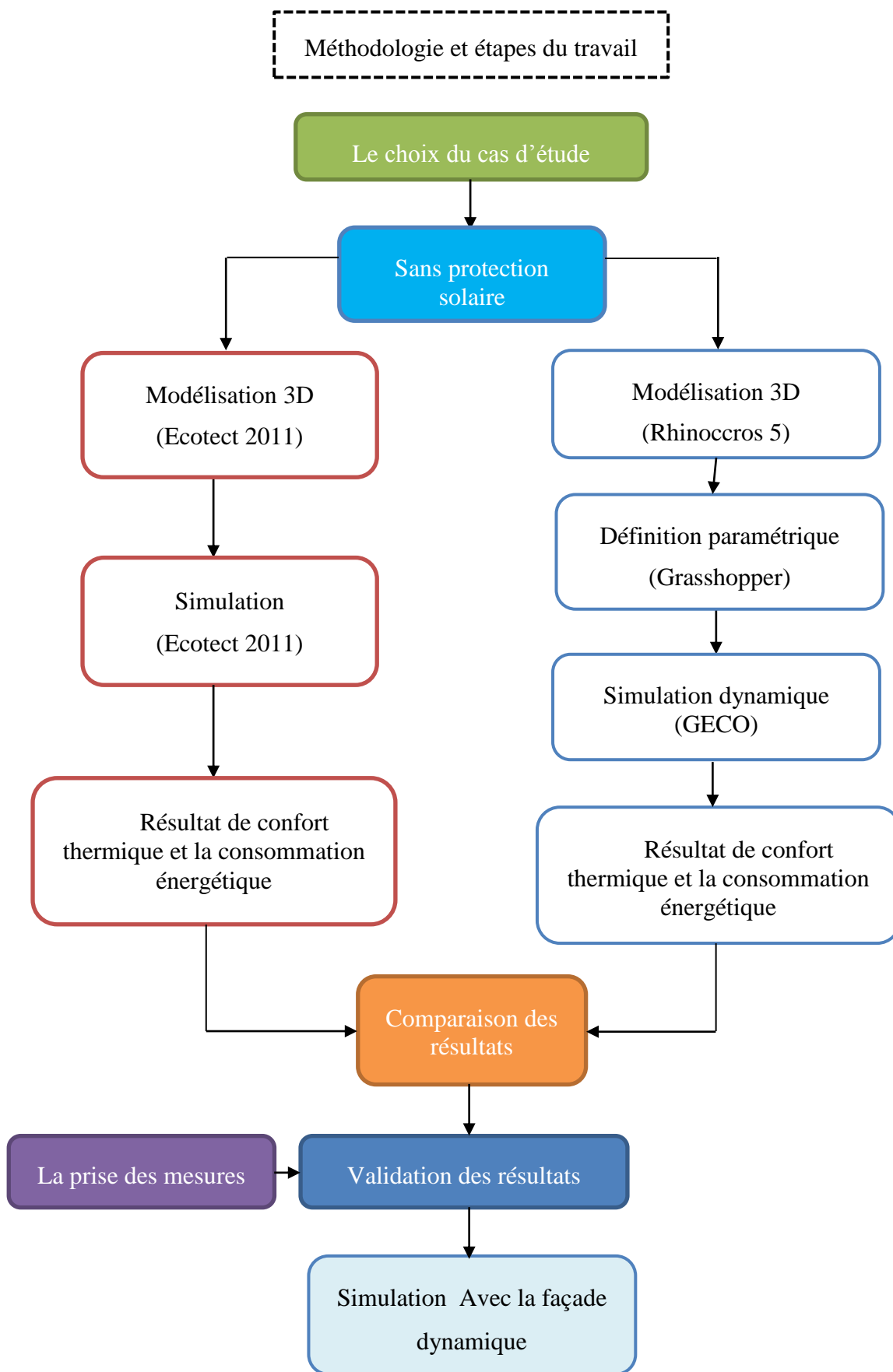
Introduction :

Le modèle numérique est devenu un outil indispensable pour évaluer les hypothèses considérées précédemment. Les divers programmes de simulation permettent de vérifier et d'évaluer toutes les théories applicables à la bioclimatique urbaine et architecturale. En outre, ces modèles numériques consolident les décisions prises par le concepteur lors du traitement de son projet.

Le présent chapitre traite l'évaluation du confort hygrothermique ainsi que la consommation énergétique dans un bâtiment administratif. Par le biais de mesures in situ des paramètres climatiques consolidés par une simulation paramétrique.

Dans la phase simulation, le logiciel Rhinocéros a servi au paramétrage des données, et l'évaluation énergétique a été consolidée par le logiciel Ecotect. Quant à l'investigation, deux stations (intérieur et extérieur du bâtiment) ont été définies préalablement et dans lesquelles la campagne de mesures s'étalant sur 5 jours a été effectuée à l'aide des instruments qui permettent de mesurer la température de l'air.

En effet, l'architecte, doit être conscient de l'emplacement du bâtiment, de l'ensoleillement, des conditions climatiques, afin qu'il puisse prendre les décisions appropriées pour assurer un confort thermique acceptable aux occupants et minimiser la consommation énergétique. Il est judicieux de commencer par une analyse climatique et bioclimatique, ce qui nous permet de connaître les contraintes climatiques auxquelles le projet étudié est soumis.



IV.1. Aperçu sur la ville de Biskra :

IV.1.1. Situation de la ville de Biskra :

Biskra, la porte du désert et la reine des Zibans constitue un trait d'union entre le nord et le sud de l'Algérie. Elle se situe dans le sud-est du pays, à une latitude de $34^{\circ} 48'$ Nord et une longitude de $5^{\circ} 44'$ et avec une altitude de 81 m. (Fig.IV.1)

La wilaya de Biskra est limitée au Nord par la wilaya de Batna, à l'Est par la wilaya de Khenchela, à l'ouest par la wilaya de Djelfa et au sud par la wilaya d'Ouargla.

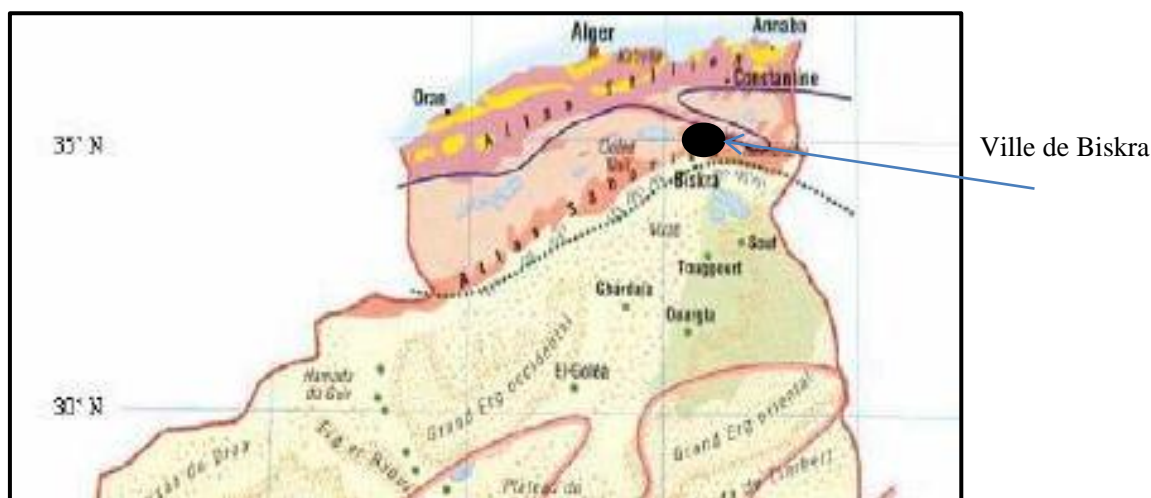


Fig.IV.1 : Carte géographique de l'Algérie

(Source : <http://fr.wikipedia.org/>)

IV.1.2. Aperçu sur le climat de la ville de Biskra :

Tout concepteur a besoin de connaître le climat du lieu où il doit construire. C'est-à-dire le régime de température et de l'humidité de l'air, le régime et la nature des précipitations, l'ensoleillement, le régime et la nature des vents (Lavigne, 1994). Le climat de la ville de Biskra se caractérise par un été très chaud et un hiver modéré avec une température moyenne annuelle de 22.8°C , et une vitesse d'air moyenne de 4.4 m/s dans la direction nord-ouest/sud-est, avec un moyen taux d'humidité de 40% , alors que les pluies restent rares au courant de l'année comme illustré sur le tableau IV.1.

IV.1.2.1. La température :

Les températures de la ville de Biskra présentent de forts contrastes entre l'hiver et l'été. Pour cela on distingue deux périodes :

Une période chaude et longue : s'étend depuis avril jusqu'à septembre et/ou les températures moyennes annuelle sont supérieures à **26 °C**. Toutefois les températures les plus élevées sont enregistrées pendant les mois les plus chauds de l'année ; juillet avec une température moyenne mensuelle de **34.4 °C**.

Une période froide et courte : s'étend de décembre jusqu'à février où les températures moyennes sont basses, avec une température de **5.4 °C**.

IV.1.2.2. L'humidité relative de l'air :

La ville de Biskra se caractérise par des humidités relatives très basses, ceci est dû à l'absence des surfaces d'eau et de la couverture végétale aux alentours, d'autre part l'effet des oasis autour de la ville et les jardins reste insignifiant à l'effet du rayonnement solaire et des vents chauds. L'humidité relative moyenne est de **26.2 %** pendant le mois de juillet, avec une valeur moyenne minimale de **16.78 %** enregistrée depuis avril jusqu'à aout, elle augmente pour atteindre la valeur de **76.7 %** en décembre avec un maximum moyen de **70.1 %** en novembre.

IV.1.2.3. Le régime des vents :

Selon les données climatiques, les vents dominants viennent du **Sud** et du **sud-ouest** pendant l'été et du **nord, Nord – Est**, pendant l'hiver et le printemps (saison des vents poussiéreux).

Les vitesses moyennes varient entre **3.9** à **6 m/s** avec une moyenne de **4.4 m/s**, la période des vents poussiéreux s'échelonne entre les mois de mars et mai.

IV.1.2.4. Les précipitations :

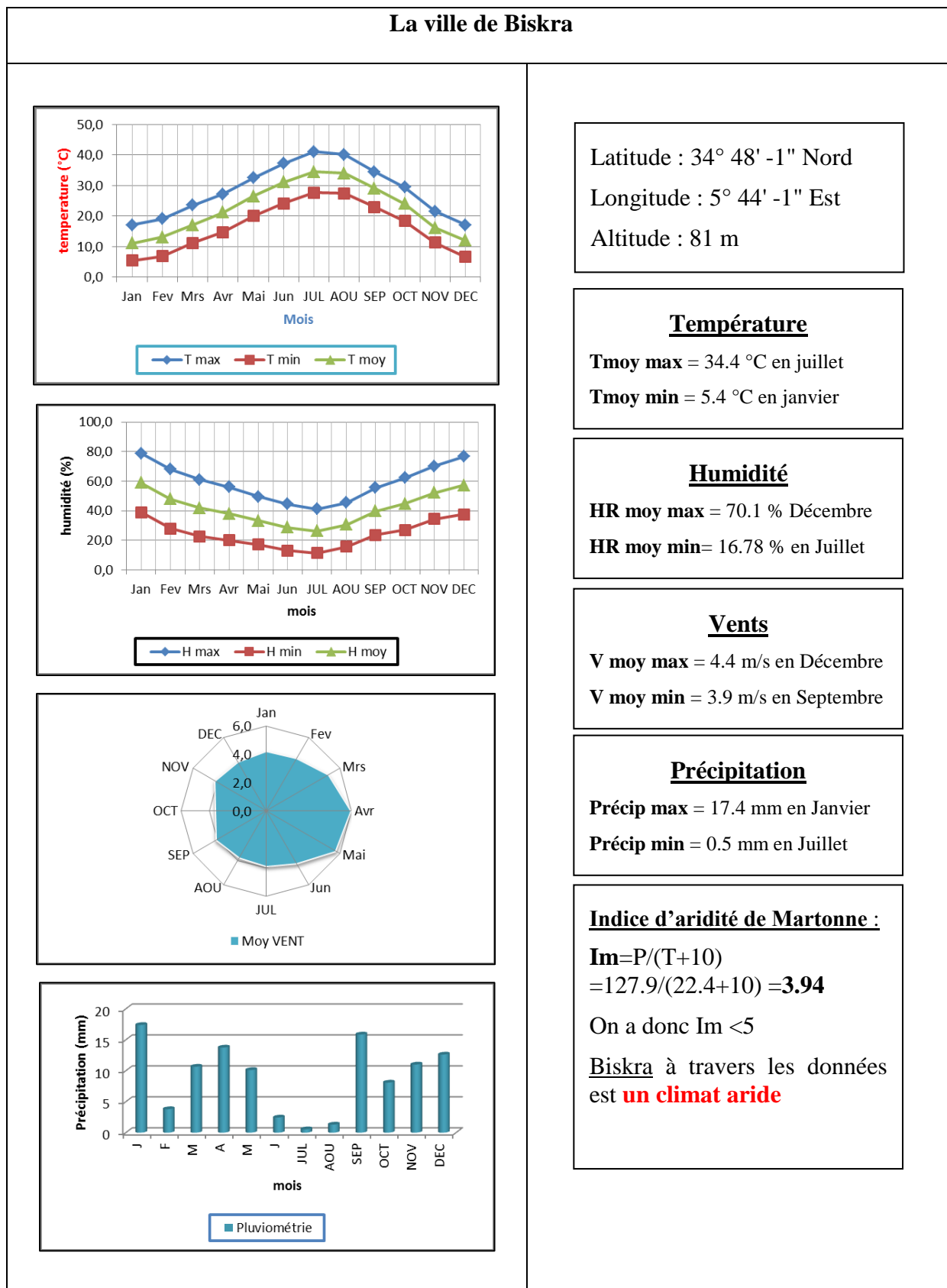
Biskra reçoit des quantités très réduites de précipitation, avec une moyenne annuelle de **127,9 mm**, car l'atlas tellien marque une barrière entre le nord et le sud, s'oppose aux nuages pluvieux, ce qui explique la rareté des pluies dans cette région.

L'analyse climatique révèle que le climat de **Biskra** est très dur, surtout en été à cause :

- Du rayonnement solaire intense,
- Des températures très élevées,
- La rareté des pluies,

On constate que le climat de la région est **chaud** et **sec**.

Tableau.IV.1 : Interprétation des données météorologiques de la ville de Biskra (période 2003-2013)
(Source : l'ONM, 2014)



IV.1.3. L'analyse bioclimatique de la ville de Biskra :

L'analyse climatique a révélé que le climat de Biskra est un climat rude, caractérisé par un été chaud et sec avec un rayonnement solaire très intense. Pour cela une analyse bioclimatique a été effectuée par l'application des tables de Mahoney et du diagramme psychrométrique de Szokolay et à l'aide d'une application puissante dans l'analyse bioclimatique « Climate Consultant 5.5 » qui fournit des données détaillées et précises sur le climat local ainsi que les stratégies passives qui peuvent être utilisées lors de la phase d'esquisse. Voir (Annexe A)

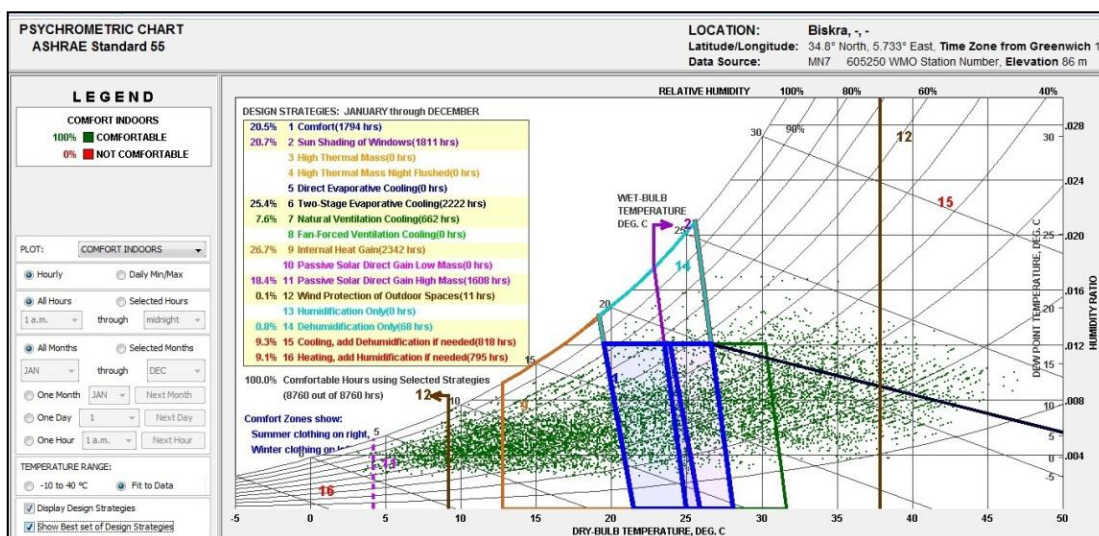


Fig.IV.2 : Diagramme psychrométrique de la ville de Biskra (Source : Auteur, 2017)

On peut distinguer d'après les résultats obtenus de l'analyse du diagramme psychrométrique de la ville de Biskra (Fig.IV.2):

- 20.5 % de l'année dans la zone de confort.
- 20.7 % besoin d'une protection solaire des différentes fenêtres.
- 25.4 % besoin d'un refroidissement évaporatif indirect.
- 7.6 % besoin d'un refroidissement par une ventilation naturelle.
- 18.4 % besoin d'une haute masse avec gain solaire passif direct

L'analyse bioclimatique de la ville de Biskra par les trois méthodes (Mahoney, Szokolay, Climate Consultant). Indique que la majeure partie de l'année se situe en dehors de la zone de confort thermique (seulement 20.5 % de l'année dans le confort), et par la même analyse on a confirmé et conclu que la stratégie de protection du rayonnement solaire direct, est l'une des nécessités fortement demandée pour s'approcher des conditions du confort thermique et

minimiser la consommation énergétique dans les bâtiments de cette région durant la période estivale.

IV.1.3.1. Les radiations solaires directes - la ville de Biskra :

La ville de BISKRA est l'une des régions sahariennes ayant un fort gisement solaire avec une insolation, dépassant les 3500 Wh/an, et un rayonnement solaire direct de 900 à 1100 W/m² sur un plan horizontal (Daich, 2011).

À l'aide du logiciel « METEONORME 7 », qui est une référence météorologique complète disposant d'un catalogue de données climatiques, ainsi que de méthodes de calcul pour les applications climatiques à n'importe quelle zone définie dans le monde, on a pu extraire les données relatives à une année typique (2005) représentant une décennie (2003-2013), matérialisée avec un format spécifique TMY3 (Typical Meteorological Year). Voir (Fig.IV.3)

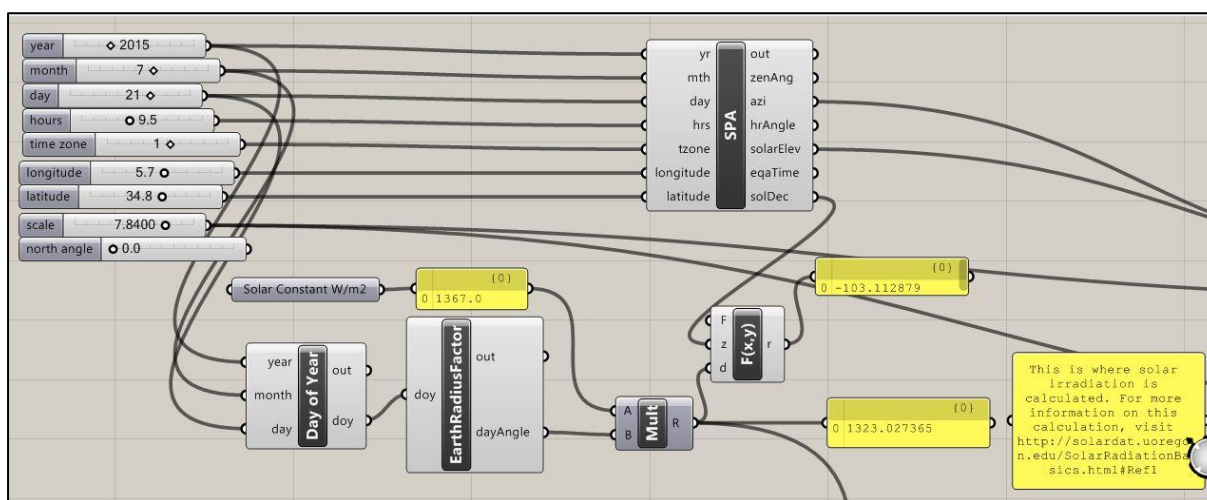


Fig.IV.3 : Traitement des données climatiques de Biskra et la détermination de l'année typique (TMY3)
(Source : auteur, 2017)

Le fichier de référence obtenu est ensuite traité sous le logiciel Microsoft Office Excel, pour faciliter l'exportation du fichier, en triant les multiples données que comprend ce fichier (l'évolution des radiations solaires directes selon le facteur temporel). Ces données, réunies dans un fichier final, sont traduites en pourcentage définissant le facteur solaire relatif à chaque heure de l'année, et sont représentées ensuite dans un tableau.

Dans le but de déterminer les moyennes horaires de radiations solaires directes de la ville de Biskra, un processus a été suivi :

- Collecte des données climatiques concernant le rayonnement solaire en général
- Traitement des données des radiations solaires directes pour chaque mois de l'année
- La collecte des radiations solaires horaires annuelles dans le but de déterminer les gains solaires indésirables.

IV.1.3.1.1. Le calcul du facteur solaire FS :

Le Facteur Solaire s'exprime en % et caractérise la quantité totale d'énergie que laisse passer un vitrage par rapport à l'énergie solaire incidente. Il mesure donc la contribution d'un vitrage à l'échauffement de la pièce. La valeur du Facteur Solaire est comprise entre 0 et 1, Plus le facteur solaire est petit se rapprochant du 0, plus les apports solaires sont faibles (ASHRAE, 2009).

$$\text{Le facteur solaire d'une paroi vitrée} = \frac{\text{La quantité de rayonnement solaire incident (RI)}}{\text{La quantité de rayonnement solaire global (GI)}}$$

Donc : **La quantité de rayonnement solaire incident** = *Le facteur solaire d'une paroi à double vitrage* **x** *la quantité du rayonnement solaire maximum obtenue.*

Cette équation a été appliquée sur toutes les heures de l'année, pour déterminer la quantité de rayonnement solaire direct qui cause l'inconfort à l'intérieur du bâtiment. La valeur obtenue du facteur solaire est de 76 % relatif au double vitrage. (Tableau IV. 2)

Après calcul, le seuil défini de la quantité de rayonnement solaire incident est de **613W/m²**, obtenu par la formule suivante : $806.6 \times 0.76 = 613 \text{ W/m}^2$ (ASHRAE, 2009)

Tableau IV. 2 : Facteurs de réduction solaire des différents types de vitrage

(Source : <http://solarinnov.webfactional.com/wpcontent/uploads/2012>)

PRODUCT	VISIBLE LIGHT TRANSMITTANCE %	SOLAR HEAT GAIN COEFFICIENT	WINTER U-FACTOR (AIR/ARGON)	UV	FADING TRANSMISSION
Single-pane, clear	90%	.86	1.04/---	.71	.84
Double-pane, clear	81%	.76	.48/--	.56	.74
Ordinary low-e	75%	.72	.35/.31	.44	.63
LoE²-272	72%	.41	.30/.25	.16	.55

Étant défini le seuil de rayonnement direct est de **613 W/m²**, par conséquent les valeurs supérieures à cette valeur présentent les périodes des gains solaires indésirables. Voir Tableau IV. 3

Tableau IV. 3 : Traitement des radiations solaire directes horaire annuelle - Biskra

(Source : TMY3, 2017)

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
01:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
02:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
03:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
04:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
06:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
07:00	0,0	0,0	0,0	59,1	240,4	222,3	218,7	74,3	0,0	0,0	0,0	0,0
08:00	0,0	0,0	243,5	358,8	457,6	482,5	446,0	355,1	257,9	205,1	0,0	0,0
09:00	304,6	254,2	522,7	637,7	585,1	579,7	606,8	542,4	488,6	402,1	343,8	346,8
10:00	547,8	514,6	682,6	706,9	642,8	620,9	702,5	629,4	566,7	513,7	667,2	568,5
11:00	691,8	617,3	741,4	722,9	667,9	647,5	748,1	653,9	644,1	677,8	756,3	678,4
12:00	776,3	670,8	755,8	655,0	673,3	658,0	766,7	660,6	695,8	617,9	805,7	718,9
13:00	805,8	703,8	759,7	654,9	670,9	648,1	766,7	658,5	691,7	619,3	806,6	737,0
14:00	800,9	703,8	762,6	655,5	667,2	659,5	768,3	663,5	701,9	697,5	793,1	732,9
15:00	748,7	686,5	761,0	650,6	672,1	656,5	762,5	669,0	696,5	684,2	767,8	680,4
16:00	644,3	613,8	724,0	659,6	666,5	665,2	737,5	657,2	578,2	520,6	648,5	576,2
17:00	341,5	470,3	649,8	617,1	629,3	618,2	661,5	608,5	512,2	350,2	379,3	355,5
18:00	0,0	249,6	331,8	453,5	516,1	525,6	527,4	481,2	283,4	112,7	0,0	0,0
19:00	0,0	0,0	0,0	190,0	263,6	289,1	286,7	246,7	10,0	0,0	0,0	0,0
20:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Nous remarquons qu'au cours de l'année typique choisie 2005 (TMY3), le rayonnement solaire direct atteint la valeur maximale au milieu de la journée, et la valeur minimale au lever et au coucher du soleil. Les quantités de rayonnement reçues en début de journée et pendant l'après-midi sont presque équivalentes (la quantité reçue à 9 h est très proche de celle reçue à 17 h). Nous constatons aussi que le nombre d'heures d'insolation journalière dans la ville de Biskra est important ; il est supérieur à 9 h et atteint 13 heures d'exposition au soleil pendant les mois chauds.

Ces données exigent que les protections solaires des baies vitrées et des fenêtres soient parmi les stratégies de rafraîchissement passives indispensables dans cette région, pour limiter les gains solaires directs, et prévoir un confort intérieur pendant la période estivale.

IV.2. Aperçu sur la consommation énergétique en Algérie :

Entre 2000 et 2012, la consommation énergétique du secteur tertiaire en Algérie a progressé de 7.1%/an. Le secteur résidentiel et tertiaire (45,7 %) domine, suivi des secteurs

de transports (27,8 %) et de l'industriel BTP (26,8 %) (APRUE, 2014). En ce qui concerne l'analyse de la consommation d'électricité par usages, l'éclairage et la climatisation totalisent 90 %. La (Fig.IV.4) montre que les équipements administratifs se placent à la tête des secteurs énergivores (24 %) suivis par les commerces (16 %), les bureaux privés et les hôpitaux (14 et 12 %) selon le dernier rapport de consommation énergétique de l'APRUE.

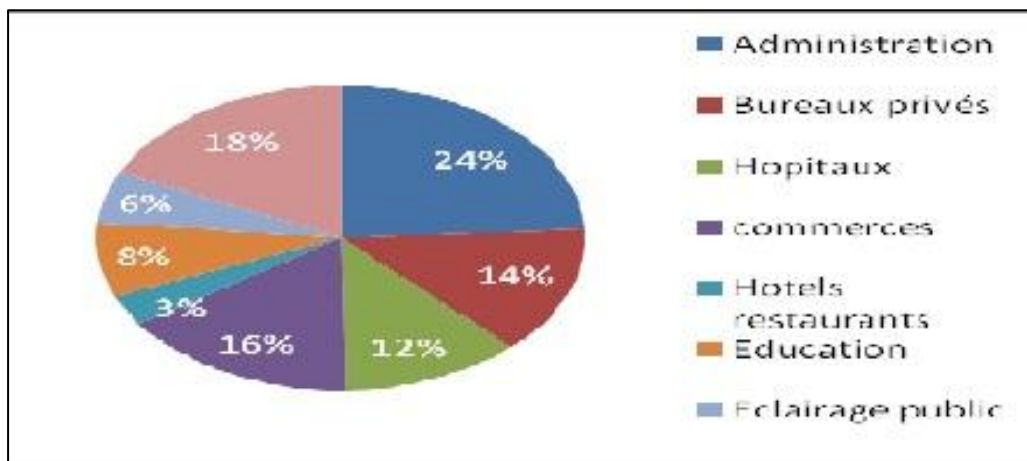


Fig.IV.4 : Répartition de la consommation énergétique du secteur tertiaire par branche

(Source : APRUE, 2014)

Récemment l'utilisation des façades vitrées dans les immeubles administratifs ou d'habitation sont devenue très répandue dans le monde, car celles-ci présentent des apparences luxueuses afin de maximaliser la diffusion de la lumière naturelle (Etman et al., 2013).

Cela, conduit automatiquement à une dépendance croissante vis-à-vis de l'utilisation des systèmes de climatisation mécaniques et à l'augmentation conséquente de la consommation d'électricité et l'émissions du CO₂.

Dans la région de Biskra, les équipements administratifs avec des façades vitrées, sont très répandus, est devenu des sources potentielles de gain solaire indésirable pour le confort thermique intérieur et extérieur causant une forte consommation d'énergie électrique (Fig.IV.5). Pour une protection de l'environnement et une architecture durable, il est souhaitable de concevoir des constructions qui s'adaptent au climat. Pour la mitigation des îlots de chaleur urbaine et le réchauffement planétaire, une stratégie de construction passive qui se résume dans la protection solaire a été utilisée. Pour cette raison une étude sur un équipement administratif avec un ratio de vitrage très élevé a été effectuée.



Fig.IV.5 : Bâtiments administratifs à la ville de Biskra (Source : Auteur, 2017)

IV.3. Présentation de l'exemple d'étude :

Notre cas d'étude est un équipement de bureaux administratifs, qui est le siège de la direction des travaux publics de la wilaya de Biskra. Il est situé dans un quartier résidentiel, proche de la zone d'activité dans la partie Nord/Est de la ville (Fig. IV.6). L'équipement est construit dans un terrain vierge trop exposé au rayonnement solaire. Le bâtiment est orienté à un angle de 14° avec le nord géographique.



Fig.IV.6 : La situation du cas d'étude dans la ville de Biskra (Source : Google Earth, 2017)

Notre cas d'étude est un immeuble de bureaux typique avec 60 % d'ouverture transparente (double vitrage), qui s'étalent sur les trois façades extérieures (Sud-Est — Ouest). Celles-ci sont exposées au rayonnement solaire sans aucune protection solaire. Cette situation a causé une énorme consommation énergétique en été pour la climatisation en raison du gain de chaleur direct. Le bâtiment s'étend sur une superficie de 859 m² et comporte quatre niveaux. (Fig.IV.7)



Fig.IV.7: Vue sur la façade sud du cas d'étude

(Source : Auteur, 2017)

D'après les plans du bâtiment (Fig.IV.8), les quatre niveaux s'articulent autour d'un espace central (Hall) de forme rectangulaire destinée à la circulation et naturellement ventilé, entouré par des coursives qui desservent les espaces adjacents, la majorité de ces espaces de travail sont équipés avec une climatisation mécanique. Les personnes interrogées ont manifesté un mécontentement total quant au confort thermique à l'intérieur, cette condition a entraîné une baisse de la productivité du travail surtout pour la période estivale.

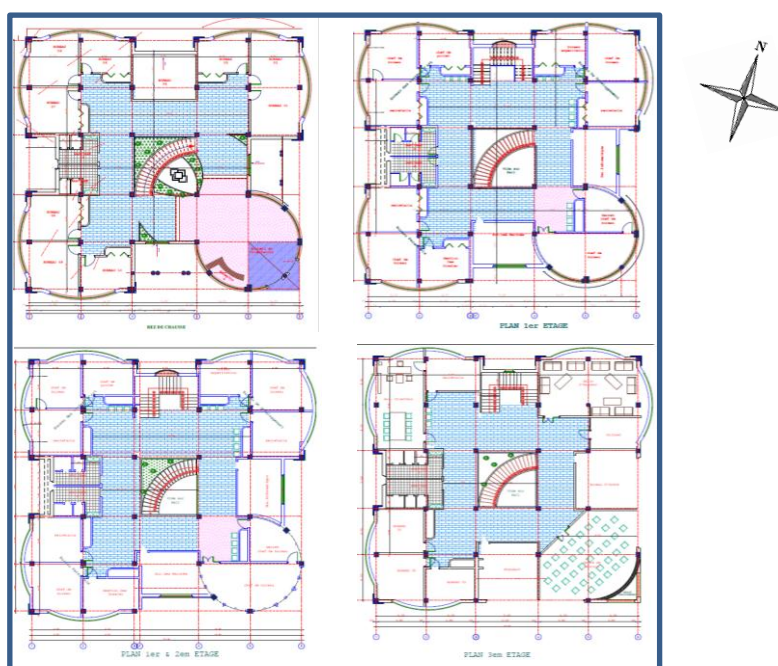


Fig.IV.8 : Plans des différents niveaux du cas d'étude

(Source : Auteur, 2017)

IV.4. Campagne de mesures in situ :

Les variables environnementales qui sont importantes pour le confort thermique humain englobent le rayonnement solaire, les températures des surfaces, la température de l'air, la vitesse du vent, et l'humidité (Akbari, 1992). Notre campagne de mesures est menée dans le but de quantifier les paramètres mesurables du confort hygrothermique dans le bâtiment administratif choisi afin de comparer et vérifier les résultats simulés pour le cas initial avant d'intervenir et de proposer une façade dynamique avec un mécanisme cinétique comme une deuxième peau à l'extérieur dans l'objectif de l'amélioration des conditions de confort thermique et la consommation énergétique.

IV.4.1. Période de mesures :

Il était judicieux dans notre étude, pour évaluer la qualité du confort hygrothermique au sein de notre bâtiment de bureaux, différents indicateurs du confort hygrothermique doivent être mesurés à l'aide des appareils.

Pour notre campagne de mesures : il s'agit de mesurer les trois paramètres :

- La température de l'air extérieure en (°C)
- La température de l'air intérieure en (°C)
- L'éclairement en (Lux)

Afin de déterminer la zone de surchauffe dans le bâtiment de bureaux, les mois de juillet et aout (été 2015), ont été choisis pour la phase de mesure in situ, représentant la période estivale la plus chaude. La durée de la campagne de mesures s'est étalée sur 5 jours successifs pour le mois d'aout du 9 au 13 aout (Fig.IV.10). La prise horaire des mesures s'étaient effectués à partir de 8 h jusqu'à 17 h (les heures de travail), pour l'intérieur et l'extérieur du bâtiment.

IV.4.2. Méthodologie de mesures :

Trois stations de mesures ont été précisément sélectionnés, horizontalement réparties au niveau de rez-de-chaussée, à une hauteur de 1.5m pour vérifier les variations des températures de l'air intérieur et l'éclairement. (Fig.IV.9)

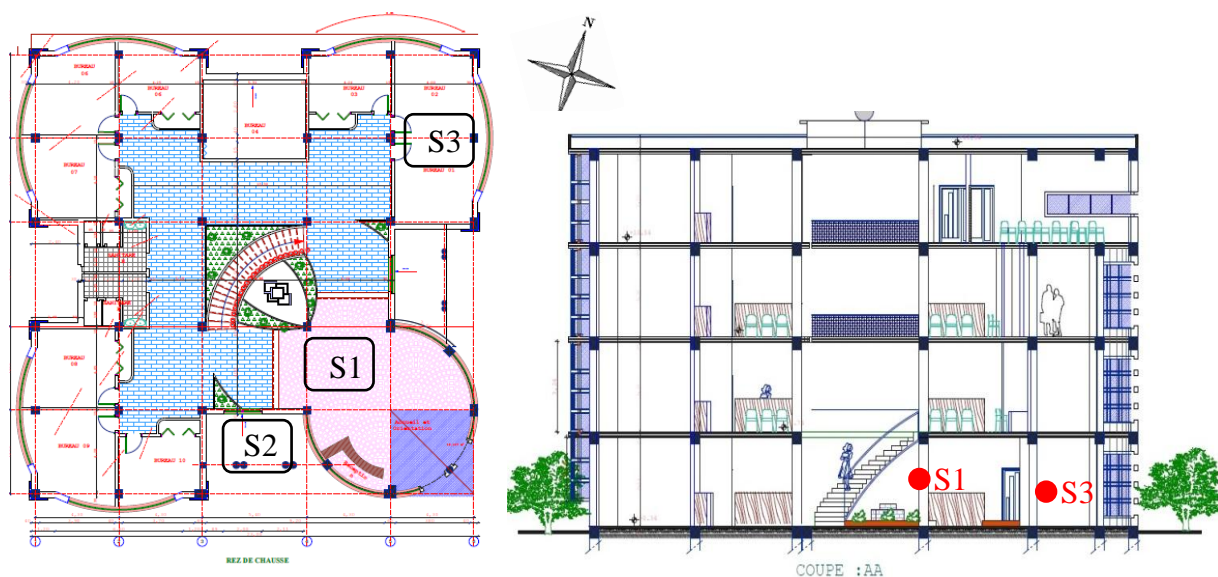



Fig.IV.9 : Emplacement des différentes stations de mesures

(Source : Auteur, 2017)

Un multimètre professionnel du modèle LM-8000 de type (K) qui regroupe : un thermocouple, un anémomètre, un hygromètre et un luxmètre et une station météo ont été choisis pour cette campagne (Tableau IV. 4). De ce fait, un étalonnage de précision a été élaboré entre ces différents instruments, et même avec les appareils de la station météo, pour éviter le décalage qui peut s’effectués entre les valeurs enregistrées.

Tableau IV. 4 : les instruments de mesure utilisés dans l’investigation (Source : Auteur, 2017)

Les instruments de mesure		Description
Station météo SMV sans fil WMR928NX		Temp (°C)/HR (%)
Anémomètre LT Lutron LM-8000		Anémomètre : Temp (°C)/HR (%) / vitesse de vent (m/s) Eclaircement (lux)

IV.4.3. Interprétation et analyse des résultats :

Selon l'objectif de la recherche, une campagne de mesures a été effectuée sur site durant la période estivale (Août) portant sur l'évaluation des températures de l'air intérieur et à l'extérieur du hall central. Pour cela, nous présenterons d'abord une analyse des résultats retenus de l'investigation que nous validerons par la suite avec le logiciel Ecotect Analysis 2011.

IV.4.3.1. Température de l'air intérieure en été :

En été, les niveaux de température intérieure atteints dans un bâtiment non climatisé dépendent principalement de la température extérieure, des apports internes de chaleur, des apports de chaleur dus au soleil, de la ventilation et de l'inertie du bâtiment (Izard, 1993)

La lecture des graphes (fig. IV.10 et 11) fait ressortir que la fluctuation de la température interne n'est pas très grande par rapport la température extérieure qui était en évolution continue pendant toute la période de mesure (de 8 h à 17 h). Les profils des températures d'air à l'intérieur sont presque semblables pendant la période diurne. Ils se situent hors de la zone de confort, et ce même quand la température externe baisse. Ceci est dû à l'exposition au rayonnement solaire intense pendant toute la journée, le type et ratio très élevé du vitrage extérieur.

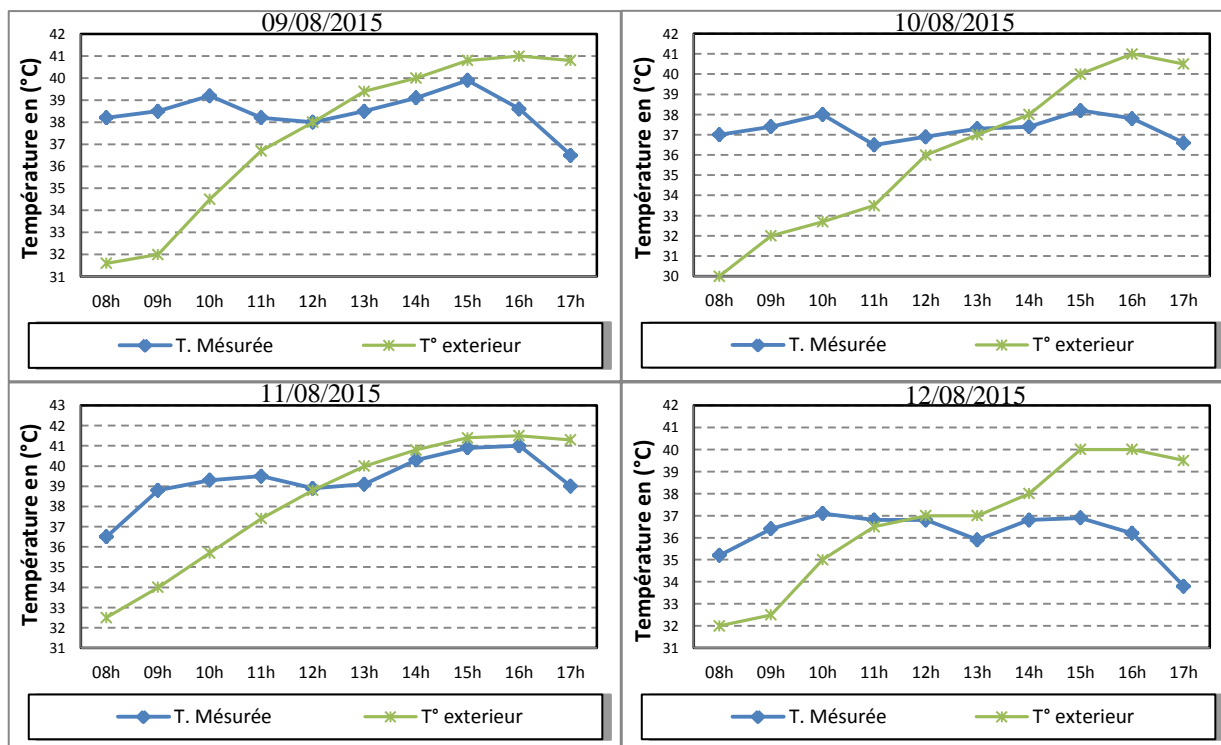


Fig.IV.10 : Variations horaires de la température intérieure et extérieure mesurées au RDC (Hall) du 09 au 12/08/2015

(Source : Auteur, 2017)

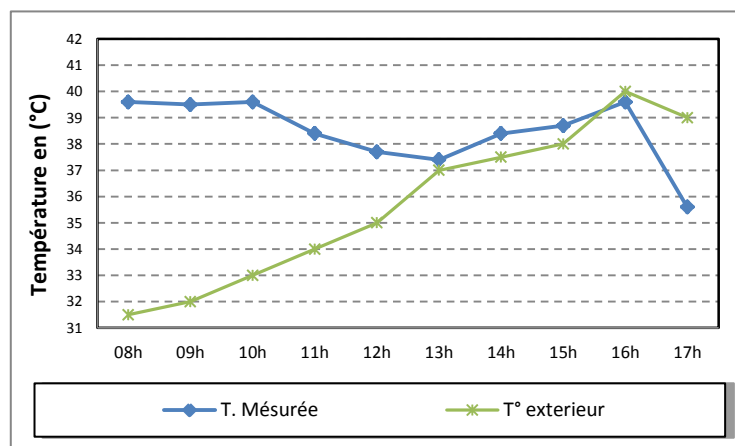


Fig.IV.11 : Variations horaire de la température intérieure et extérieure mesurée au RDC (Hall) le 13/08/2015 (Source : Auteur, 2017)

IV.5. Modélisation et simulation dynamique :

Les outils de simulation thermique permettent de décrire le bâtiment. Ils permettent aussi d'effectuer des bilans énergétiques. Dans notre travail nous allons procéder à notre étude numérique avec les logiciels paramétriques.

IV.5.1. Choix des logiciels de simulation pour l'expérimentation :

IV.5.1.1. Rhinoceros / Grasshopper et GECO :

Rhino/Grasshopper est l'un des outils les plus répandus dans le domaine de conception paramétrique, ce qui nous a incités à l'utiliser pour effectuer notre travail de simulation, vu la souplesse qui nous offre du point de vue inter-connectivité avec d'autres outils de simulation, notamment avec le plug-in (GECO) qui offre un lien direct entre les modèles Rhino/Grasshopper et Ecotect. Ce plug-in nous a permis d'exporter rapidement des géométries complexes, d'évaluer notre conception dans Ecotect et d'accéder aux performances du modèle, et en même temps il importe les résultats comme une rétroaction à Grasshopper. Cette méthode est un processus unique ou en boucle pour améliorer les performances et la conception d'un bâtiment dans le contexte de son environnement (Food4Rhino, 2013). Le logiciel a été présenté parmi les outils de modélisation paramétrique, voir (chapitre II.1.4)

IV.5.1.2. Autodesk Ecotect Analysis 2011 :

Ecotect est un logiciel de simulation complet de conception depuis la phase d'avant-projet jusqu'à celle de détail qui associe un modéleur 3D avec des analyses : solaire et thermique, de

consommation énergétique, et évaluation de coût. Ecotect offre un large éventail de fonctionnalités de simulation et d'analyse. C'est un outil d'analyse simple et qui donne des résultats très visuels. Il a été conçu pour une conception environnementale efficace et pendant les étapes conceptuelles du design (Autodesk, 2014).

IV.5.2. Simulation du bâtiment administratif :

IV.5.2.1. Configuration des entrées :

Dans cette partie, nous allons introduire les données nécessaires pour la réalisation de modèle à simuler pour effectuer les analyses de confort thermique et l'efficacité énergétique d'un bâtiment administratif (état actuel). En commençant par le modèle géométrique du bâtiment étudié à l'aide des logiciels Rhinoceros et Ecotect par une première étape qui consiste à concevoir le volume (Fig.IV.12 et 13) avec ses dimensions géométriques soit 23 m de côté et 13.94 m de hauteur sous plafond.

On a généré les configurations tridimensionnelles du modèle étudié dans les deux logiciels de modélisation d'une manière très détaillée, avec toutes les zones de différentes couleurs qui représentent chaque espace du bâtiment. On a par la suite, créé les fenêtres et les portes des différentes zones thermiques. Dans « Rhinoceros », le dessin des pièces s'effectue avec des « Curves et des surfaces, mais dans « Ecotect » le dessin s'effectue dans le 3D Editor, mais la visualisation de la volumétrie du modèle dessiné est plus claire dans l'interface de Visualise.

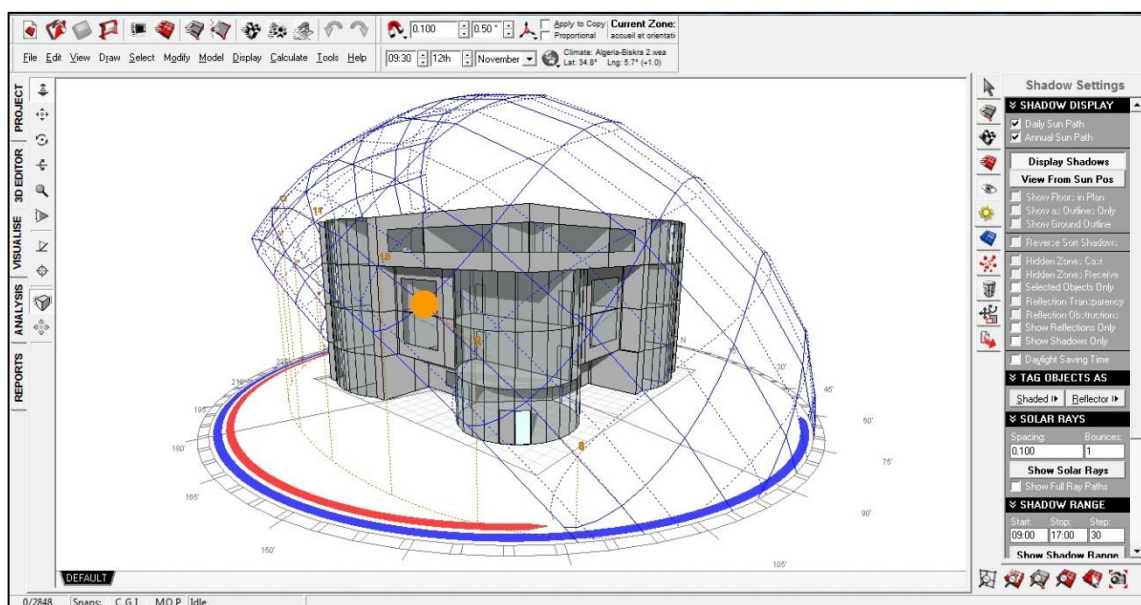


Fig.IV.12 : Modèle géométrique étudié dans l'interface (Ecotect)

(Source : Auteur, 2017)

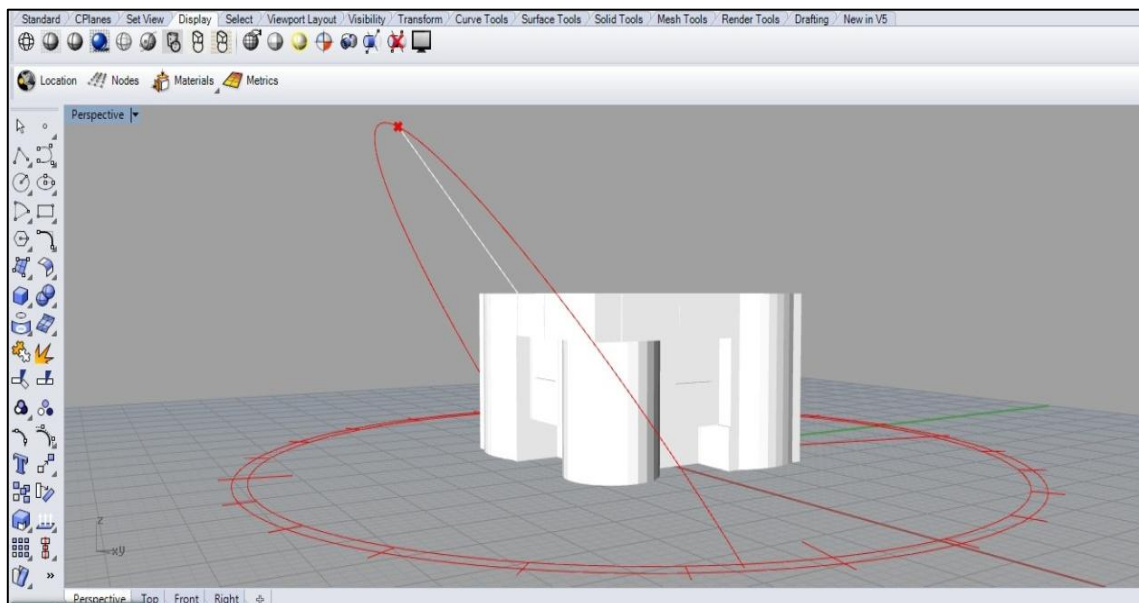


Fig.IV.13 : Modèle géométrique étudié dans l’interface (Rhino)
(Source : Auteur, 2017)

IV.5.2.2. Introduction des données relatives aux matériaux :

À l’aide d’une fiche technique du bâtiment qui contient les différents types de matériaux utilisés pour la construction, on a déterminé les différentes couches et épaisseurs constituant les différentes parois extérieures et intérieures, les dalles et les types de vitrage. Comme la bibliothèque du logiciel contient que des matériaux standards, dans notre cas on a introduit les différents matériaux personnalisés avec leurs propriétés thermo-physique pour la bibliothèque du logiciel afin d’assurer des résultats plus fiables (Fig.IV.14).

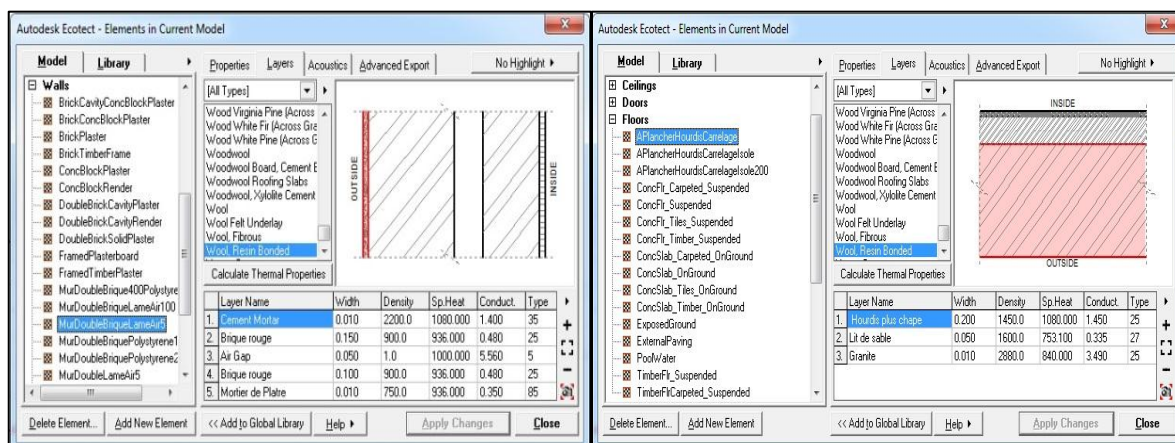


Fig.IV.14 : Bibliothèque des matériaux d’Ecotect
(Source : Auteur, 2017)

IV.5.2.3. Fichier des données météorologiques :

Cette étape consiste à introduire le fichier des données météorologiques de la ville de Biskra dans le fichier de simulation. On a généré à l'aide de logiciel des données climatologiques "Meteonorme 7" le fichier "weather Data" de format (.wea) de la période 2001-2011 pour le plug-in GECO dans Grasshopper comme un support pour la simulation thermique et énergétique du bâtiment (Fig.IV.15).

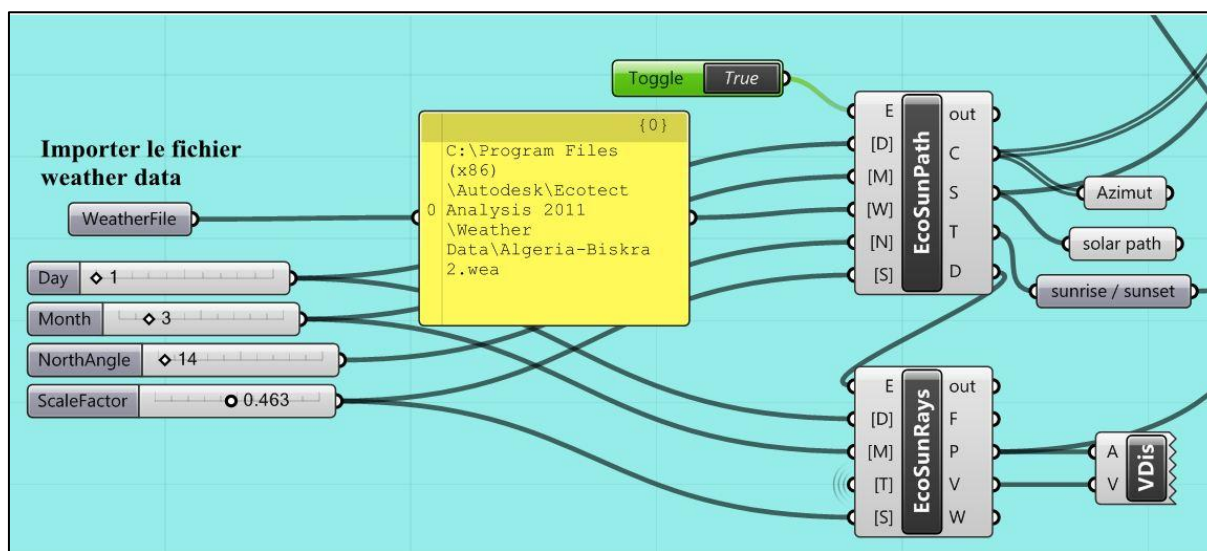


Fig.IV.15 : Génération du fichier weather data avec le plug-in Geco

(Source : Auteur, 2017)

IV.6. Résultats de la simulation du bâtiment :

IV.6.1. Température de l'air intérieur :

En se basant sur les résultats et la lecture des graphes des températures (fig. IV.16), on remarque un écart assez considérable entre le maximum et le minimum pour l'extérieur, d'une valeur de 10.3°C. Les profils des températures de l'air à l'intérieur du hall central au niveau des deux stations de mesure suivent la même allure, et suivent également la courbe de la température de l'air intérieur simulée. La valeur maximale du gradient dans le même hall (différence de température entre la station ST1 et les résultats d'Ecotect) atteint 3 °C. Cet écart est dû peut-être à l'influence de l'air frais sortant des bureaux climatisés ; où les portes sont souvent ouvertes ; situés autour des coursives donnant sur le hall.

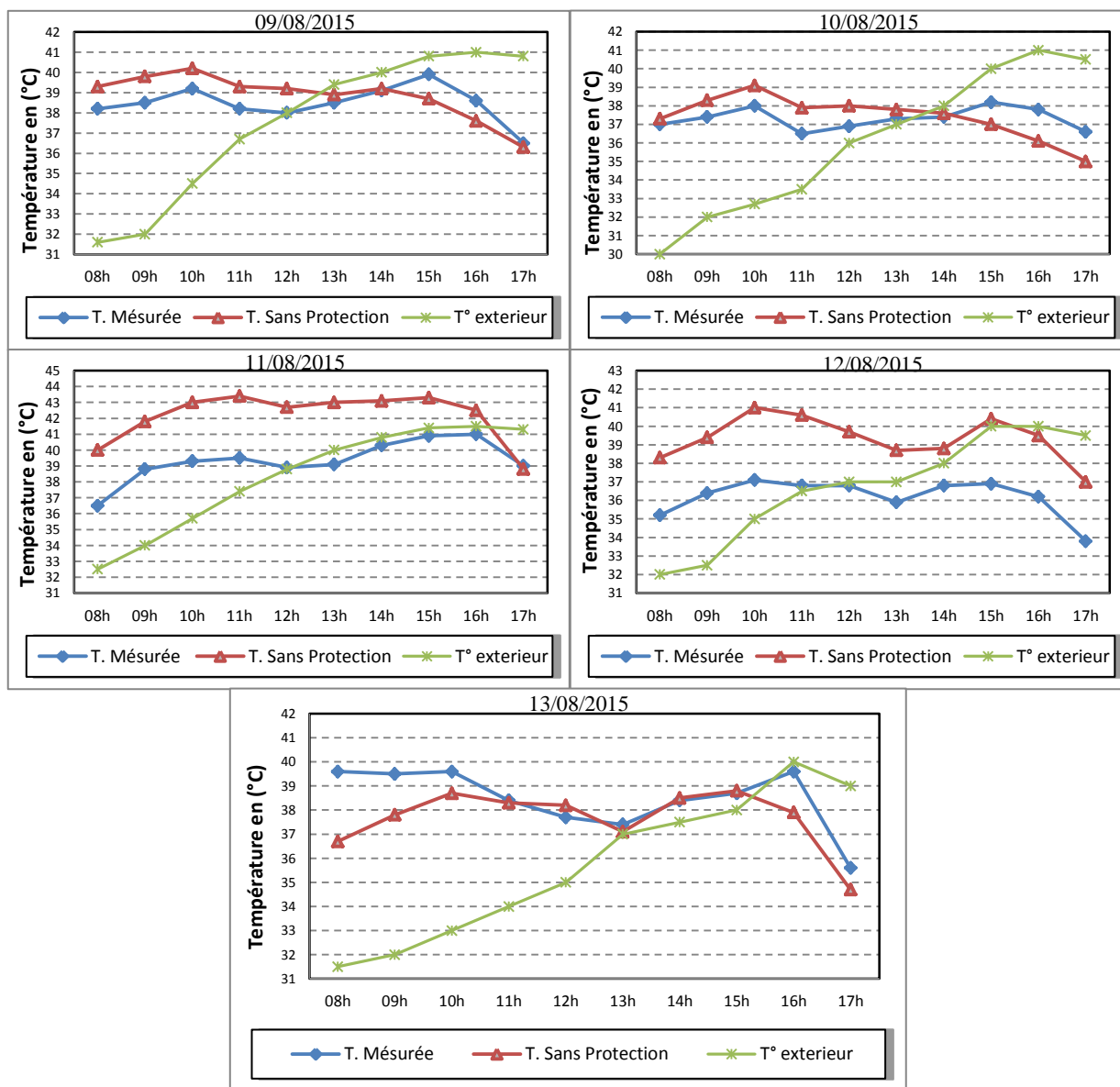


Fig.IV.16 : Comparaison de la température intérieure (mesurée et simulée) et extérieure au RDC (Hall) Du 09 au 13/08/2015 (Source : Auteur, 2017)

IV.6.2. Radiations solaires directes :

Les résultats de la simulation durant la période s'étalant du 21 mai au 21 août indiquent une forte radiation solaire directe incidente, sur les trois façades exposées (Sud, Est et Ouest). Les valeurs maximales atteignent les 3200 Wh/m² sur toute la façade vitrée, cela est dû à la morphologie de la façade, étant une surface de profil planaire dépourvue de décrochements pouvant provoquer un ombrage. Cette configuration subit une radiation solaire uniforme. Quant aux façades ombragées, les radiations solaires sont de l'ordre de 1200 Wh/m². (Fig.IV.17)

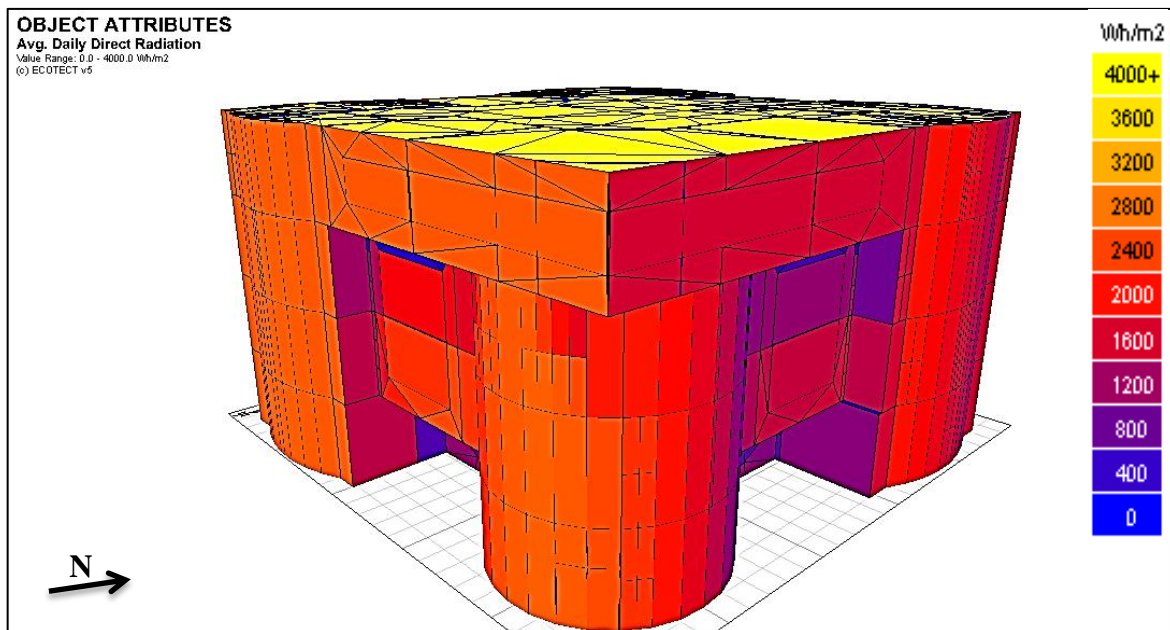


Fig.IV.17 : Moyenne journalière cumulée des radiations directes incidentes
 (Source : Auteur, 2017)

IV.6.2.1. Estimations des apports solaires :

Dans cette partie, nous avons procédé à une simulation du comportement du bâtiment vis-à-vis des données climatiques de la ville de Biskra, pendant une période donnée d’une année. Le graphe obtenu (Fig.IV.18), présente les différents échanges thermiques au niveau du bâtiment étudié. Les résultats obtenus indiquent que les gains solaires passifs, avec un pourcentage de **55.8 %**, sont presque stables tout le long de l’année, comparés aux différents échanges thermiques obtenus. Cette situation est causée par l’absence totale de protections solaires sur les trois façades du bâtiment. Ce qui rejoint les résultats de Izard, 1993.

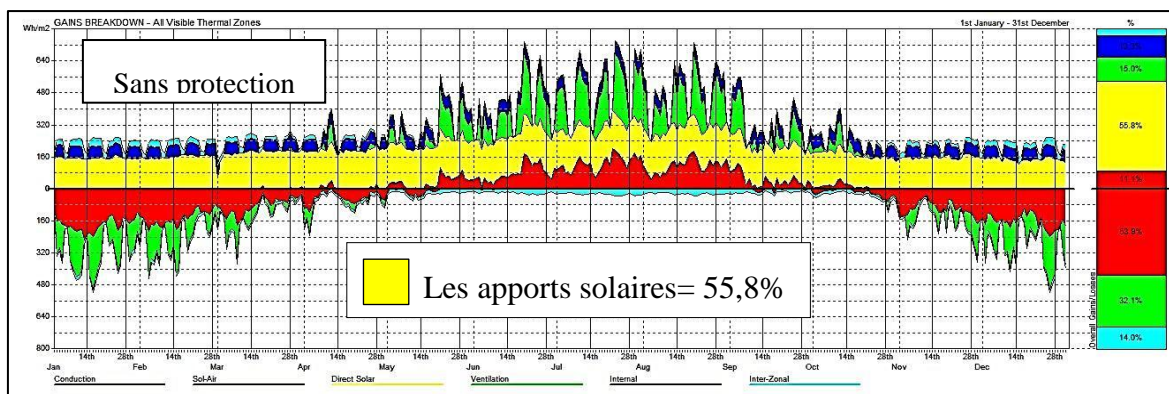


Fig.IV.18 : Apports solaires annuels du bâtiment
 (Source : Auteur, 2017)

IV.6.3. Détermination de la période de surchauffe :

Dans le but de déterminer la période de surchauffe à l’intérieur du bâtiment, on a effectué une série de simulation et de calculs succincts. Apres simulation, la température de l’air obtenu a été utilisée pour la détermination de la période de surchauffe tout en utilisant la méthode du confort adaptatif ASHRAE 55-2010 relative aux bâtiments de bureaux naturellement ventilés (M. Taleghani et Al, 2013).

La formule du confort adaptive : ASHRAE standard 55-2010 est présentée comme suite :

$$T_n = 17.8 + (0.31 \times T_m), / T_m = \Sigma t_m/12 \dots \dots \dots (1)$$

T_n : la température neutre

T_m : La moyenne annuelle des températures de l’air de la ville choisi

D’après les données climatiques de la ville de Biskra, La moyenne annuelle des températures de l’air est de : $T_m = \Sigma t_m/12 = 22.8 \text{ }^\circ\text{C}$

Donc : $T_n = 17.8 + (0.31 \times 22.8) = 24.86 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2/-2$ (Limite de confort : **22.9°-26.9°**)

Après calcul, les températures de limite de confort sont établies entre 22.9°-26.9°. Une fois ce seuil est déterminé la zone de confort et les zones de surchauffes sont mentionnées dans le tableau IV. 5.

Tableau IV. 5 : Zones de surchauffe du bâtiment sans protection (Source : Auteur, 2017)

mois/heure	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
00:00	8,1	10,2	14,8	18,5	23,0	27,2	31,7	30,9	25,0	21,3	13,6	9,4
01:00	8,0	10,1	14,6	18,4	22,3	26,4	31,4	30,6	24,8	21,3	13,5	9,3
02:00	7,9	9,9	14,5	18,3	22,0	26,1	31,1	30,4	24,2	21,1	13,3	9,2
03:00	7,8	9,8	14,4	18,2	22,0	25,8	31,0	29,6	24,1	21,1	13,3	9,1
04:00	7,7	9,8	14,3	18,1	22,1	25,8	30,4	29,5	24,1	21,1	13,2	9,0
05:00	7,6	9,7	14,2	18,1	22,0	25,6	30,3	29,5	24,4	21,0	13,1	9,0
06:00	7,6	9,6	14,2	18,9	25,3	29,8	34,9	31,2	24,8	21,0	13,1	8,9
07:00	7,5	9,6	17,2	22,7	28,7	34,0	38,6	36,3	28,1	23,6	13,2	8,9
08:00	12,2	14,2	21,2	25,6	30,9	36,1	41,0	39,3	31,4	26,3	18,8	14,1
09:00	16,3	18,4	23,6	26,9	32,0	36,8	42,0	40,7	33,5	28,3	22,9	17,9
10:00	18,8	20,6	24,9	27,5	32,5	37,3	41,9	41,2	34,5	30,2	24,8	20,1
11:00	20,4	21,7	25,3	27,7	32,2	36,6	41,5	41,1	34,6	31,1	26,2	21,3
12:00	20,9	22,0	26,0	28,3	31,5	35,9	40,3	40,7	34,6	31,5	26,4	21,6
13:00	20,7	22,2	26,2	28,3	30,9	35,5	39,5	40,2	34,3	31,0	26,7	21,4
14:00	21,4	23,1	27,2	29,0	31,6	36,2	40,4	40,6	34,6	31,2	27,2	21,8
15:00	20,4	22,5	27,1	29,1	31,7	36,2	40,8	40,5	34,3	30,4	25,6	20,4
16:00	16,5	20,1	25,4	27,9	31,0	35,7	40,4	39,6	33,1	28,6	21,9	17,0
17:00	10,5	15,5	21,7	25,1	29,2	33,8	38,2	37,1	30,3	24,8	15,8	11,3
18:00	9,7	11,8	17,2	21,8	27,4	32,0	35,9	34,5	27,3	23,4	15,0	10,8
19:00	9,4	11,5	16,6	19,9	25,6	29,5	33,1	32,1	27,0	23,0	14,6	10,5
20:00	9,2	11,3	16,1	19,6	25,0	29,1	32,7	31,8	26,7	22,5	14,4	10,4
21:00	9,0	11,1	15,7	19,5	24,7	28,8	32,4	31,6	26,2	22,0	14,2	10,2
22:00	8,8	10,9	15,4	19,1	24,3	28,4	32,1	31,3	25,6	21,7	14,1	10,0
23:00	8,3	10,4	15,0	18,8	23,7	28,2	32,0	31,2	25,2	21,4	13,7	9,6

 Hors les heures de travail  Pendant les heures de travail

On remarque que la zone de surchauffe s'étale pratiquement sur toute la période estivale, du mois d'avril jusqu'au mois de septembre. Le bâtiment étudié ayant un caractère administratif, la période d'utilisation de celui-ci est limitée de 8 : 00 jusqu'à 17 : 00. Donc, notre intervention va couvrir la période estivale, et aura lieu au niveau des périodes de surchauffes indiquées à partir du mois d'avril jusqu'au mois d'octobre, durant les heures de travail.

IV.6.4. Résultats relatifs à la consommation énergétique :

La consommation de l'énergie dans le bâtiment est préconisée par les services assurant le chauffage ainsi que la climatisation. Ces données représentent un outil d'aide à l'évaluation des performances du bâtiment. De même pour notre cas d'étude, la quantification de la consommation énergétique a été effectuée grâce à la simulation. Le but étant de déterminer l'énergie dédiée à la climatisation durant la période estivale.

Le graphe (Fig.IV.19) représente l'évolution mensuelle de la consommation énergétique du bâtiment climatisé, sachant que La condition de déclenchement de la climatisation est une température seuil de 26,9 °C.

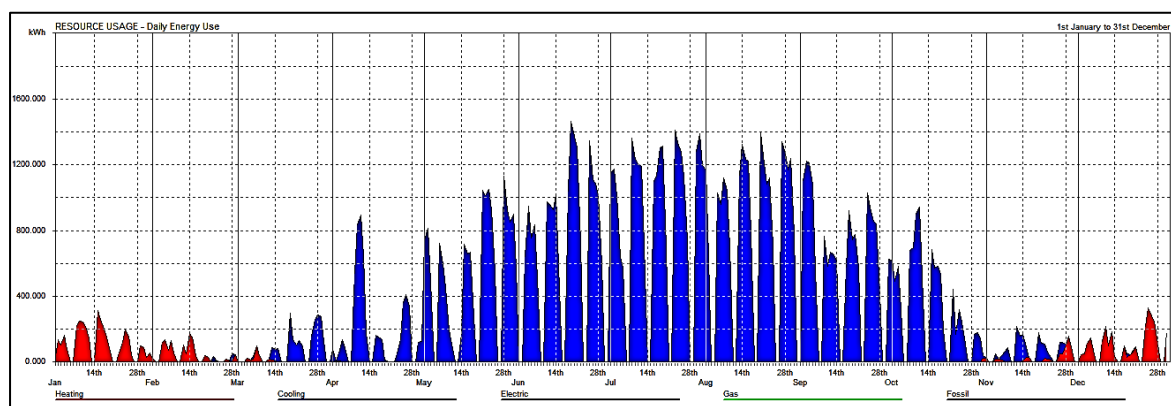


Fig.IV.19 : La consommation énergétique mensuelle du bâtiment

(Source : Auteur, 2017)

La consommation énergétique évolue considérablement en début du mois d'avril pour atteindre son apogée aux mois de juillet et aout, (les mois les plus chauds) avec une pointe de 22 955 KW, et graduellement diminué jusqu'à atteindre une valeur nulle au début du mois de novembre.

IV.6.4.1. Estimation de la consommation énergétique annuelle du bâtiment :

Évaluer les performances du bâtiment en matière de consommation est essentiel pour déterminer son efficacité énergétique. Un outil développé par le ministère des Mines d’Algérie CREG (Commission de Régulation de l’Électricité et du Gaz d’Algérie) dont le but est l’estimation de la facture d’électricité annuelle des équipements, et dédiée exclusivement à la climatisation, est disponible sur le site officiel www.creg.gov.dz.

Cet outil nous a permis d’estimer en Dinars Algériens, selon une configuration spécifique, la facture annuelle d’électricité de notre cas d’étude. L’estimation approximative d’une consommation de 128 615 kWh, est d’un montant de 826 206.45 DA. (Fig.IV.20)

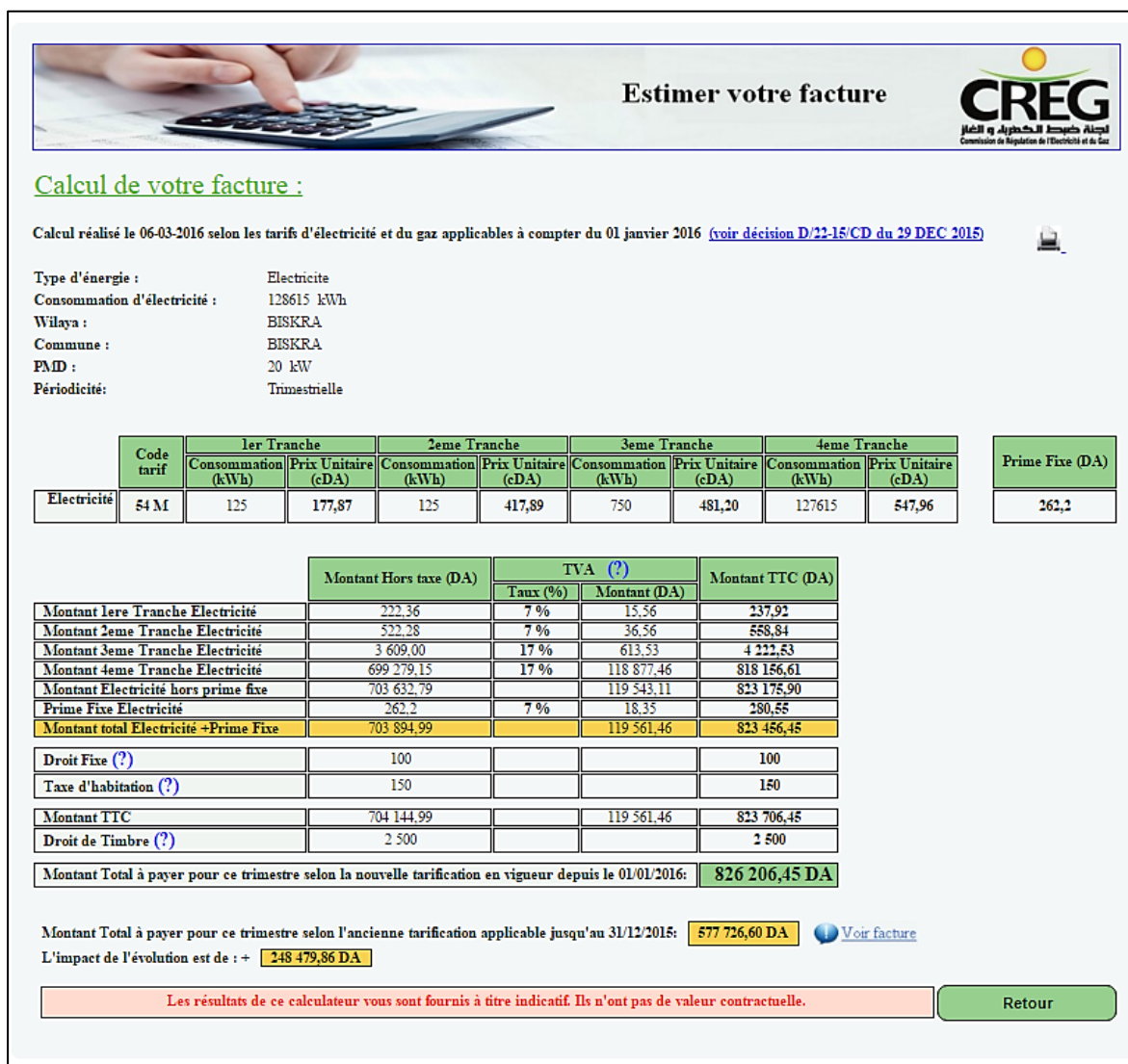


Fig.V.20 : Facture de consommation énergétique du bâtiment

(Source : Auteur, 2017)

Conclusion

Les performances thermiques des enveloppes de bâtiments dépendent fortement des gains solaires et des échanges thermiques à travers les parois opaques et les parois vitrées, il est impératif de concevoir une enveloppe et des ouvertures performantes l'année entière été comme hiver.

Ce chapitre nous a permis de tester les performances thermiques de l'enveloppe d'un bâtiment administratif en étudiant son comportement thermique. On a traité les effets des conditions climatiques extérieures (radiations solaires, température de l'air) sur la consommation énergétique et le confort thermique situés dans une zone aride (la ville de Biskra), afin d'intégrer une façade dynamique comme un moyen de contrôle solaire pour accroître l'efficacité énergétique du même bâtiment, en exploitant la conception paramétrique par le logiciel Rhino/Grasshopper. Le but principal étant d'atteindre les objectifs visés au départ de la recherche, et de réviser en parallèle les hypothèses préalablement établies. Les résultats paraissent parfois très logiques et conformes à nos hypothèses.

Les résultats retenus de l'investigation de la période estivale ont déterminé des températures intérieures et des consommations énergétiques trop élevées. Les occupants trouvent même que l'ambiance thermique est plutôt inconfortable pratiquement toute la journée de travail en cette saison. La variation de la température intérieure des différents espaces a pour cause la variation de la puissance incidente de la radiation solaire sur les parois verticales, la transmission par rayonnement direct à travers les façades quasiment vitrées orientées sud, est et ouest.

Il ressort alors que le rôle de l'enveloppe architecturale est prépondérant dans la création du confort hygrothermique et la régulation de températures intérieures. Son impact est aussi déterminant dans la consommation énergétique, surtout l'été pour la climatisation.

Dans le but d'améliorer l'ambiance thermique et la consommation énergétique de ce bâtiment, on procède dans le chapitre suivant à une simulation après l'intégration d'une deuxième peau intelligente et dynamique vis-à-vis de la trajectoire solaire et fixer leurs moments de fonctionnement après avoir déterminé la zone de surchauffe à l'intérieur du bâtiment afin d'évaluer leur effet par rapport au cas de référence.

Résultats et Interprétation

Chapitre V

Introduction :

L'adaptation au climat est une étape essentielle dans l'approche bioclimatique qui permet de réduire les consommations énergétiques, et maintenir un confort thermique acceptable dans les bâtiments. Les enveloppes classiques ont généralement des propriétés statiques, et aucune capacité d'adaptation aux changements du climat extérieur. L'utilisation des enveloppes adaptatives ou dynamiques offre une meilleure possibilité de s'acclimater aux conditions environnementales extérieures.

L'évaluation des performances énergétiques et thermiques du bâtiment étudié, a été traitée par le logiciel « Autodesk Ecotect Analysis ». Une deuxième série de simulations a été menée dans le cadre de l'évaluation de l'effet des façades dynamiques sur la consommation énergétique et le confort thermique intérieur des équipements administratifs. Ces simulations visent à montrer l'influence de l'ombrage dynamique intelligent sur le comportement énergétique et thermique des bâtiments dotés de façades vitrées. Suite aux résultats remarquables obtenus par simulation, il s'avère que la façade dynamique peut être considérée comme procédé passif de rafraîchissement.

Le fonctionnement de la façade intelligente est dépendant directement de la trajectoire solaire et de la période de surchauffe intérieure horaire annuelle du bâtiment. L'étude comparative des deux façades, sans système d'ombrage et avec le système d'ombrage dynamique fait apparaître un écart de performance qui permet d'envisager une solution optimale répondant à la norme de confort thermique.

V.1. Définition paramétrique du dispositif d'ombrage dynamique :

Des études récentes ont montré que la conception et le contrôle appropriés de fenêtrage et l'ombrage pourrait réduire considérablement la charge de refroidissement élevée et la consommation d'énergie pour l'éclairage et le refroidissement, la préservation de bon état à la fois thermique et l'éclairage intérieur (Tzempelikos, 2007).

V.1.1. Design du dispositif d'ombrage :

Les dispositifs d'ombrage dynamiques permettent d'ajuster les propriétés des fenêtres et des façades aux conditions climatiques et aux besoins des occupants. Une bonne gestion de ces dispositifs peut alors minimiser les apports solaires en été – réduisant ainsi les besoins de refroidissement – tout en apportant en même temps un bon confort visuel pour les occupants.

Le dispositif d'ombrage conçu par le studio Aedas à Londres pour le projet « Al Bahar Tower » à Abu Dhabi est basé essentiellement sur un système modulaire triangulaire inspiré du Masharabia (Fig.V.1). Le panneau d'ombrage dynamique formé par un ensemble des triangles équilatéraux joints, rentrent en mouvement progressif lors de leurs expositions à la trajectoire solaire.

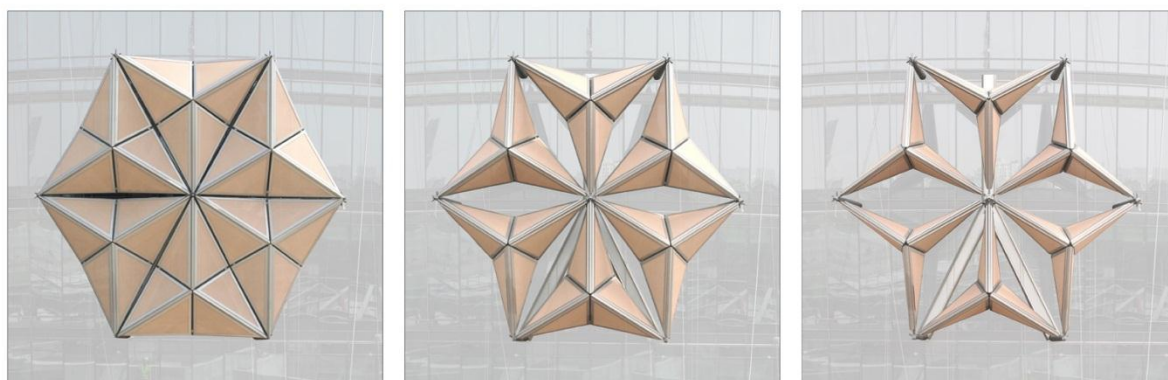


Fig.V.1 : Détail de l'écran solaire cinétique

(Source : Aedas, 2012)

Les panneaux d'ombrage s'ouvrent et se ferment comme suit :

- Fermeture totale du panneau d'ombrage quand celle-ci est exposée pleinement au soleil – 0% de rayonnement pénétrant à l'intérieur de l'édifice (Fig.V.2).
- Ouverture partielle du panneau d'ombrage quand celui-ci est exposé partiellement au soleil 25 à 50% de rayonnement pénétrant à l'intérieur de l'édifice (Fig.V.3 et V.4).
- Ouverture maximale du panneau d'ombrage quand celle-ci est à l'ombre – 100% de rayonnement pénétrant à l'intérieur de l'édifice (Fig.V.5).

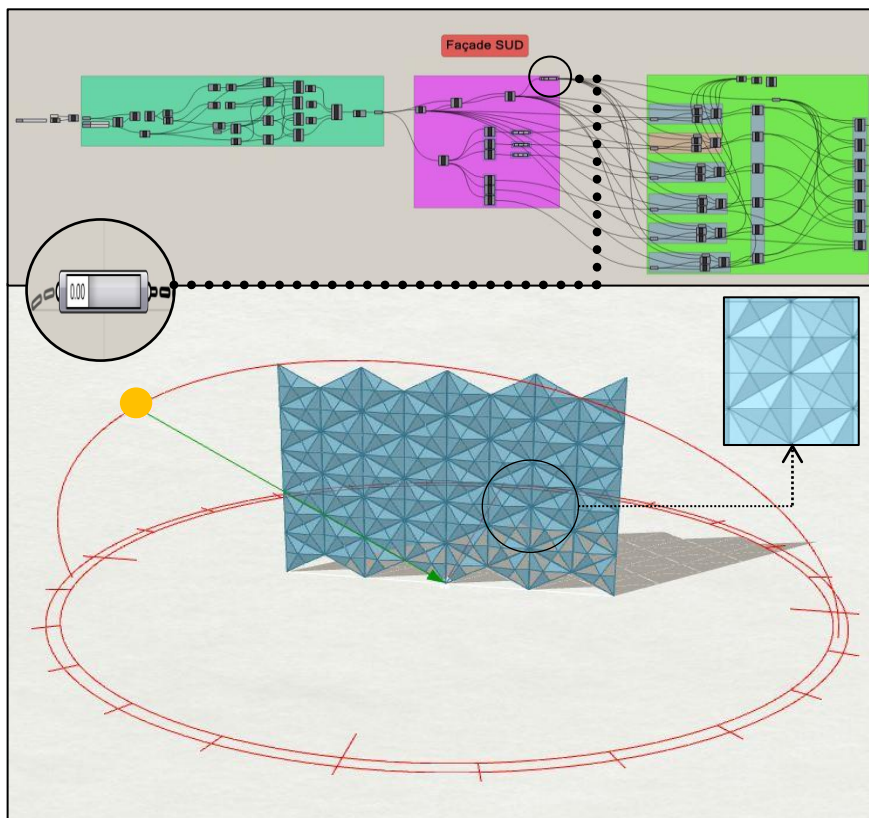


Fig.V.2 : Dispositif d'ombrage dynamique – fermeture totale
(Source : Auteur, 2017)

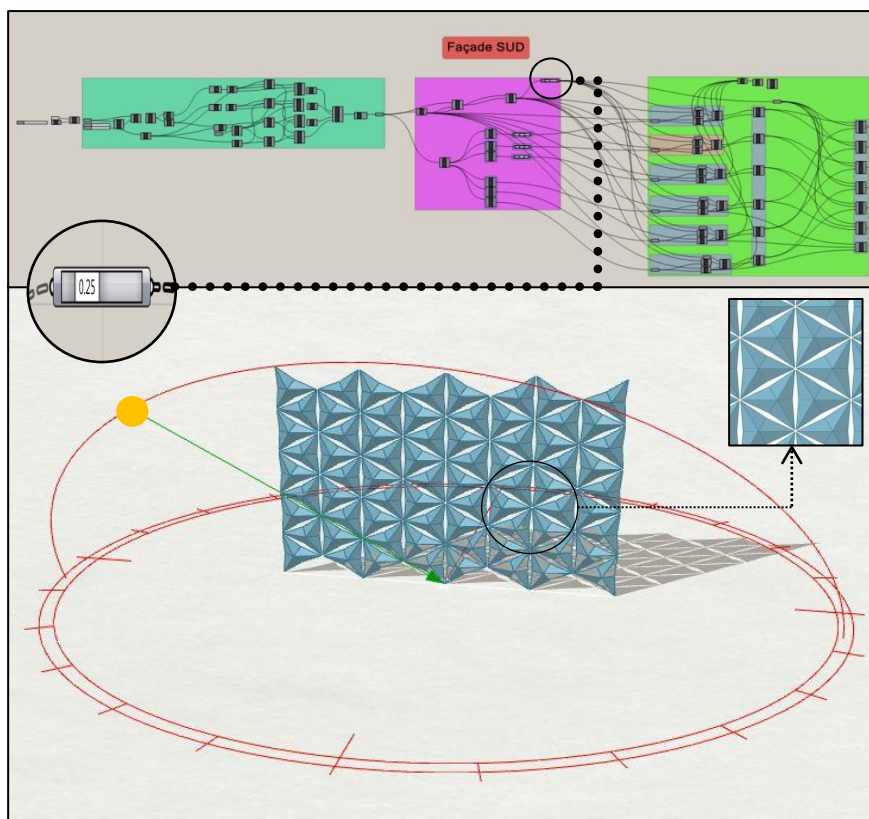


Fig.V.3 : Dispositif d'ombrage dynamique – Ouverture de 25%
(Source : Auteur, 2017)

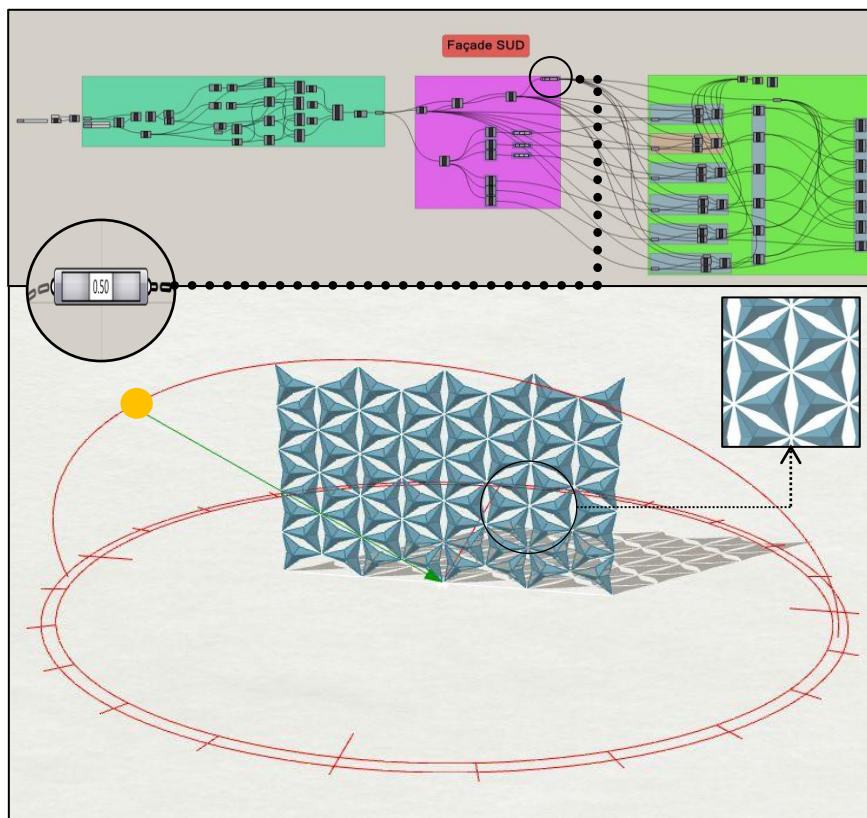


Fig.V.4 : Dispositif d’ombrage dynamique - Ouverture de 50%

(Source : Auteur, 2017)

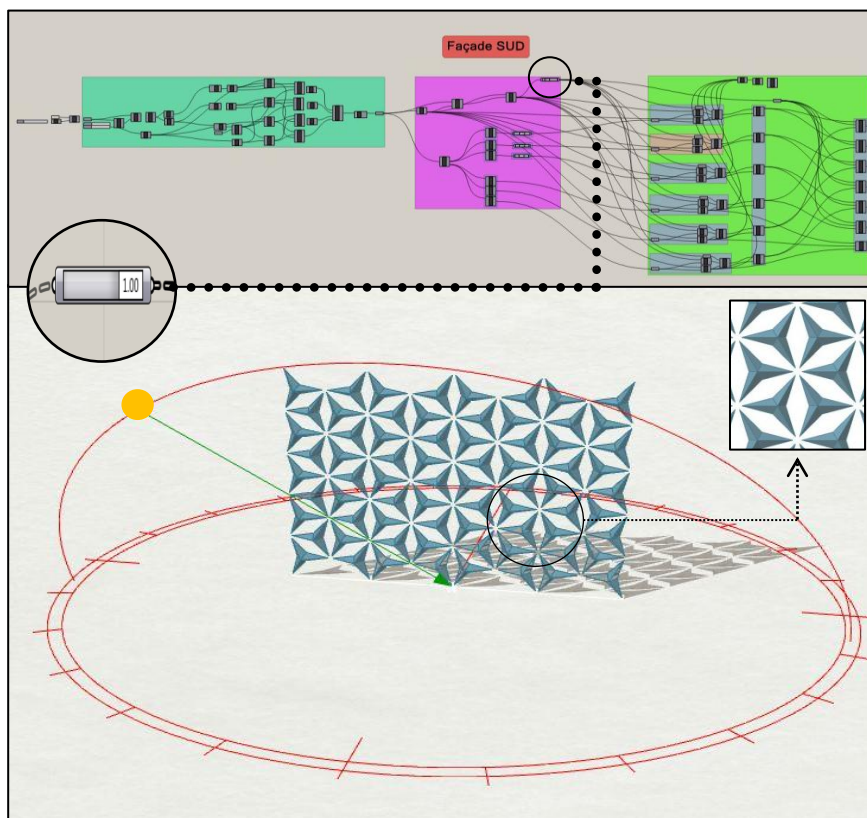


Fig.V.5: Dispositif d’ombrage dynamique – Ouverture totale

(Source : Auteur, 2017)

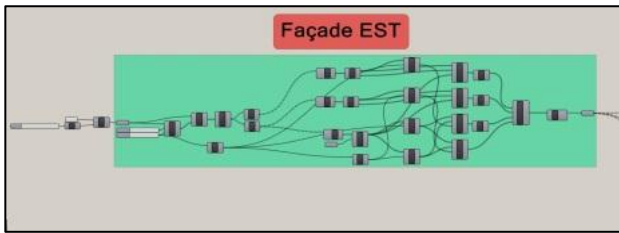
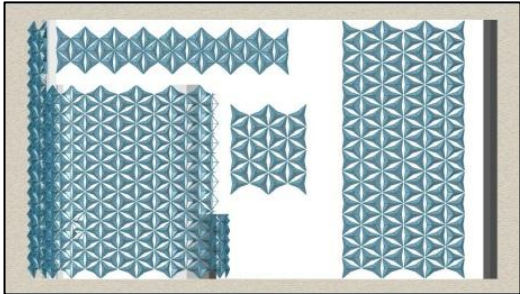
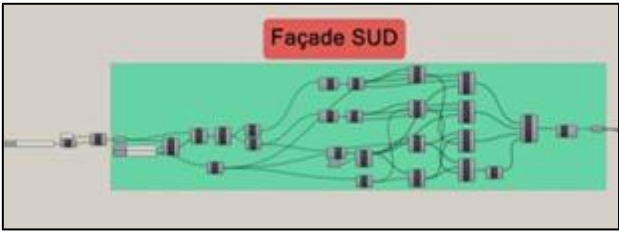
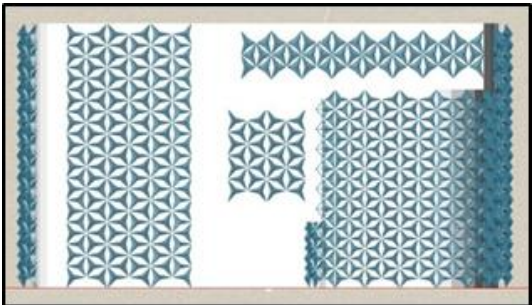
V.1.2. Modèle paramétrique du dispositif d’ombrage :

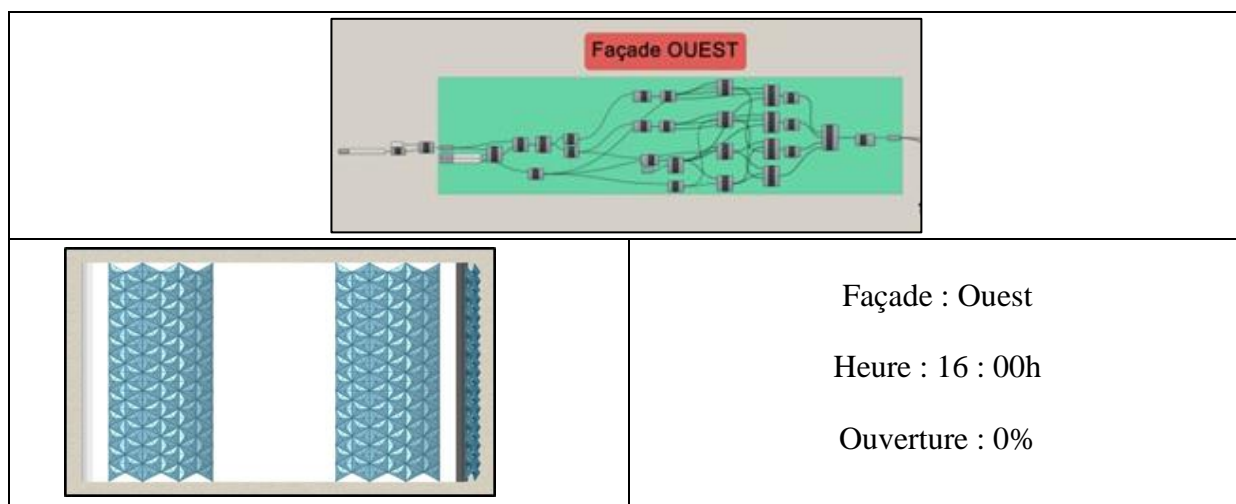
Après la proposition de la forme et la composition du dispositif d’ombrage et à l’aide de l’outil paramétrique (Grasshopper), on a défini le mécanisme tridimensionnel du système (rotation, déplacement) selon les trois axes (x, y, z) afin d’avoir une réaction continue à la trajectoire solaire.

Une fois le système d’occultation déterminé et appliqué aux trois façades vitrées : sud, Est et Ouest du bâtiment, on a programmé un système qui se ferme d’une manière graduelle selon un pourcentage défini en fonction de la trajectoire solaire. Chaque façade a son programme spécifique de mouvement qui dépend de son orientation et son exposition au soleil. (Tableau V.1), (Annexes .B.8).

Tableau V. 1 : Emplacement du dispositif d’ombrage dynamique à l’extérieur du bâtiment

(Source : Auteur, 2017)

	
	<p>Façade : Est Heure : 7 : 00h Ouverture : 25%</p>
	
	<p>Façade : Sud Heure : 10 : 30h Ouverture : 50%</p>



V.1.3. Détermination de la trajectoire solaire dans la ville de Biskra :

La trajectoire solaire étant définie, elle génère les périodes de déclenchement du dispositif. L’algorithme paramétrique adapté au programme Rhino – Grasshopper, offre aussi une solution qui permet l’intégration des données de la trajectoire solaire. Un plug-in adapté au Grasshopper nommé Geco fait le lien entre Grasshopper et Ecotect est défini comme l’outil adéquat qui permet l’importation des données climatiques de la région considérée, la géométrie solaire (trajectoire solaire, calculs des radiations solaires) et l’exportation des mesh vers Ecotect. (Fig.V.6), (Annexes .B.1).

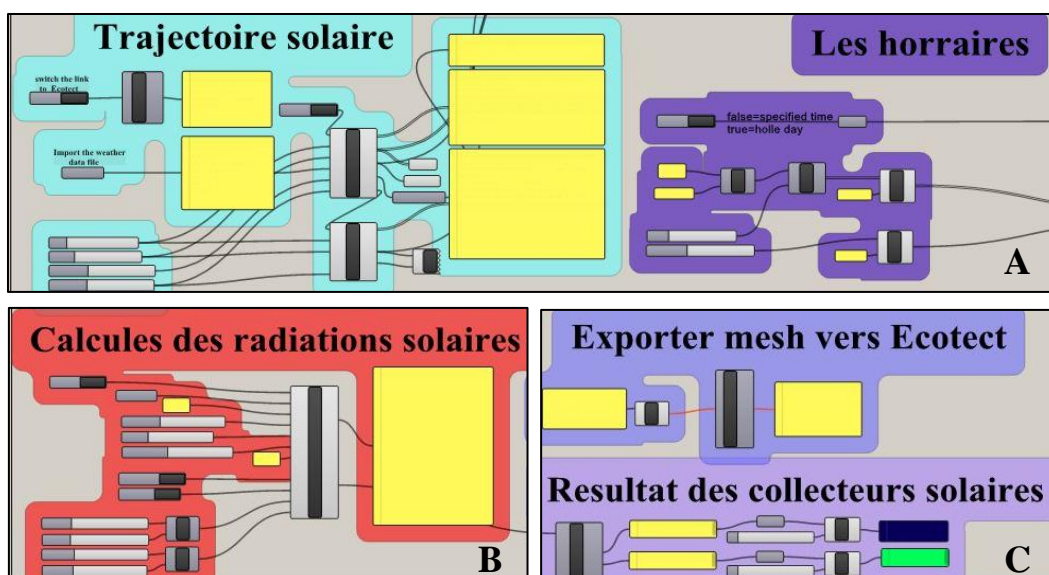


Fig.V.6: Définition paramétrique de la trajectoire solaire - Biskra

(A : la trajectoire solaire, B : Calculs des radiations Solaires, C : L’exportation des Mesh vers Ecotect

(Source : Auteur, 2017)

V.1.3.1. Programmation du dispositif d’ombrage:

Afin de programmer la réaction du dispositif pour chaque façade indépendamment, on a défini la période moyenne d’exposition au rayonnement solaire des différentes façades pour chaque mois de l’année. (Tableau V.2)

Tableau V. 2 : la période moyenne d’exposition au rayonnement solaire (Source : Auteur, 2017)

Heures	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Heures	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre
08:00	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	08:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
08:30	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	08:30	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
09:00	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	09:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
09:30	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	09:30	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
10:00	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	10:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
10:30	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	10:30	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
11:00	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	11:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
11:30	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	11:30	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
12:00	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	12:00	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%
12:30	0%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	12:30	100%	0%	0%	0%	100%	100%	100%
13:00	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	13:00	100%	100%	0%	100%	100%	100%	100%
13:30	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	13:30	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
14:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	14:00	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
14:30	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	14:30	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
15:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	15:00	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
15:30	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	15:30	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
16:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	16:00	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
16:30	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	16:30	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
17:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	17:00	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Façade Est

Façade Ouest

Heures	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre
08:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
08:30	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
09:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
09:30	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%
10:00	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%
10:30	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
11:00	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
11:30	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
12:00	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
12:30	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
13:00	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
13:30	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
14:00	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
14:30	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
15:00	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
15:30	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
16:00	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%
16:30	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%
17:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%

Entièrement exposé
Entièrement ombré

Les heures de travail (8h – 17h)

Façade Sud

V.1.4. Simulation dynamique du dispositif d'ombrage :

Dans un premier temps, nous allons simuler le dispositif d'ombrage en prenant en compte les conditions internes et en configurant les différents algorithmes paramétriques relatifs au dispositif.

V.1.4.1. Les conditions internes:

Pour cette phase de simulation, les conditions sont prises en considération pour décrire les gains d'énergie qui viennent de l'intérieur du bâtiment. Celles-ci incluent les périodes d'occupation avec des gains sensibles et latents des occupants, des gains des équipements, et des gains d'infiltration, de ventilation et d'éclairage. Les conditions intérieures du local peuvent être contrôlées par des scénarios paramétriques et en temps réel pour une application aux différentes façades. (Tableau V.3)

Tableau V. 3 : les conditions internes appliquées pour la simulation

(Source : Auteur, 2017)

Conditions internes	Valeurs
Zone de Confort	22.9 - 26.9 °C
Humidité	60 %
Vitesse de vent	0.5 m/s
Taux d'infiltration d'air	2.00 m ³ /heure
Niveau d'habillement	1 clo
Activité	70 -95 W
Niveau d'éclairage artificiel	100 — 600 lux

V.1.4.2. Configuration des algorithmes paramétriques :

Après avoir fixé le dispositif d'ombrage dynamique, la programmation de fonctionnement et les conditions internes, on a entamé la dernière phase qui est la simulation dynamique basée sur un algorithme édité sous Grasshopper (Fig.V.7). Ce dernier nous a permis par le biais des

différents plug-ins ; entre autre *Geco*, *Bumblebee* ; qu'il contient de collecter, traiter et d'exporter les inputs vers Ecotect et Excel d'une manière interactive en temps réel.

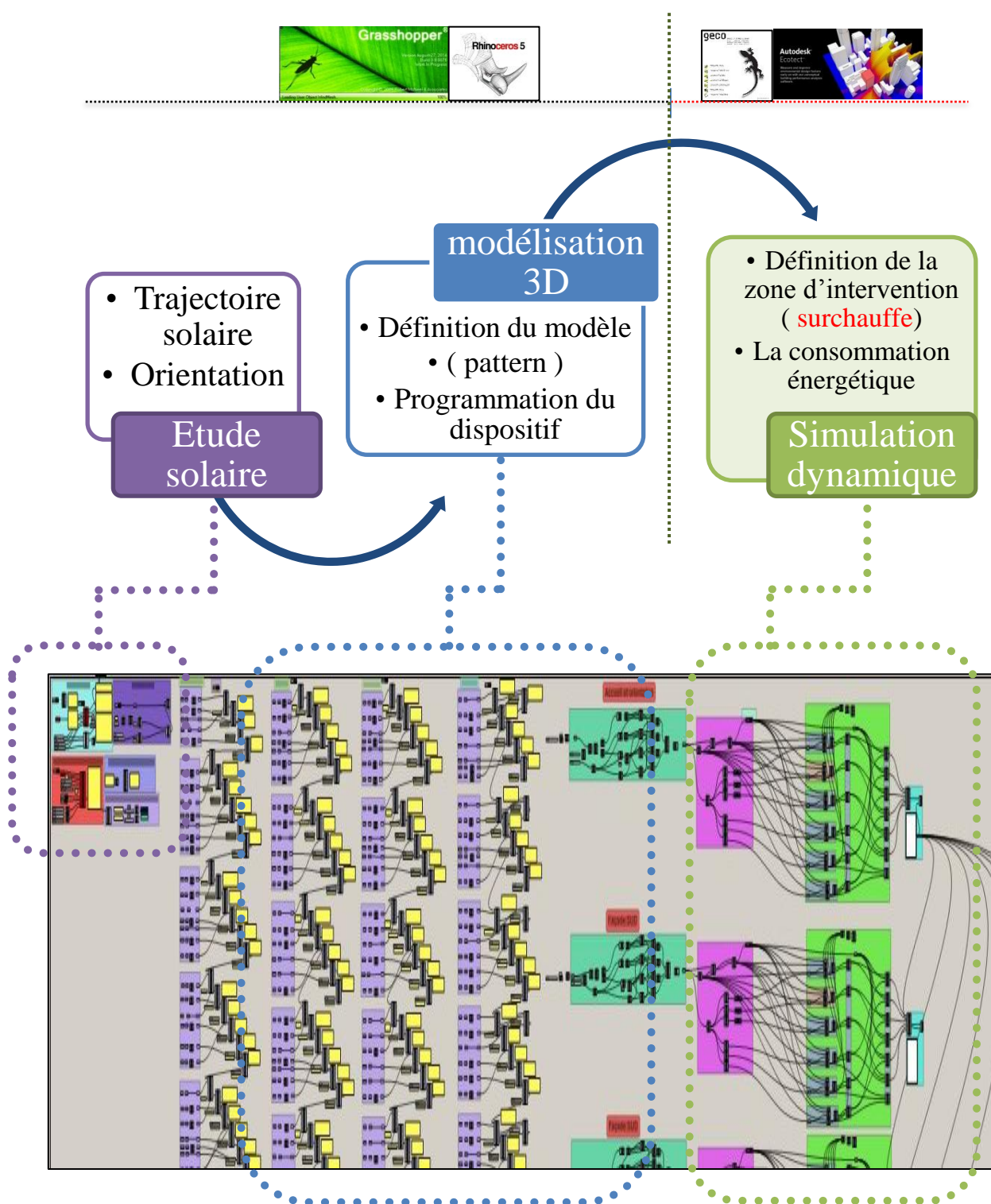


Fig.V.7 : Structure de l’algorithme édité sous Grasshopper

(Source : Auteur, 2017)

Après avoir importé les inputs de Grasshopper qui sont : la géométrie du bâtiment, le dispositif la configuration des différentes zones thermiques, Ecotect effectuera la simulation thermique et énergétique et les résultats seront à nouveau exportés vers Grasshopper (Fig.V.8).

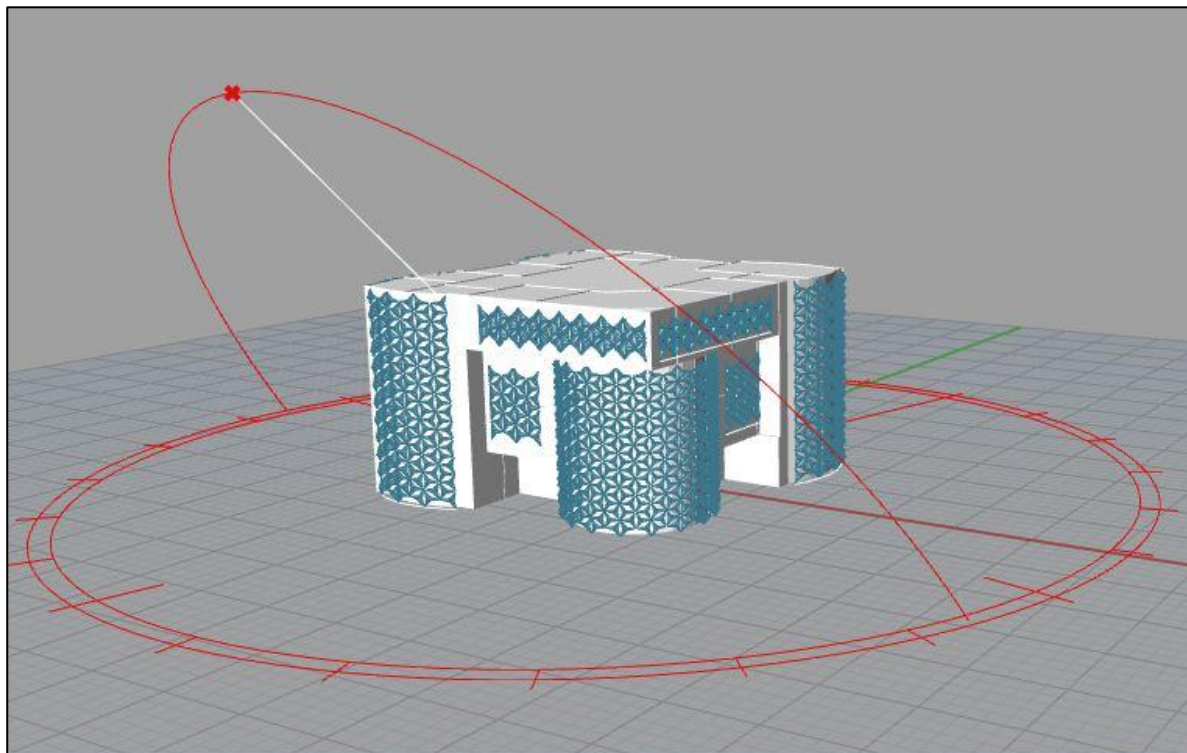


Fig.V.8 : Géométrie du bâtiment importée sur le logiciel Rhinoceros

(Source : Auteur, 2017)

V.1.5. Intégration des panneaux photovoltaïques :

Il est impératif pour chaque concepteur de déterminer l'influence des dispositifs qu'il emploie dans la conception du bâtiment sur le facteur énergétique. La façade, étant l'espace d'interaction principal avec l'environnement extérieur, représente l'élément principal influençant le confort thermique, et visuel des espaces intérieurs. Un traitement adéquat de la façade peut avec certains dispositifs passifs, réduire la consommation énergétique, et augmenter le niveau de confort thermique. Néanmoins, il est impératif, dans le cas de bâtiments administratifs, d'offrir un niveau d'exposition optimale aux rayons solaires, pour assurer un confort visuel adéquat.

Dans cette étude, l'emploi du système à caractère d'ombrage dynamique est dépendant d'une source énergétique continue tout au long de la journée.

Afin d'optimiser la consommation énergétique, et assurer un confort visuel et thermique adaptés aux espaces exposés au rayonnement, une intégration des panneaux photovoltaïques sur les dispositifs d'ombrage a été proposée (Fig.V.9). La faible transmittance de ces panneaux, ainsi que leurs gammes de rendu de couleur variable, pourrait garantir un confort visuel optimal dans ces espaces, dans une marge normalisée entre 300 et 500 lux (P. Burberry, 1997). Cette initiative pourra offrir dans un second ordre, une autonomie de ce dispositif, avec une possibilité d'alimentation partielle du bâtiment.



Fig.V.9 : Différents types de panneaux photovoltaïques semi-transparents
(Source : <http://www.solar-constructions.com>)

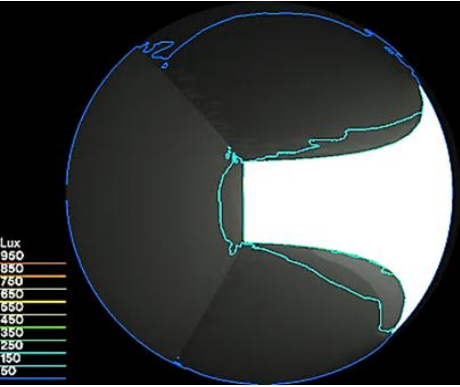
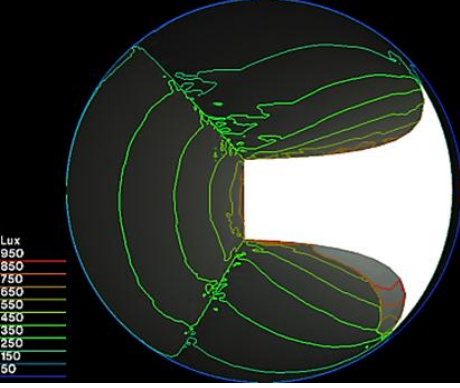
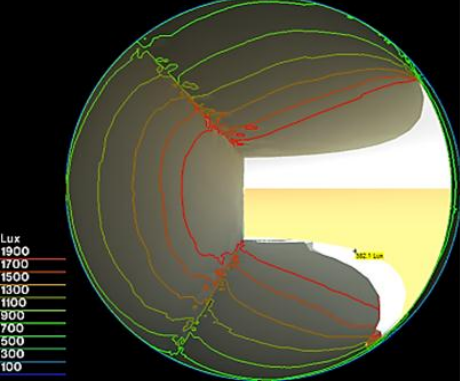
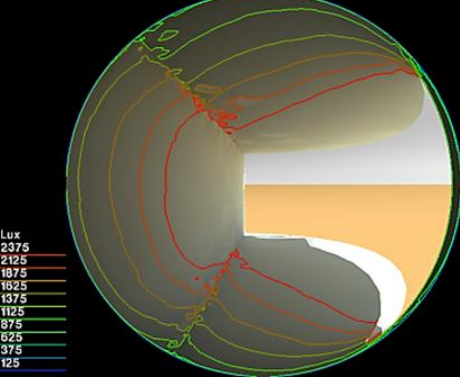
V.1.5.1. Détermination du facteur de transmission lumineuse :

Le facteur de transmission lumineuse TL traduit la capacité d'une paroi vitrée à transmettre la lumière naturelle à l'intérieur d'une pièce. C'est le rapport entre la lumière totale transmise à travers la baie, et la lumière incidente. Il est compris entre 0 et 1 (plus il est proche de 1, plus la transmission est importante (Liebard, et de herde, 2005).

Dans l'objectif d'assurer plus de confort visuel aux espaces intérieurs de travail, une étude a été menée à l'aide de l'extension Radiance du logiciel Ecotect. Nous avons donc simulé quatre cas de changement de transmittance lumineuse dont les résultats sont indiqués dans le tableau V. 4.

Tableau V. 4 : Résultats de taux d'éclairage d'un bureau de travail

(Source : Auteur, 2017)

Cas de simulation	Description
	<p style="text-align: center;">Cas : 1</p> <p style="text-align: center;">Transmittance lumineuse : 0.1 Eclairage intérieur : < 250 Lux</p>
	<p style="text-align: center;">Cas : 2</p> <p style="text-align: center;">Transmittance lumineuse : 0.2 Eclairage intérieur : 350 < X < 550 Lux</p>
	<p style="text-align: center;">Cas : 3</p> <p style="text-align: center;">Transmittance lumineuse : 0.3 Eclairage intérieur : 700 < X < 1900 Lux</p>
	<p style="text-align: center;">Cas : 4</p> <p style="text-align: center;">Transmittance lumineuse : 0.4 Eclairage intérieur : 1125 < X < 2375 Lux</p>

Le premier cas indiquant des valeurs inférieures à 250 Lux est inadapté, de même pour le troisième (entre 700 et 1900 Lux) et le quatrième cas (entre 1125 et 2375 Lux) où les valeurs sont largement supérieures aux valeurs requises. Notre dispositif devant assurer, comme déjà mentionné une valeur d'éclairage oscillant entre 300 et 500 lux sur le plan de travail, est obtenu par le biais du deuxième cas, qui tend vers 0,2 et qui représente la valeur optimale pour accomplir les différentes tâches dans ces bureaux.

V.2. Résultats de simulation considérant la façade dynamique :

La façade dynamique est capable de s'adapter aux besoins de confort, des occupants et d'anticiper les besoins énergétiques du bâtiment, nos simulations ont donc permis de constater l'influence de cette façade dynamique sur les performances thermiques et lumineuses du bâtiment.

V.2.1. Radiations solaires directes :

Dans les milieux arides, le rayonnement solaire représente la caractéristique la plus importante à prendre en considération lors de la conception architecturale ou urbanistique du fait que les radiations solaires directes sont intenses sur les façades et sur le toit.

Avant l'intégration du système de protection solaire dynamique, nous avons constaté une forte radiation solaire directe incidente, sur les trois façades exposées Sud, Est, et Ouest. Les valeurs de radiations sont comprises entre 1200 Wh/m² jusqu'à 3200 Wh/m². (Fig.V.10)

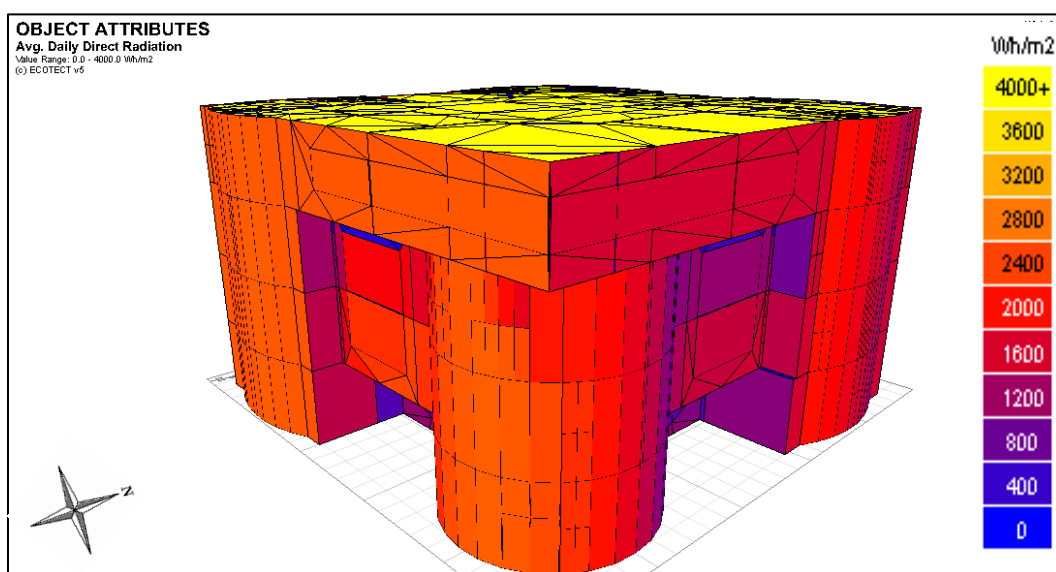


Fig.V.10: Moyenne journalière cumulée des radiations directes incidentes [A : Sans protection solaire]

(Source : Auteur, 2017)

Ces valeurs des radiations excessives ont connu une diminution remarquable avec le dispositif d'ombrage de l'ordre de 400 à 1000 Wh/m² (Fig.V.11) et cela sur les trois façades (Est, Ouest, Sud) de l'édifice. Ceci correspond à une diminution de 35 % des radiations solaires directes et qui prouve l'efficacité de ce dispositif d'ombrage dans un tel climat.

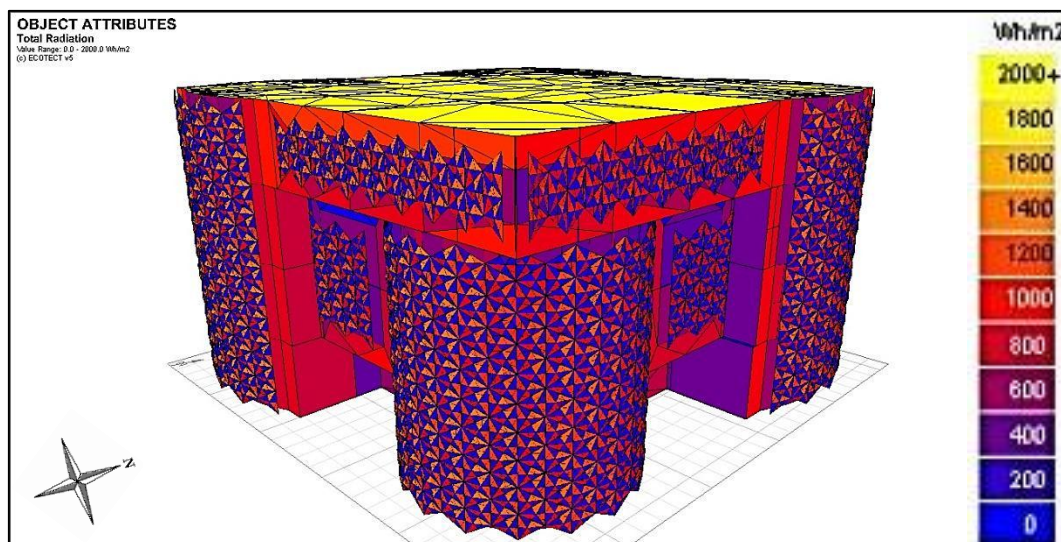


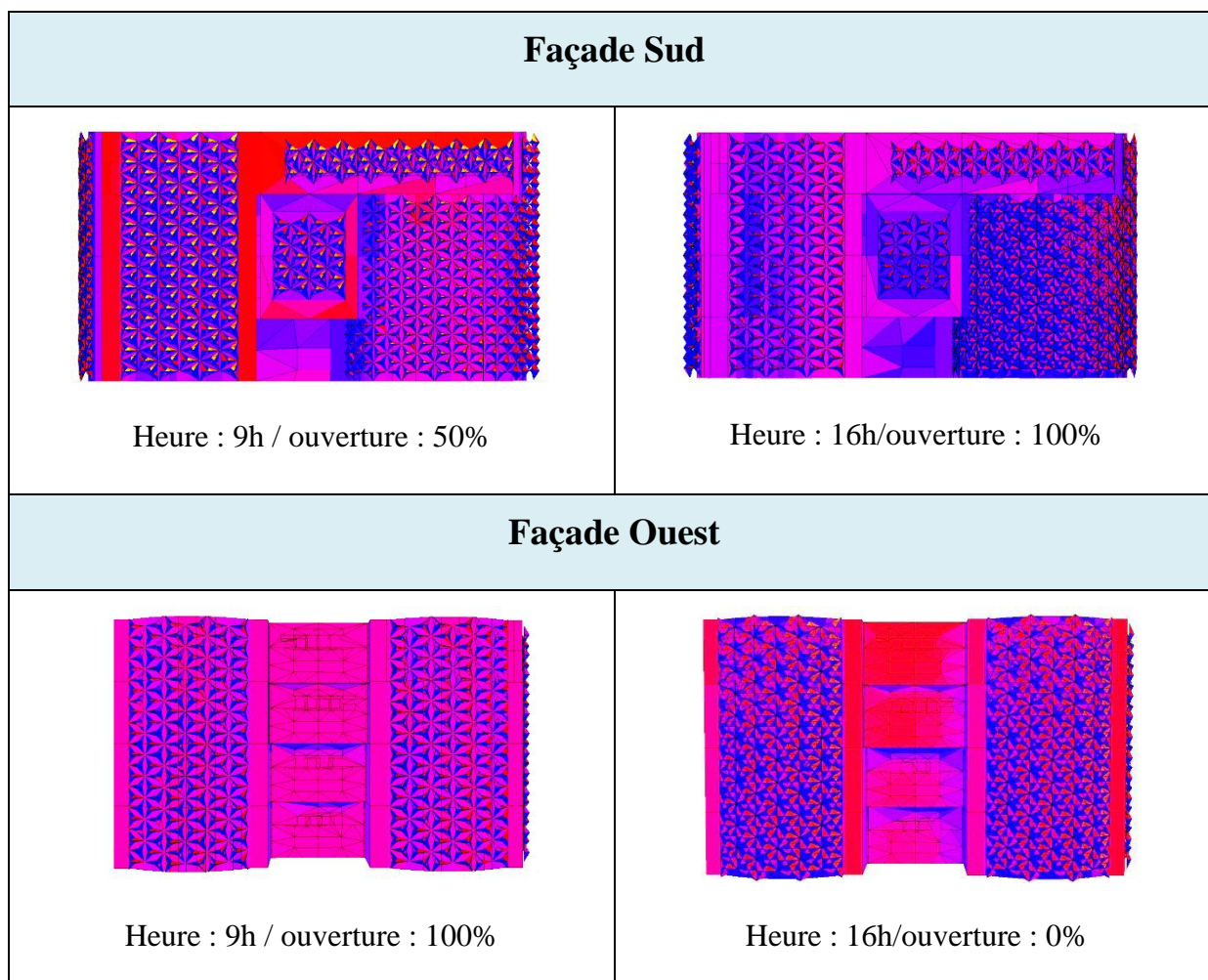
Fig.V.11: Moyenne journalière cumulée des radiations directes incidentes [B : Avec protection solaire]

(Source : Auteur, 2017)

Selon chaque orientation, l'ouverture du dispositif a été évaluée aux heures suivantes : 09 et 16 heures. Le matin, ouverture préalable à 0% à l'est, à 50% au sud et 100% à l'ouest. Quant à l'après-midi, l'ouverture est totale à l'est et au sud (100%) par contre elle est quasiment nulle l'ouest, le dispositif est complètement fermé.

Tableau V. 5 : Simulation des radiations solaires des différentes façades du bâtiment (Source : Auteur)

Façade Est	
Heure : 9h / ouverture : 0%	Heure : 16h/ouverture : 100%



Ces résultats rejoignent ceux de Figliola et Rossi en 2014, qui ont trouvé qu'en utilisant un mécanisme de protection solaire dynamique on pourra avoir une réduction significative des radiations directes reçues par une surface extérieure verticale.

V.2.2. Résultats des des apports solaires :

La bonne conception des bâtiments et la mise en place des composants de conception appropriés, permettent de faire bénéficier les bâtiments des apports solaires sans que ces derniers ne constituent une gêne supplémentaire et une source de consommation d'énergie.

Ces apports solaires étant intensifs en période estivale à Biskra, le graphe ci-dessous (Fig.V.12) indique un pourcentage annuel des gains solaires équivalents à **55.8 %** des gains totaux, et cela reste presque stable tout au long de l'année.

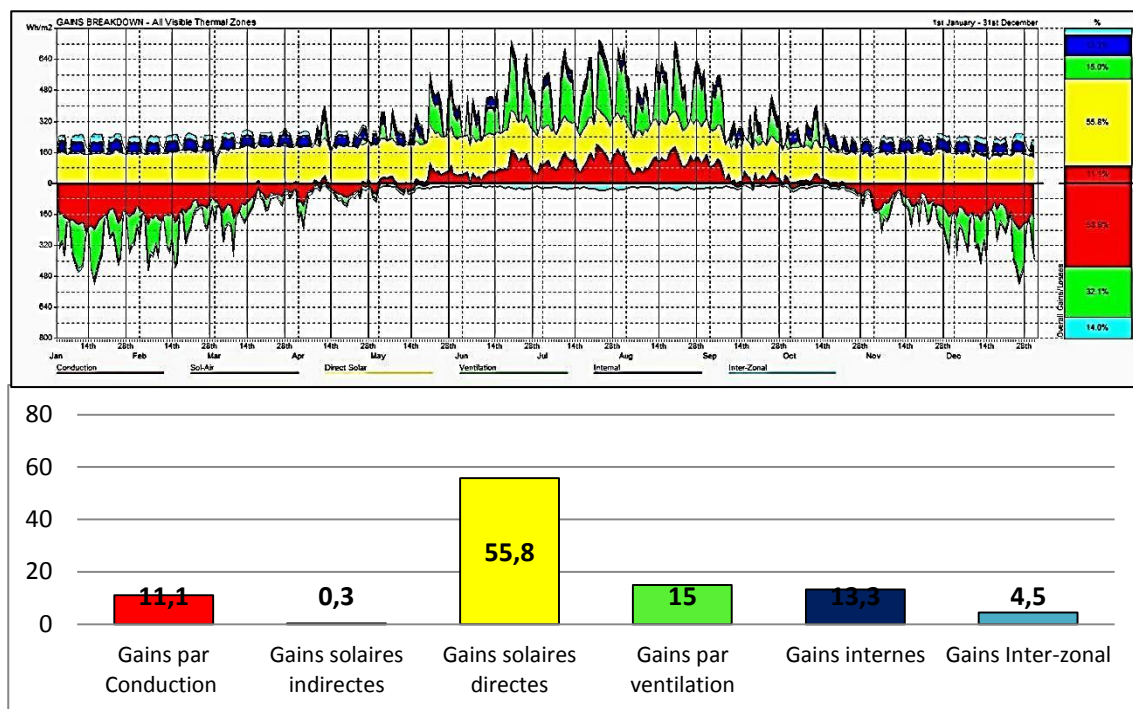


Fig.V.12 : les apports solaires annuels du bâtiment (sans protection solaire)

(Source : Auteur, 2017)

Tandis qu’avec l’intégration de notre système de protection, ces gains ont connu une diminution importante de l’ordre de **19,4 %** pour obtenir des gains solaires annuels représentant seulement **36,4 %** des gains totaux (Fig.V.13).

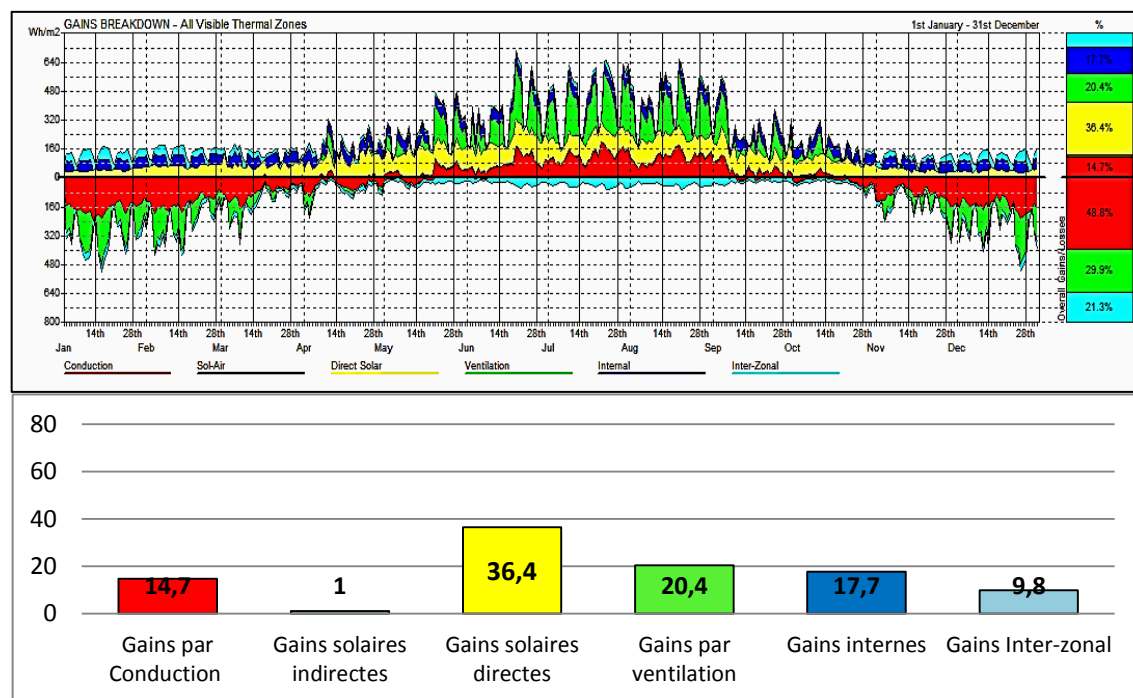


Fig.V.13 : Apports solaires annuels du bâtiment (avec protection solaire)

(Source : Auteur, 2017)

Cette réduction annuelle semble être significative et efficace durant la période estivale, qui s'étend du mois d'Avril jusqu'au mois d'Octobre et qui a fait l'objet de cette étude, mais cela n'empêche pas de signaler son effet négatif marqué par l'obtention des valeurs très minimales pour la période hivernale à cause de l'ombre générée par la structure de notre système.

Cette conclusion affirme les résultats des différents travaux faits par (Hodder et Parsons, 2006 ; Tifkowski et al. 2010 ; Hoffmann, Jedek et Arens, 2012), qui ont confirmé que les protections solaires dynamiques qui s'ajustent aux divers angles solaires diurnes et saisonniers permettent la diminution des gains de chaleur solaire pendant les mois d'été tout en optimisant les vues vers l'extérieur.

V.2.3. Comportement thermique du bâtiment :

Les bâtiments à caractère administratif en Algérie fonctionnent, généralement, d'une manière régulière limitée de 8 :0 h jusqu'à 17 :0 h. Notre intervention devra couvrir la période estivale, et aura lieu au niveau des périodes de surchauffes indiquées à partir du mois d'avril jusqu'au mois d'octobre, durant les heures de travail, avec une température de confort minimale limite de 26,9 °C.

Comme décrit dans le chapitre précédent, la température devient hors zone de confort pendant la période estivale, et s'étend du mois d'avril jusqu'au mois d'octobre, et atteint une température maximum de 42 °C à l'intérieur du bâtiment au mois de Juillet. Les fluctuations de températures dans le cas initial sont importantes, et la zone de surchauffe est quasi omnipotente pendant toutes les périodes mentionnées ;

- La période de surchauffe est présente pendant toutes les heures de travail pendant les mois d'avril, mai, juin, septembre et octobre
- Une surchauffe est présente pendant toute la journée pendant les mois de juillet et d'aout.

Après l'application des dispositifs à ombrage dynamique sur toute la partie vitrée du bâtiment d'étude, on peut remarquer (Tableau V.6), suite à une comparaison entre les deux tableaux, que la zone de surchauffe est optimisée.

Cette application a résulté en une réduction de la zone de surchauffe ; elle est limitée à la période qui s'étend du mois de mai jusqu'au mois d'octobre, avec une surchauffe journalière durant les heures de travail. La température maximum modérée après cette intervention est de

38 °C, donc un gain de -4 °C à -4,8 °C de la température initiale du cas d'étude, un mois sans zone de surchauffe [le mois d'avril] et de ce fait, 360 heures de travail sans climatisation.

Tableau V. 6 : Zones de surchauffes du bâtiment (Sans et avec protection extérieure) (Source : Auteur)

mois/heure	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
00:00	8,1	10,2	14,8	18,5	23,0	27,2	31,7	30,9	25,0	21,3	13,6	9,4
01:00	8,0	10,1	14,6	18,4	22,3	26,4	31,4	30,6	24,8	21,3	13,5	9,3
02:00	7,9	9,9	14,5	18,3	22,0	26,1	31,1	30,4	24,2	21,1	13,3	9,2
03:00	7,8	9,8	14,4	18,2	22,0	25,8	31,0	29,6	24,1	21,1	13,3	9,1
04:00	7,7	9,8	14,3	18,1	22,1	25,8	30,4	29,5	24,1	21,1	13,2	9,0
05:00	7,6	9,7	14,2	18,1	22,0	25,6	30,3	29,5	24,4	21,0	13,1	9,0
06:00	7,6	9,6	14,2	18,9	25,3	29,8	34,9	31,2	24,8	21,0	13,1	8,9
07:00	7,5	9,6	17,2	22,7	28,7	34,0	38,6	36,3	28,1	23,6	13,2	8,9
08:00	12,2	14,2	21,2	25,6	30,9	36,1	41,0	39,3	31,4	26,3	18,8	14,1
09:00	16,3	18,4	23,6	26,9	32,0	36,8	42,0	40,7	33,5	28,3	22,9	17,9
10:00	18,8	20,6	24,9	27,5	32,5	37,3	41,9	41,2	34,5	30,2	24,8	20,1
11:00	20,4	21,7	25,3	27,7	32,2	36,6	41,5	41,1	34,6	31,1	26,2	21,3
12:00	20,9	22,0	26,0	28,3	31,5	35,9	40,3	40,7	34,6	31,5	26,4	21,6
13:00	20,7	22,2	26,2	28,3	30,9	35,5	39,5	40,2	34,3	31,0	26,7	21,4
14:00	21,4	23,1	27,2	29,0	31,6	36,2	40,4	40,6	34,6	31,2	27,2	21,8
15:00	20,4	22,5	27,1	29,1	31,7	36,2	40,8	40,5	34,3	30,4	25,6	20,4
16:00	16,5	20,1	25,4	27,9	31,0	35,7	40,4	39,6	33,1	28,6	21,9	17,0
17:00	10,5	15,5	21,7	25,1	29,2	33,8	38,2	37,1	30,3	24,8	15,8	11,3
18:00	9,7	11,8	17,2	21,8	27,4	32,0	35,9	34,5	27,3	23,4	15,0	10,8
19:00	9,4	11,5	16,6	19,9	25,6	29,5	33,1	32,1	27,0	23,0	14,6	10,5
20:00	9,2	11,3	16,1	19,6	25,0	29,1	32,7	31,8	26,7	22,5	14,4	10,4
21:00	9,0	11,1	15,7	19,5	24,7	28,8	32,4	31,6	26,2	22,0	14,2	10,2
22:00	8,8	10,9	15,4	19,1	24,3	28,4	32,1	31,3	25,6	21,7	14,1	10,0
23:00	8,3	10,4	15,0	18,8	23,7	28,2	32,0	31,2	25,2	21,4	13,7	9,6

mois/heure	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
00:00	8,1	10,2	14,8	18,5	23,0	27,2	26,9	26,7	25,0	21,3	13,6	9,4
01:00	8,0	10,1	14,6	18,4	22,3	26,4	26,8	26,4	24,8	21,3	13,5	9,3
02:00	7,9	9,9	14,5	18,3	22,0	26,1	26,7	26,4	24,2	21,1	13,3	9,2
03:00	7,8	9,8	14,4	18,2	22,0	25,8	26,6	25,6	24,1	21,1	13,3	9,1
04:00	7,7	9,8	14,3	18,1	22,1	25,8	26,4	25,4	24,1	21,1	13,2	9,0
05:00	7,6	9,7	14,2	18,1	22,0	25,6	26,3	25,5	24,4	21,0	13,1	9,0
06:00	7,6	9,6	14,2	18,9	25,3	25,8	30,9	28,1	24,8	21,0	13,1	8,9
07:00	7,5	9,6	17,2	22,7	25,7	30,0	34,6	31,3	26,1	23,6	13,2	8,9
08:00	12,2	14,2	21,2	24,6	26,5	32,1	37,0	34,8	27,4	26,3	18,8	14,1
09:00	16,3	18,4	23,6	21,9	28,0	32,8	38,0	36,5	29,5	26,0	22,9	17,9
10:00	18,8	20,6	24,9	23,7	28,3	33,3	37,8	37,2	30,1	26,2	24,8	20,1
11:00	20,4	21,7	25,3	23,6	28,1	32,6	37,5	37,1	30,3	27,1	26,2	21,3
12:00	20,9	22,0	26,0	24,1	27,4	31,9	36,3	36,4	30,5	27,5	26,4	21,6
13:00	20,7	22,2	26,2	24,0	26,9	31,5	35,8	36,2	30,3	27,0	26,7	21,4
14:00	21,4	23,1	27,2	24,6	27,3	32,2	36,4	36,7	30,7	27,2	27,2	21,8
15:00	20,4	22,5	27,1	24,3	27,0	32,2	36,5	36,5	33,1	26,4	25,6	20,4
16:00	16,5	20,1	25,4	23,7	26,8	31,7	36,4	35,1	29,6	24,6	21,9	17,0
17:00	10,5	15,5	21,7	24,1	25,1	29,8	34,1	33,1	26,7	22,8	15,8	11,3
18:00	9,7	11,8	17,2	21,8	25,0	28,0	31,5	30,3	24,4	22,4	15,0	10,8
19:00	9,4	11,5	16,6	19,9	24,7	26,5	29,8	28,1	25,1	22,0	14,6	10,5
20:00	9,2	11,3	16,1	19,6	24,4	26,1	28,5	27,7	26,6	22,5	14,4	10,4
21:00	9,0	11,1	15,7	19,5	24,0	26,8	28,3	27,5	26,2	22,0	14,2	10,2
22:00	8,8	10,9	15,4	19,1	23,9	26,4	28,1	27,3	25,6	21,7	14,1	10,0
23:00	8,3	10,4	15,0	18,8	23,7	27,2	27,1	27,2	25,2	21,4	13,7	9,6

 Hors les heures de travail  Pendant les heures de travail

V.2.3.1. Comparaison de la température intérieure :

Dans les graphes (Fig.V.14), une comparaison des températures est établie pour les journées expérimentales. Le profil des températures durant ces journées sans protection évolue parallèlement à celui des températures avec protection, présentant des pics aux mêmes horaires (à 10 ou 11 heures dans la majorité des cas). Néanmoins l'amplitude entre les deux courbes peut atteindre jusqu'à 5°C, ce qui est considérable et très significatif dans la performance énergétique du bâtiment.

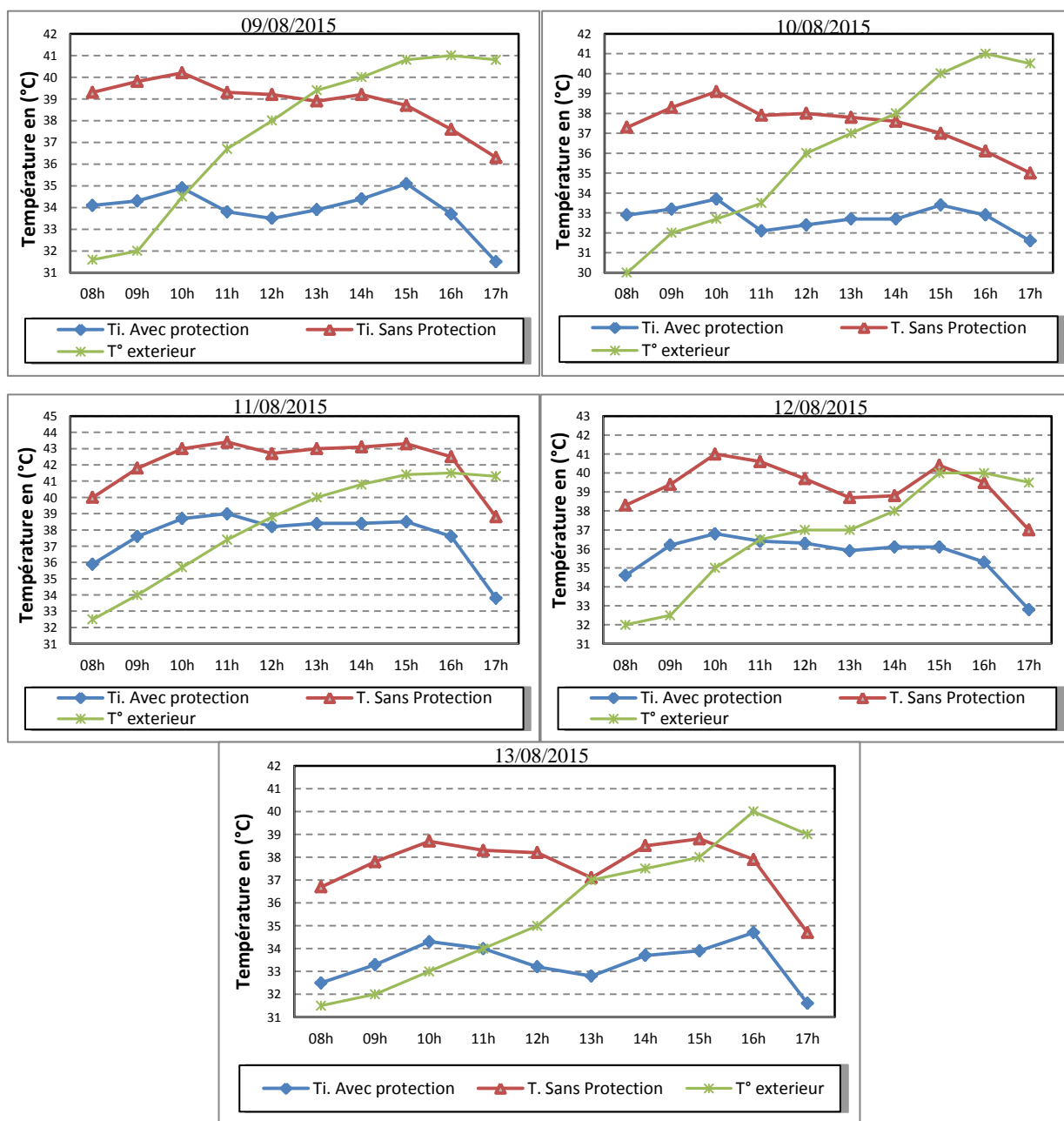


Fig.V.14 : Comparaison de la température intérieure (Sans et avec protection extérieure)
 Au RDC (Hall) Du 09 au 13/08/2015 (Source : Auteur)

Il est à noter que, malgré l'application de ce système visant à minimiser la période de surchauffe, en protégeant le bâtiment des radiations solaires intenses qui caractérisent le climat sec et aride local, il n'a pas été possible d'éliminer toute la période de surchauffe. Ce déficit négligeable tient de l'absence du couplage de ce dispositif à d'autres stratégies de refroidissement passif ou actif.

V.2.4. Consommation énergétique du bâtiment :

La consommation énergétique présentée dans les résultats précédents évolue considérablement en début de mois d'avril pour atteindre son apogée aux mois de juillet et août avec une pointe de 22 955 KW, et diminue graduellement jusqu'à atteindre une valeur nulle au début du mois de novembre.

Après la simulation effectuée sur les deux cas, avec et sans protection solaire (Fig.V.15), on remarque une diminution importante de la consommation énergétique du bâtiment.

Le bâtiment existant, avec sa configuration actuelle dépourvue de protection solaire, affiche une consommation évoluant en courbe exponentielle : 1000 kW pendant la période hivernale, atteignant son apogée pendant la période estivale (25 000 kW au mois d'août), et redescendant à des valeurs minimales au mois de Novembre.

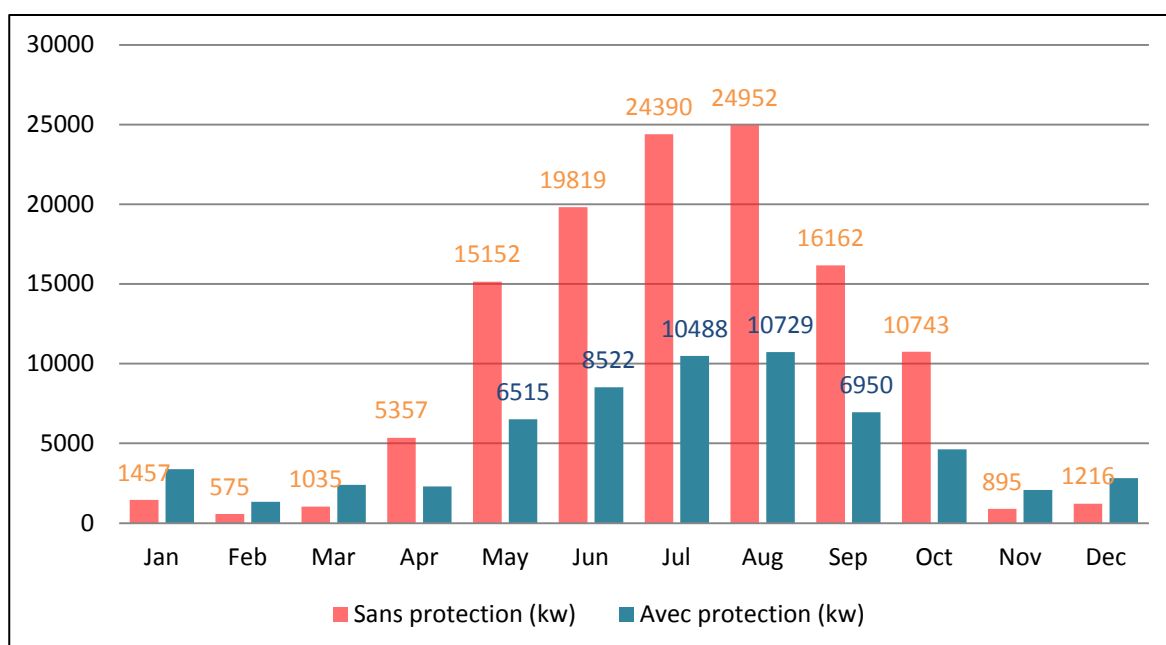


Fig.V.15 : Consommation énergétique annuelle du bâtiment

(Source : Auteur, 2017)

Cependant, et suite à l'application de la protection solaire dynamique, la modération dans la consommation énergétique est maintenue à son paroxysme. La consommation est minimale au mois de Février, avec 2000 kW, et évolue graduellement pour atteindre 11 000 kW au mois d'Aout, et finalement réduite à 3000 kW au mois de novembre.

La comparaison entre les deux courbes, présente une diminution de 43 %, de la consommation énergétique pendant la période estivale. Cependant, la consommation est doublée pendant la période hivernale, mais elle reste néanmoins, avec ce compromis négligeable, modérée, et offre un bâtiment énergétiquement efficace.

On peut qualifier nos résultats de meilleurs par rapport aux études précédentes établies par de nombreux chercheurs, notamment ceux de Batool & Elzeyadi, 2014 qui ont appliqué un système d'ombrage dynamique dans un climat chaud et aride avec l'obtention de 20 à 38,5 % de réduction de ces mêmes consommations. Ceux de Palmero-Marrero & Oliveira, 2009 avec une réduction de 8,9 % à 20 %. Et d'une façon moins austère, Hammad et Abu-hijleh en 2010 ont obtenu une différence de 5 à 14 % en économie d'énergie consommée.

V.2.5. Production de l'électricité par les panneaux photovoltaïques :

Le système proposé permet aussi une génération d'électricité qui peut assurer une autonomie fonctionnelle de la façade dynamique. La production d'électricité par les panneaux photovoltaïques est supérieure à la demande du dispositif d'ombrage dynamique, ce qui permet son stockage et sa réutilisation.

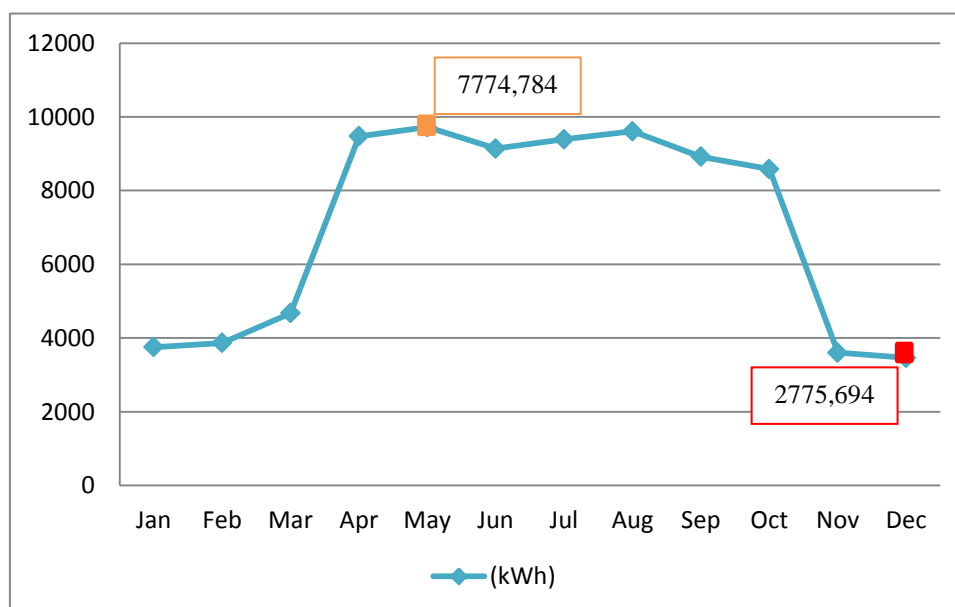


Fig.V.16 : Production mensuelle de l'électricité par les PV intégrés

(Source : Auteur, 2017)

Konstantoglou et al. en 2013, ont examiné les avantages des panneaux photovoltaïques intégrés dans les façades dynamiques et leurs apports énergétiques pour le bâtiment. Ils ont conclu que les stores automatisés avec des photovoltaïques (PV) intégrés sont très bénéfiques dans le cas d'une grande surface de vitrage.

Dans notre cas, nous remarquons que la production des panneaux photovoltaïques atteint 7800 KW de production entre le mois de Mars et le mois d'Octobre, ceci est dû au fonctionnement des dispositifs d'ombrage à plein temps. Cependant, elle équivaut à 2800 KW pendant les autres mois à cause de la fermeture quasi-totale du dispositif liée à son état inactif (Fig.V.16).

V.2.5.1. Estimation de la consommation énergétique annuelle du bâtiment en DA :

L'efficacité énergétique s'appuie généralement sur l'optimisation des consommations, qui passe par la recherche de la moindre intensité énergétique (à service égal), une utilisation rationnelle de l'énergie, des processus et outils plus efficaces. Elle vise aussi à réduire les coûts (directs et indirects) écologiques, économiques et sociaux induits par la production, le transport et la consommation d'énergie (Potier, 2005).

Code tarif	1er Tranche		2eme Tranche		3eme Tranche		4eme Tranche		Prime Fixe (DA)	
	Consommation (kWh)	Prix Unitaire (cDA)	Consommation (kWh)	Prix Unitaire (cDA)	Consommation (kWh)	Prix Unitaire (cDA)	Consommation (kWh)	Prix Unitaire (cDA)		
Electricité	54 M	125	177,87	125	417,89	750	481,20	127615	547,96	262,2

	Montant Hors taxe (DA)	TVA (?)		Montant TTC (DA)
		Taux (%)	Montant (DA)	
Montant 1ere Tranche Electricité	222,36	7 %	15,56	237,92
Montant 2eme Tranche Electricité	522,28	7 %	36,56	558,84
Montant 3eme Tranche Electricité	3 609,00	17 %	613,53	4 222,53
Montant 4eme Tranche Electricité	699 279,15	17 %	118 877,46	818 156,61
Montant Electricité hors prime fixe	703 632,79		119 543,11	823 175,90
Prime Fixe Electricité	262,2	7 %	18,35	280,55
Montant total Electricité +Prime Fixe	703 894,99		119 561,46	823 456,45
Droit Fixe (?)	100			100
Taxe d'habitation (?)	150			150
Montant TTC	704 144,99		119 561,46	823 706,45
Droit de Timbre (?)	2 500			2 500
Montant Total à payer pour ce trimestre selon la nouvelle tarification en vigueur depuis le 01/01/2016:				826 206,45 DA

Fig.V.17 : Facture de consommation énergétique du bâtiment [A : Sans protection solaire]

(Source : Auteur, 2017)

Après une deuxième estimation de la consommation et du coût de cette dernière, on peut déduire que la contribution positive de ce système a mené à une diminution importante du coût de la consommation, passant d'un montant de 826 206,45 DA à 471 638,80 DA, donc

une économie de **354 567,65 DA**, ou une diminution de 43 %, de cout annuelle . (Fig.V.17 et V.18)

	Code tarif	1er Tranche		2eme Tranche		3eme Tranche		4eme Tranche		Prime Fixe (DA)
		Consommation (kWh)	Prix Unitaire (cDA)	Consommation (kWh)	Prix Unitaire (cDA)	Consommation (kWh)	Prix Unitaire (cDA)	Consommation (kWh)	Prix Unitaire (cDA)	
Electricité	54 M	125	177,87	125	417,89	750	481,20	72310	547,96	262,2

	Montant Hors taxe (DA)	TVA (?)		Montant TTC (DA)
		Taux (%)	Montant (DA)	
Montant 1ere Tranche Electricité	222,36	7 %	15,56	237,92
Montant 2eme Tranche Electricité	522,28	7 %	36,56	558,84
Montant 3eme Tranche Electricité	3 609,00	17 %	613,53	4 222,53
Montant 4eme Tranche Electricité	396 229,88	17 %	67 359,08	463 588,96
Montant Electricité hors prime fixe	400 583,51		68 024,73	468 608,24
Prime Fixe Electricité	262,2	7 %	18,35	280,55
Montant total Electricité +Prime Fixe	400 845,71		68 043,09	468 888,80
Droit Fixe (?)	100			100
Taxe d'habitation (?)	150			150
Montant TTC	401 095,71		68 043,09	469 138,80
Droit de Timbre (?)	2 500			2 500
Montant Total à payer pour ce trimestre selon la nouvelle tarification en vigueur depuis le 01/01/2016:				471 638,80 DA

Fig.V.18 : Facture de consommation énergétique du bâtiment [B : Avec protection solaire]

(Source : Auteur, 2017)

Conclusion :

Les résultats des simulations présentés dans cette étude montrent que les façades dynamiques peuvent être considérées comme un procédé passif très performant de rafraîchissement et de protection solaire pour les bâtiments de bureaux situés aux régions chaudes et arides.

En effet, l'intégration d'un dispositif d'ombrage dynamique à un bâtiment de bureaux quasiment vitré, a pu diminuer les radiations solaires directes de **35%** avec une réduction importante des apports solaires de l'ordre de **19,4 %** pour obtenir des gains solaires annuels représentant seulement **36,4 %** des gains totaux.

D'autre part, de l'intégration de la façade dynamique a résulté une réduction de la zone de surchauffe: La température maximum modérée après cette intervention est de 38 °C, donc un gain de **-4 °C à -4,8 °C** de la température initiale du cas d'étude, un mois sans zone de surchauffe [le mois d'avril] et de ce fait, **360** heures de travail sans climatisation et une diminution de **43 %**, de la consommation énergétique pendant toute la période estivale.

L'intégration des panneaux photovoltaïques intégrés a permis une production moyenne mensuelle près de **6000 KW/mois**.

Nous pouvons alors conclure que notre hypothèse principale est confirmée : la façade dynamique appliquée aux bâtiments de bureaux entièrement ou quasiment vitrés constitue une stratégie de protection solaire saisonnière susceptible de remédier aux problèmes liés aux surchauffes, elle diminue la consommation énergétique, procure de l'ombrage et réduit donc l'insolation directe sur les bâtiments.

Il est à noter que, malgré l'application de ces dispositifs d'ombrage dynamique qui visent à minimiser la période de surchauffe, en protégeant le bâtiment des radiations solaires intenses qui caractérisent le climat sec et aride local, il n'a pas été possible d'éliminer toute la période de surchauffe. Ce déficit négligeable tient de l'absence du couplage de ce dispositif à d'autres stratégies de refroidissement passif ou actif.

Conclusion Générale

« Les architectes, même ceux conscients de l'importance du **climat** dans le projet d'architecture, restent, dans leur majorité, réfractaires au discours prônant l'intégration **des facteurs physiques** de l'environnement dans **le processus de conception**. L'appréhension est générée par l'ignorance du fait environnemental, de la sous-estimation de son apport au projet et de la manière de l'intégrer dans **le processus de conception** architecturale. » **Mazouz, 2004**

Conclusion générale

Le problème du réchauffement climatique posé à une échelle planétaire, incite toute la population mondiale à contribuer dans la recherche des solutions qui peuvent améliorer l'état actuel du déséquilibre environnemental. La crise énergétique a été à l'origine d'une nouvelle conception architecturale favorisant la diminution des effets affectant les conditions climatiques et leurs effets néfastes sur l'environnement. Alors, depuis les concepteurs, par leurs travaux, ont créé une dynamique écologique qui a donné un nouvel élan aux études et aux recherches dans ce domaine.

La consommation énergétique des bâtiments ne cesse de croître à cause de l'augmentation de la population urbaine mondiale et l'adoption de la modernité. En effet, dans leur quête du confort thermique, les habitants des centres urbains trouvent dans l'usage des nouvelles technologies (chauffage et refroidissement) un refuge à leur inconfort. Comme solution instantanée aux problèmes de surchauffe dans les bâtiments, les climatiseurs ont donc envahi le marché mondial. Pour une solution durable, une approche globale et intelligente des problèmes énergétiques dans la construction devrait commencer par l'optimisation des consommations énergétiques. Donc celle-ci se réalise par une conception architecturale bioclimatique accompagnée par des équipements ménagers économes.

Chaque conception architecturale prend en considération le climat qui regroupe un ensemble de facteurs influençant à la fois le bâtiment et l'occupant. Les stratégies bioclimatiques appliquées dans les climats froids ne sont pas les mêmes que celles appliquées

dans les climats chauds. Tous les paramètres climatiques doivent être pris soigneusement en considération lors de la conception du projet architectural.

En effet dans les climats chauds et secs, le contrôle des rayonnements solaires s'impose. A travers les résultats de l'analyse climatique et bioclimatique de la ville de Biskra, on constate que le climat de cette ville est aride avec un été chaud et sec. Durant les mois d'été, les températures de l'air sont très élevées, le rayonnement solaire est très intense avec une humidité relative basse. Les périodes caniculaires durant les mois juillet-août, la température atteint son maximum (42.5°C) ayant un rayonnement solaire direct atteignant les 806 W/hm². Afin de réduire les consommations énergétiques, et d'améliorer les conditions de confort thermique intérieur, l'intégration des systèmes de refroidissement passif ou hybride dans la construction, durant la période estivale, est nécessaire.

Le contrôle solaire est un paramètre très important, à examiner durant la conception des bâtiments dans les climats arides. Le concepteur doit donc continuer à assurer l'abri et le confort de l'utilisateur, mais devra, de plus, faire en sorte que l'impact du bâtiment sur l'environnement soit minimisé. Sous des conditions climatiques difficiles comme c'est le cas dans les zones arides du Sahara à climat très rude, le bâtiment doit assurer le confort de l'utilisateur, pour qu'il puisse pratiquer ses activités normalement. Pour atteindre un tel objectif, le concepteur est appelé à réunir les conditions favorables à la majorité des personnes, occupant un espace donné. Dans le but d'estimer le confort thermique en fonction des paramètres climatiques externes et de faire le choix des techniques architecturales les mieux appropriées au cas étudié, alors une investigation in situ suivie d'une série de simulation s'avère nécessaire. L'étude expérimentale a montré l'existence d'inconfort intérieur lié à un problème de surchauffe due à la grande surface des baies vitrées de l'édifice étudié. Pour maîtriser ce désagrément, le contrôle et la protection des rayons solaires intenses, sont les solutions de refroidissement les plus adéquates.

Un choix judicieux d'un panneau d'ombrage dynamique pour toutes les façades vitrées a été sélectionné comme système de refroidissement passif et ce pour participer à la réduction des températures de l'air et d'assurer un confort thermique intérieur.

La simulation, a été réalisée avec le logiciel de conception paramétrique (Rhino / Grasshopper) pour le design et la conception de la façade dynamique et le logiciel de simulation (Ecotect Analysis 2011) pour l'évaluation thermique et énergétique du bâtiment administratif avec et sans le panneau d'ombrage. Les deux cas ont été comparés. Afin de

réduire les besoins en refroidissement actif tout en favorisant l'amélioration du confort thermique intérieur d'été, des configurations de fonctionnement de ces dispositifs ont été proposées.

Les résultats ont montré que l'intégration d'un dispositif d'ombrage dynamique à un bâtiment de bureaux quasiment vitré, a pu diminuer les radiations solaires directes de 35% et a pu réduire considérablement les apports solaires (de l'ordre de 19,4 %) pour obtenir des gains solaires annuels représentant seulement 36,4 % des gains totaux.

Le panneau d'ombrage dynamique intégré à la façade vitrée a suscité une réduction de la zone de surchauffe intérieure. Egalement, la température de l'air intérieur a été approximativement minimisée de 4 °C entraînant une diminution de 43 %, de la consommation énergétique pendant toute la période estivale. Les panneaux photovoltaïques (PV) semi-transparents ont été utilisés comme matériau des panneaux d'ombrage qui ont donné une production moyenne mensuelle d'électricité de 6000 KW/mois.

En conclusion, à travers cette recherche, on constate que l'ombrage dynamique adaptatif contrôle les gains de chaleur pendant la période de surchauffe diminue également le cout et la consommation énergétique et régule les niveaux d'éclairément tout au long de l'année.

Perceptives de recherche

La protection solaire dynamique est donc un phénomène complexe, multicritère et indispensable pour l'obtention d'un confort hygrothermique à moindre consommation énergétique possible. L'ensemble des chercheurs sur le sujet, voient là un moyen évident pour réduire les consommations et améliorer les conditions intérieures dans les immeubles de bureaux. Plusieurs questions restent en suspens, et dont les réponses constitueront sans doute de nouveaux axes de recherche.

En perspective, cette étude nous servira pour optimiser dans un travail ultérieur beaucoup d'autres facteurs qui peuvent influencer l'effet des façades dynamiques, nous pourrons :

- Etablir des comparaisons multicritères entre les dispositifs d'ombrage dynamiques et statiques sur les bâtiments entièrement vitrés dans les climats chauds et arides.
- Evaluer l'effet de l'orientation sur le comportement des dispositifs d'ombrage dynamique ainsi que leur impact sur la performance énergétique.
- Optimiser les caractéristiques techniques de ces dispositifs (choix de matériaux, type de structure.. etc.)
- Associer cette technique de protection solaire dynamique à d'autres systèmes de refroidissement passif et qui permettrait de meilleures performances thermiques.
- Etablir des enquêtes avec les occupants des équipements de bureaux, pour qu'on puisse distinguer cette subjectivité du confort.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

Articles scientifiques publiés :

1. **Atzeri, A., Cappelletti, F. & Gasparella, A.**(2014). “Internal versus External Shading Devices Performance in Office Buildings.” *Energy Procedia* 45. Elsevier, pp.463–72.
2. **Bellia. L, Marino. C, Minichiello. F, and Pedace .A,** (2014). “An overview on solar shading systems for buildings,” *Energy Procedia*, vol. 62, pp. 309–317.
3. **Cole, Raymond. J, Robinson. J, Brown.Z & Meg O’Shea,** (2008). « Recontetualizing the notion of comfort ». *Building Research and Information*, vol. 36, no. 4, pp. 323- 336.
4. **Chappells. H, Shove. E,** (2005). “Debating the future of comfort: environmental sustainability, energy consumption and the indoor environment,” *Building Research & Information*, vol. 33, no. 1, pp. 32-40.
5. **Dino, Ipek.** (2012). “Creative Design Exploration by Parametric Generative Systems in Architecture.” *METU Journal of Faculty of Architecture* 29 (1): 207–224.
6. **Elzeyadi. I,** (2012). “Post-occupancy evaluation: A design, operations and performance assessment of a LEED Platinum building.” *World Health Design Journal*. January 2012, pp. 60-69.
7. **Favoino. F, Jin. Q, and Overend. M,** (2014). “Towards an ideal adaptive glazed façade for office buildings,” *Energy Procedia*, vol. 62, pp. 289–298.
8. **Foura. M,** (2008). Le mouvement moderne de l’architecture : naissance et déclin du concept de l’architecture autonome, *Revue Sciences et technologie*, Constantine, pp. 5.
9. **Hammad, F., & Abu-hijleh, B.** (2010). “The Energy Savings Potential of Using Dynamic External Louvers in an Office Building.” *Energy & Buildings* 42. Elsevier B.V. pp.1888–95.
10. **Hodder, S. G., & Parsons, K.** (2006). “The Effects of Solar Radiation on Thermal Comfort.” *International Journal of Biometeorology* 51 (3): 233–50.
11. **Giovannini, L., Verso, V.R.L., Karamata, B. and Andersen, M.,** (2015). Lighting and Energy Performance of an Adaptive Shading and Daylighting System for Arid Climates. *Energy Procedia*, 78, pp.370-375.

12. **Galante, M.**, (1996). Genetic Algorithms as an approach to optimize real-world trusses. *International Journal for Numerical Methods in Engineerin*, 39(3), pp. 361-382.
13. **Kuznik. F, David. Johannes. D and Roux. J.J**, (2011). "A review on phase change materials integrated in building walls," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 379-391.
14. **Loonen. R. C. G. M, Cóstola. D, and Hensen. J. L. M**, (2013). "Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges," *Renewable Sustain. Energy Rev.*, vol. 25, pp. 483–493.
15. **Lollini. R, Danza. L, Meroni. I**, (2010). Energy efficiency of a dynamic glazing system. *Solar Energy*, 84(4), pp.526-537.
16. **Mokhtari1. A, Brahimi. K, Benziada. R**, (2008). Architecture et confort thermique dans les zones arides Application au cas de la ville de Béchar, *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 11 N°2, pp. 307 – 315.
17. **Michael. E. A**, (2006). Fairness in Context. *Journal of Law and Society*, Vol. 33, No. 4, pp. 615-638.
18. **Meek, C., and Breshears, J.** (2010). "Dynamic Solar Shading and Glare Control for Human Comfort and Energy Efficiency at UCSD : Integrated Design and Simulation Strategies." In *American Solar Energy Society*, pp.3.
19. **Nielsen, M.V., Svendsen, S. and Jensen, L.B.**, (2011). Quantifying the potential of automated dynamic solar shading in office buildings through integrated simulations of energy and daylight. *Solar Energy*, 85(5), pp.757-768.
20. **Olewnik. A, Brauen. T, Ferguson. S, and Lewis. K**, (2004). A framework for flexible systems and its implementation in multiattribute decision making. *Journal of Mechanical Design*, 126(3), pp.412-419.
21. **Olbina, S., & Hu, J.** (2012). "Daylighting and Thermal Performance of Automated Split-Controlled Blinds." *Building and Environment* 56. Elsevier Ltd: pp. 127–38.
22. **Palmero-Marrero, A. & Oliveira, A.** (2009). "Effect of louver shading devices on building energy requirements." *Applied Energy* 87. pp. 2040–2049.
23. **Sherif, A., El-Zafarany, A. & Arafa, R.** (2012). External perforated window Solar Screens: The effect of screen depth and perforation ratio on energy performance in extreme desert environments. *Energy and Buildings*. pp. 127–38.

24. **Taleghani. M, Tenpierik. M, Kurvers. S, Van Den Dobbelen. A**, (2013). “A review into thermal comfort in buildings,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 26, pp. 201–215.

Rapports de conférences :

25. **Attia. S, Favoino. F, Loonen. R, Petrovski. A, Monge-barrio. A**, (2015). “Adaptive Façades System assessment: An initial review,” in 10th Conference on Advanced Building Skins, pp. 1265–1273.
26. **Batool, A. & Elzeyadi**, (2014). From Romance to Performance: Assessing the Impacts of Jali Screens on Energy Savings and Daylighting Quality of Office Buildings In: PLEA2014 - 30th Conference on Passive and Low Energy Architecture: Sustainable habitat for developing societies, Ahmedabad, India –
27. **Boer. D, Ruijg. G. J et al.** (2011). “Energy saving potential of climate adaptive building shells- Inverse modelling of optimal thermal and visual behavior”, Proceedings of the International Adaptive Architecture Conference, London, 3-5 march, pp.16.
28. **Benjamin. S, Reynolds. Grondzik. J, Walter T. and Kwok, Alison G**, (2006). *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings*, Wiley, Hoboken, New Jersey, pp. 172-176.
29. **Colombari, M, Kragh, M, Zobec, M**, (2012). “Introduction of Advanced Facade Technology”, 7th World Renewable Energy Congress; p. 634.
30. **Dewidar. Y, Mohamed. K.M, Ashour. N.M**, (2013). “Living Skins: A New Concept of Self Active Building Envelope Regulating Systems,” in *Advancing the Green Agenda; Technology, Practices and Policies Conference –BUID*, pp. 1–8.
31. **De Carli, M., & De Giuli, V.** (2009). “Optimization of Daylight in Buildings to Save Energy and To Improve Visual Comfort : Analysis in Different Latitudes.” In *Eleventh International IBPSA Conference*. Glasgow, Scotland.
32. **El-Sheikh. D, Gerber. M**, 2011. ‘Building Skin Intelligence’, *Proceedings of ACADIA*, pp. 170-177.
33. **Etman. O, Tolba. O, Ezzeldin. S, and Transport. M**, (2013). “Double-Skin Façades in Egypt between Parametric and Climatic Approaches,” in *Computation and Performance – Proceedings of the 31 eCAADe Conference*, vol. 1, pp. 459–466.

34. **Elzeyadi. I, et al.**, (2016). High performance facades: Measuring the Impacts of Dynamic Shading Prototypes on Indoor Environmental Quality Using Yearly Simulations and Field Tests, 32th international PLEA conference, Los Angeles, pp.1030.
35. **Erickson. J**, (2016). Adaptive Envelope: Reducing Energy without Sacrificing Comfort, 32th international PLEA conference, Los Angeles, pp.40.
36. **Figliola. A, Rossi. M**, (2014). Parametric design for technological and "smart" system. Adaptive and optimized skin, 30th international PLEA conference, CEPT university, Ahmedabad, pp.7.
37. **Fox, M.A, Yeh. B.P**, (1999). "Intelligent kinetic systems in architecture," in Proceedings of Managing Interactions in Smart Environments (MANSE).
38. **Harvey. B**, (1991). Le Corbusier and the "Mur Neutralisant": An Early Experiment in Double Envelope Construction. Proceedings of the Ninth International PLEA Conference. pp. 257–62.
39. **Hoffmann, S., Jedek, C. & Arens. E.** (2012). "Assessing Thermal Comfort near Glass Facades with New Tools." In BEST 3 Building Enclosure Science and Technology Conference.
40. **Grobman, Y. J. & Ron, R.**, (2011). Digital Form Finding: Generative use of simulation processes by architects in the early stages of the. Ljubljana, ECAADE conference.
41. **Liangliang. S, Wenju. H, Yanping. Y, Xiaoling. C**, (2015). Dynamic Performance of the Shading-Type Building-Integrated Photovoltaic Claddings, 9th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning (ISHVAC) and the 3rd International Conference on Building Energy and Environment, pp.933.
42. **Lee, E., et al.** (2009). High Performance Building Façade Solutions.
43. **Marroquin. H, Thitisawat. M, Vermisso. E**, (2013). Performative Parametric Design of Radiation Responsive Screens, ARCC, The Visibility of Research Sustainability: Visualization Sustainability and Performance, pp.579-587
44. **Mayhoub. M, Labib. R**, (2015). "Towards A Solution for the Inevitable Use of Glazed Facades in the Arid Regions via a Parametric Design Approach," in The International Commission on Illumination symposium (CIE), pp. 1–11.

45. **Moloney, J.** (2007). Building skins as kinetic process: some precedent from the fine arts. In the Fourth International Conference of the Association of Architecture Schools. Australia, pp. 5.
46. **Monedero, J.,** (1998). The role of the architect in the age of automatic reproduction. Paris, the 16th eCAADe Conference, Computer Craftsmanship in Architectural Education.
47. **Sherif, A., Sabry, H., El-Zafarany, A., Arafa, R., Rakha, T., Anees, M.** (2011). Balancing the energy savings and daylighting performance of external perforated solar screens evaluation of screen opening proportions PLEA architecture and sustainable development, in: 27th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Lovain-La-Neuve, Belgium.
48. **Straube, J.** (2006). Green building and sustainability. Building science digest, 5, p.24.
49. **Trubiano, F.** (2012). Design and construction of high-performance homes: building envelopes, renewable energies and integrated practice, routledge, London, United kingdom, pp.75.
50. **Weston, M.** (2010). "Memory Mesh: Conformationally Adaptive Solar Shading", Proceedings of the 14th Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics, pp. Bogotá, Colombia, November 17-19, pp. 412-414.
51. **Wang, J, Beltrán, L. O, and Kim, J.** (2012). "From static to kinetic: A review of acclimated kinetic building envelopes," in World Renewable Energy Forum, WREF 2012, Including World Renewable Energy Congress XII and Colorado Renewable Energy Society (CRES) Annual Conferen, vol. 5, pp. 4022–4029.

Ouvrages :

1. **Ahlquist, S, Menges, A.** (2013). Computational Design Thinking: Iranian Architecture Publications, Teheran.
2. **Akin, O.** (1990). Computational Design Instruction: Towards a Pedagogy. Electronic Design Studio, pp. 301
3. **Belmont, J.** (1987). "Modernes et Postmodernes", éd. du Moniteur, Paris.
4. **Burberry, P.** (1997). Environment and Services (Mitchell's building series), Longman, London.

5. **Coste. A.** (1997). Architecture gothique, lectures et interprétations d'un modèle, Saint-Etienne, Publications de l'Université de Saint-Etienne, pp. 231
6. **Choisy. A.** (1899), Histoire de l'architecture, Paris.
7. **Capderou. M.** (1985). Atlas solaire de l'Algérie, Editions OPU- Alger.
8. **Caldas, L. G. & Norford, L. K.,** (2002). A design optimization tool based on a genetic algorithm. Automation in construction, 11(2), pp. 173-184.
9. **Ernst. J. GRUBE,** (1995). Studies in Islamic Painting, bouckram bound edition, pp.55.
10. **Fox. M, Miles. K,** (2009). Interactive architecture. New York: Princeton Architectural Press, pp.256.
11. **Frazer. J.** (2016). "Parametric Computation: History and Future". Architectural Design
12. **Hensel. M, Menges. A,** (2009). Patterns in Performance-Orientated Design: An Approach towards Pattern Recognition, Generation and Instrumentalisation. Architectural Design, pp. 88-93.
13. **Hensel. M, Menges. A,** (2008). Versatility and Vicissitude: Performance in Morpho-Ecological Design, Architectural Design Vol. 78 No. 2, Wiley Academy, London.
14. **Henriet. J,** (2005). À l'aube de l'architecture gothique, Édition Picard, pp. 371.
15. **HAYS, K.M,** (2000). Architecture theory since 1968, MIT Press: Cambridge, MA.
16. **Gympel. J,** (1997). « Histoire de l'architecture, de l'antiquité à nos jours », Ed. Française Jean Marc NOTHIAS. paris. 120p.
17. **Gorman. M. J, Buckminster Fuller,** 2006. Designing for Mobility, Milan: Skira, p. 134.
18. **Goldberg, D.,** (1989). Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley Publishing.
19. **Kolarevic, B.,** (2003). Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing. 1st ed. New York and London: Spon Press.
20. **Kocaturk, T., Medjdoub, B,** (2011). Distributed intelligence in design, Wiley Online Library.
21. **Khabazi, Z.,** (2012). Generative Algorithms: usisng Grasshopper, London: morphogenesisism, en ligne: (www.morphogenesisism.com).
22. **Kolarevic, B.** (2003). Digital Morphogenesis, in B. Kolarevic (ed.) Architecture in the digital age: design and manufacturing, Taylor & Francis.

23. **Lemerle. F, Pauwels. Y,** (2008). *L'architecture au temps du Baroque*, Paris, Flammarion, pp.247.
24. **LaBelle, G., Nembrini, J. & Huang, J.,** (2008). *Simulation-Driven Design System: Phototropic Architecture*. Antwerpen (Belgium), pp. 469-476.
25. **McNeel. R,** (2010). *Rhinoceros: Nurbs Modeling for Rhino*. Version 5.0 SR 9. [Computer Software]. Robert McNeel and Associates. [online]: www.Rhino3D.com.
26. **Moloney. J,** (2011). *Designing kinetics for architectural facades : state change*. Abingdon, Oxon [Angleterre]: Routledge, xiii, 178 p.
27. **Moloney. J,** (2012). *Designing Kinetics for Architectural Facades: State Change*, CRC Press.
28. **Liebard A., De herde A,** 2005, 'Traité d'urbanisme et d'architecture bioclimatiques', Observ'ER
29. **Vanucci. M,** (2008). *Open systems: approaching novel parametric domains*, in M. Meredith and M. Sasaki (eds.) *From Control to Design: Parametric / Algorithmic Architecture*, Actar.
30. **Picon. A,** (1997). « L'art de l'ingénieur », Éditions Centre Pompidou / Éditions du Moniteur, Paris
31. **Picon. A,** (1999). *ARCHITECTURE: Thèmes généraux - Architecture, sciences et techniques*.
32. **Schulz. N,** (1985). « vers une architecture figurative », Ed. Moniteur.
33. **Schumacher. P,** (2007). *What's next? From Destructive Impact to Creative Impulse, New Architecture – Essays on Architecture*, Editor, London
34. **Schumacher. P,** (2009). *Parametric Pattern*. *Architectural Design*, pp. 28-41.
35. **Schumacher. P,** (2009). "Parametricism - A New Global Style for Architecture and Urban Design". *AD Architectural Design*. pp. 79.
36. **Schumacher. M, Schaeffer. O & Vogt. M,** (2010). *Move : dynamic components and elements in architecture*. Basel, London: Birkhäuser, Springer, 239 p.
37. **Schumacher, P., Katerina. E,** (2011). *The Autopoiesis of Architecture: a new framework for Architecture (Vol. 1)*. John Wiley & Sons.
38. **Schumacher. P,** (2012). *The Autopoiesis of Architecture, Vol.2: A New Agenda for Architecture*, John Wiley & Sons Ltd., London .

39. **Schumacher. P.** (2014). Design Parameters to Parametric Design, The Routledge Companion for Architecture Design and Practice: Established and Emerging Trends, London.
40. **Shea, K.** (2004). Directed randomness, in N. Leach, D. Turnbull and C. Williams (eds.) Digital Tectonics, Wiley-Academy, United Kingdom.
41. **Trubiano. F.** (2012). Design and construction of high-performance homes: building envelopes, renewable energies and integrated practice, routledge, London, United Kingdom, pp.75-90.
42. **Vasari. G.** (1991), The Lives of the Artists. Translated with an introduction and notes by J.C. and Peter Bondanella. Oxford: Oxford University Press (Oxford World's Classics),
43. **Zuk. W, Clark. R. H.** (1970). Kinetic Architecture, New York: Van Nostrand Reinhold.

Mémoires et thèses :

1. **Arida, S.** (2004). Contextualizing Generative Design. MSc thesis, Massachusetts Institute of Technology, Boston, MA.
2. **Boulazreg. I.** (2011). «La façade de logement collectif entre appropriation et mutation, cas de Boussouf et Daksi, Constantine », mémoire de magister, Constantine. p. 11
3. **Bucci. F, Mulazzani. M.** (2000). Luigi Moretti: Works and Writings. New York: Princeton Architectural Press.
4. **DAICH,S** (2011) Simulation et optimisation du système light shelf sous des conditions climatiques spécifiques, Cas de la ville de Biskra. Masters thesis, Université Mohamed Khider Biskra.
5. **Chalabee, H.** (2013). Performance-based architectural design: Optimisation of building opening generation using generative algorithms, Master thesis in Sustainable Architecture Studies, The University of Sheffield.
6. **Euphrosyne. T.** (1991). : « la façade comme éléments de transition ; la physionomie des immeubles d'habitation collective », thèse de doctorat en science, département d'architecture de l'école polytechnique fédérale de Lausanne. Suisse, pp.385

7. **ElGhazi. Y. S**, (2009). Building skin in the age of informations technology (Doctoral dissertation, Faculty of Engineering at Cairo University).
8. **ElSheikh. M. M**, (2011). Intelligent building skins: Parametric-based algorithm for kinetic facades design and daylighting performance integration, Master of building science, university of southern California ,pp.20.
9. **EL-Khalidi, M.** (2007). Mapping Boundaries of Generative Systems for Design Synthesis, MSc thesis, Massachusetts Institute of Technology, Boston, MA.
10. **Hansanuwat. R**, (2010). Kinetic Facades as Environmental Control Systems: Using Kinetic Facades to Increase Energy Efficiency and Building Performance in Office Buildings, Master of Building Science Thesis, University of Southern California.
11. **Grijalva. K**, (2012). Associative Design for Building Envelopes ‘Sun Control and Shading Devices’ Master of Science thesis, Arizona state university, pp.14
12. **Gerber. D**, (2007). “Parametric Practices: Models for Design Exploration in Architecture,” D. Des. PhD. Dissertation, Harvard University.
13. **Majed. J, Alkhayyat. J**, (2013). “strategy for adaptive kinetic patterns: creating a generative design for dynamic solar shading systems,” University of Salford Design.
14. **Modin. H**, (2014). “Adaptive building envelopes,” Chalmers University of Technology, pp. 18–19.
15. **Montier. C**, (2013). La façade adaptative - Potentiel énergétique et visuel du panneau isolant mobile, Mémoire de Master, Université de Laval- Canada, pp.18.
16. **Stiles, R.** (2006). “Aggregation Strategies.” Masters dissertation, University of Bath.
17. **Tucker. T**, (2014). “Performative shading design: parametric based measurement of shading system configuration effectiveness and trends,” University of Southern California,
18. **Teuffel. P**, (2004). “Entwerfen adaptiver Strukturen,” PhD Thesis. Universität Stuttgart.

Révues, guides et documents techniques:

1. **ARUP**, (2012). Al Bahar Towers: Innovation Award Winner, CTBUH Awards Program.
2. **Coehlo M. & Maes P.**, (2009). Shutters: A permeable surface for environmental control and communication, MIT Media Lab, Cambridge, Massachusetts,US

3. **Gerfen**, (2010). Thyssenkrupp Quarter. Architect (Washington, D.c.), 99, 10, 115-23.
4. **Hoberman. C, Schwitter. C**, (2008). Adaptive Building Initiative, NY, US.
5. **Livingston. M**, (2002). “Watergate: The name that branded more than a building.” Washington Business Journal,
6. **Oxman, R.** (2006). Theory and design in the first digital age, Design Studies, 27:3; 229-65.
7. **Phillips. S**, (2010). Parametric Design: a Brief History, arcCA Magazine, issue 10.1, pp. 24-28.

Sites Web:

1. Blog Emillie, (2009). Enveloppant Enveloppé, [En line] <http://lespacedelentredeux.blogspot.com/>, consulté le 20/07/2016.
2. Berkel. Ben Van, Dynamic Facades :The Story [En line] <http://www.arch2o.com/dynamic-facades-the-story/> , consulté le 20/6/2016.
3. Knight, T. (2000). Shape grammars in education and practice: History and URL [En line] <http://www.mit.edu/~tknight/IJDC/>, consulté le 30/6/2016.
4. Weisberg, David. (2008). “The Engineering Design Revolution: The People, Companies and Computer Systems that Changed Forever the Practice of Engineering. [En line] <http://www.cadhistory.net> . . consulté le 1/7/2016.
5. High-performance building : [En line] <http://www.wbdg.org> . consulté le 15/8/2016.
6. Sofadeco, Architecture and design [En line] <http://www.sofadeco.com> . consulté le 20/8/2016
7. Patrimoine-religieux :[En line] <http://www.patrimoine-religieux.fr> . consulté le 20/07/2016
8. Eétude sur le monde musulman : [En line] <http://www.lescahiersdelislam.fr>. consulté le 14/1/2016
9. L’art Baroque : [En line] <http://www.art-baroque.net> . consulté le 13/8/2016
10. www.creg.gov.dz. 19/4/2016
11. <https://knowledge.autodesk.com/support/ecotect-analysis?sort=score> consulté le 12/8/2016
12. <http://www.food4rhino.com/> consulté le 15/4/2015

Annexes

Annexe A : L'étude bioclimatique de la ville de Biskra :**A.1. Méthodes d'analyse Bioclimatique :**

A.1.1. Localisation de la ville de Biskra :

Localisation	Sud-Est
Longitude	5°44' Est
Latitude	34° 48' Nord
Altitude	81 m

1. Moyenne mensuelle des températures moyennes (en °C)

La moyenne annuel mensuel de la température Moyenne (Tm) durant 2003-2013												
Mois	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jun	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
Moy max	17,0	19,0	23,5	27,2	32,4	37,1	41,0	40,1	34,4	29,4	21,5	17,0
Moy min	5,4	6,9	11,2	14,8	20,0	24,1	27,7	27,4	22,9	18,3	11,2	6,6
Moy an	11,0	13,0	17,0	21,1	26,4	31,0	34,4	34,0	29,0	24,0	16,1	12,0

Dont : $T_{moy} = (T_{min} + T_{max}) / 2$

2. Moyenne mensuelle des humidité relative (en %)

La moyenne annuel mensuel d'humidité Moyenne (HMoy) durant 2003-2013												
mois	J	F	M	A	M	J	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
H max	78,9	67,9	61,0	56,0	49,6	44,4	41,0	45,4	55,6	62,3	70,1	76,7
H min	39	27,9	22,6	19,9	17	13,1	11,4	15,6	23,7	27	34,3	37,6
H moy	59,0	47,9	41,8	38,0	33,3	28,8	26,2	30,5	39,7	44,7	52,2	57,2

3. Moyenne mensuelle des vitesses de vent (en m/s)

Moyenne annuel mensuel de la moyenne de la vitesse de vent (m/s) durant (2003-2013)												
Mois	J	F	M	A	M	J	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
Moy VENT	4,2	4,3	5,1	6,0	5,7	4,3	3,9	3,8	4,1	3,6	4,2	4,0

4. Cumuls mensuel des précipitations (en mm)

La moyenne annuelle mensuel de la précipitation moyenne (P) durant 2003-2013												
mois	J	F	M	A	M	J	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
(mm)	17,4	3,8	10,66	13,75	10,12	2,45	0,55	1,31	15,86	8,09	11,01	12,62

A/ Méthode de Mahoney

Température de l'aire en °C

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temp.Moy.max	17	19	23.5	27.2	32.4	37.1	41	40.1	34.4	29.4	21.5	17
Temp.moy.min	5.4	6.8	11.1	14.7	20	24.1	27.6	27.2	22.9	18.3	11.2	6.6
Portée	11.5	12.1	12.3	12.4	12.4	12.9	13.4	12.8	11.4	11	10.2	10.4

$$AMT=(H+L) / 2$$

$$AMR = H-L$$

T max= 41	AMT=23.21
T min= 5.4	AMR=35.58

Humidité relative en %

Humidité max	78,9	67,9	61,0	56,0	49,6	44,4	41,0	45,4	55,6	62,3	70,1	76,7
Humidité min	39	27,9	22,6	19,9	17	13,1	11,4	15,6	23,7	27	34,3	37,6
moyenne	59,0	47,9	41,8	38,0	33,3	28,8	26,2	30,5	39,7	44,7	52,2	57,2
Groupe d'humidité	3	2	2	2	2	1	1	2	2	2	3	3

Tout va être ensuite basé sur les principes suivants de Mahoney

Groupe d'humidité : R moyennes	1	moins de	30%
	2	entre	30-50%
	3	entre	50-70%
	4	plus de	70%

Précipitations et vents :

Précipitation (mm)	17,4	3,8	10,66	13,75	10,12	2,45	0,55	1,31	15,86	8,09	11,01	12,62
-----------------------	------	-----	-------	-------	-------	------	------	------	-------	------	-------	-------

Total annuel est de : 127.96 mm

Limites de confort :

Groupe d'humidité	AMT plus de 20°C		AMT 15-20°C		AMT moins de 15°C	
	Jour	Nuit	Jour	Nuit	Jour	Nuit
1	26-34	17-25	23-32	14-23	21-30	12-21
2	25-31	17-24	22-30	14-22	20-27	12-20
3	23-29	17-23	21-28	14-21	19-26	12-19
4	22-27	17-21	20-25	14-20	18-24	12-18

Diagnostic de température :

C /Froid (Cold)

O / Confort (Comfort)

H / Chaud (hot)

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Temperature Mens. Max	17	19	23.5	27.2	32.4	37.1	41	40.1	34.4	29.4	21.5	17
Confort jour: sup	29	31	31	31	31	34	34	31	31	31	29	29
Confort jour: Inf	23	25	25	25	25	26	26	25	25	25	23	23
Temperature Mens.Min	5.4	6.8	11.1	14.7	20	24.1	27.6	27.2	22.9	18.3	11.2	6.6
Confort nuit Sup	23	24	24	24	24	25	25	24	24	24	23	23
Confort nuit Inf	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Confort thermique: Jour	C	C	C	/	O	O	O	O	O	/	C	C
Confort thermique: Nuit	C	C	C	C	/	/	O	O	/	/	C	C

Humidité H1														0
H2														0
H3														0
Aride A1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	12
A2							X	X						2
A3	X	X	X									X	X	5

b- Indicateurs :

Application :

	Indicateurs	Confort thermique		pluviométrie	Groupe d'humidité	Différence moyenne
		jour	nuit			
Mouvement essentiel de l'air	H1	H			4	
		H			2-3	Mois de 10°
Mouvement indésirable de l'air	H2	O				
Quantité de pluie nécessaire	H3			Plus de 200 mm		

Capacité thermique nécessaire	A1				1-2-3	Plus de 10°
Température extérieure désirable	A2	H	H		1-2	
		H	O		1-2	Plus de 10°
Protection contre le froid	A3	C				

Total des indicateurs :

H1	H2	H3	A1	A2	A3
0	0	0	12	2	5

Spécification recommandées :

Disposition /plan de masse

H1	H2	H3	A1	A2	A3			
			0-10				1	Orientation nord et sud (axe long Est – Ouest)
			11,12		5-12			
					0-4		2	Plans compacts avec cours intérieurs

Espacement :

11,12							3	Ouverture des espaces pour pénétration de brise
2-10							4	Protection contre vent chaud et froid
0,1							5	Plans compacts

Mouvement d'air :

3-12							6	Chambre individuelles permettant la circulation d'air
1-2			0-5				7	Chambres doubles permettant une provision temporaire de l'air
			6-12					
0	2-12						8	Pas de mouvement d'air
	0-1							

Ouvertures

			0,1		0		9	Large ouvertures 40-80%
			11,12		0,1		10	Petites ouvertures 10-20%
							11	Moyennes ouvertures 20-40%

Murs

							12	Murs légers
							13	Murs intérieurs et extérieurs épais

6 -Toit :

			0-5				14	Toiture légère
			6-12				15	Toiture épaisse

Terrasse :

				2-12			16	Espace demandé pour terrasse
--	--	--	--	------	--	--	----	------------------------------

Protection contre la pluie :

		3-12					17	Protection nécessaire contre les pluies
--	--	------	--	--	--	--	----	---

Total des indicateurs

H1	H2	H3	A1	A2	A3
0	0	0	12	2	5

1-Dimension des ouvertures :

			0-1		0		1	Large 40-80%
					1-12		2	Moyennes 25-40%
			2-5					
			6-10				3	Petites 15-25%
			11-12		0-3		4	Très petites 10-20 %
					4-12		5	Moyenne 25-40 %

2- Positions des ouvertures :

3-12							6	Au nord et au sud, murs s'élevant face au vent
	2-12		0-5					
			6-12				7	Hautes ouvertures dans les murs intérieurs
0								

3- Protection des ouvertures

					0-2		8	Exclure rayonnement directe
		2-12					9	Protection contre la pluie

4- Murs et planchers :

			0-2				10	Capacité thermique faible
			3-12				11	Construction massive 8h

Toits :

10-12			0-2				12	Surface réfléchive de lumière
			3-12				13	Lumière quand c'est l'ensoleillement
			0-5					
			6-12				14	Exposés plus de 8 h

Espaces extérieurs :

				1-12			15	Espace pour terrasse
		1-12					16	Drainage adéquat des pluies

Recommandations de Mahoney :

D'après les tableaux de MAHONEY appliqués à la ville de BISKRA on peut déduire les nécessités suivantes :

Recommandations générales :

Orientation Nord Sud (des grands axes EST-OUEST)

Compacité Du plan de masse et volume

Ouverture petites de 15-25%

Les murs extérieurs et intérieurs doivent être épaisses (inertie forte)

Les toits épais (massive et isolée) (temps de déphasage supérieur à 8 heures)

Espaces extérieurs pour terrasse sont demandés

Recommandations sur les détails :

Les ouvertures sur les façades Nord Sud

Ouvertures sur l'intérieur d'un patio

Déphasage de plus 8 heures

B/ Méthode de SZOCOLAY

La méthode de S. Szocolay consiste à définir les zones de contrôle potentiel, projetées par étapes sur le diagramme psychrométrique :

1-La zone de confort:

Définie par son point neutre, obtenu par l'intersection de la température neutre et l'humidité relative portée à 50% d'humidité relative. Cette zone est délimitée par quatre points de températures humides où :

$$T_m = \Sigma t_m / 12 = 22.42^{\circ}\text{C}$$

$$T_n = 17.6 + (0.31 \times T_m) = 24.55^{\circ}\text{C}$$

Le point 1 et 2 sont portés à la ligne d'humidité absolue 12 g / Kg avec :

$$T_1 = T_n + (A_{hn} - 12) \times 0.025 \times (T_n - 14) - 2 = 21.75^{\circ}\text{C}$$

(A_{hn} : l'humidité absolue du point de neutralité)

$$T_2 = T_1 + 4 = 25.75^{\circ}\text{C}$$

Le point 3 et 4 sont portés à la ligne d'humidité absolue 4 g / Kg avec :

$$T_3 = T_1 + 0.2 \times (T_1 - 14) = 23.3^{\circ}\text{C}$$

$$T_4 = T_2 + 0.2 \times (T_2 - 14) = 28.1^{\circ}\text{C}$$

2- La zone de contrôle potentiel pour les périodes froides :

C'est la zone de chauffage passif, délimitée par un seul point de la température humide portée à la courbe de saturation HB = 100 % où :

$$T_5 = T_n + 0.36 - 0.0025 \times H_v = 11.76^{\circ}\text{C}$$

($H_v = 5258w.h/m^2$) pour la ville de BISKRA

Représente la moyenne journalière totale d'irradiations solaires en Wh/m² d'une surface verticale sud pour le mois le plus froid).

3- La zone de contrôle potentiel pour les périodes chaudes :

a- Zone d'effet de masse :

La détermination de la variation moyenne de la température pour le mois le plus chaud (dTm) permet d'obtenir le premier point de cette zone.

$$dTm = T_{moy .max} - T_{moy .min} = 13.34^{\circ}\text{C}$$

Les autres points qui délimitent cette zone sont :

$$T6 = T2 + 0.5 (dTm) = 32.42^{\circ}\text{C}$$

Situé à la ligne d'humidité absolue qui correspond à 12g/ Kg

$$T7 = T6 - 0.05 (T6 - 14) = 31.49^{\circ}\text{C}$$

Correspond à la ligne 14g/ Kg d'humidité absolue.

$$T8 = T6 - 0.2 (T6 - 14) = 28.73^{\circ}\text{C}$$

Correspond à la ligne 4g/ Kg d'humidité absolue.

La limite d'humidité la plus élevée correspond à la courbe d'HR du premier point de la zone de confort.

b- Zone d'effet de masse avec ventilation nocturne :

$$T9 = T2 + 0.8 (dTm) = 36.29^{\circ}\text{C}$$

Le point correspond à la ligne 12g/ Kg d'humidité absolue

$$T10 = T9 - 0.05 (T9 - 14) = 35.30^{\circ}\text{C}$$

Le point correspond à la ligne 14g/ Kg d'humidité absolue.

$$T11 = T9 - 0.05 (T9 - 14) = 35.30^{\circ}\text{C}$$

Le point correspond à la ligne 4g/ Kg d'humidité absolue.

c- Zone de ventilation naturelle – mouvement d'air sur la surface de peau :

Pour 1m/s:

$$T12 = T2 + 5 = 30.75^{\circ}\text{C}$$

Le point correspond à la ligne d'humidité absolue 12g/ Kg.

Pour 1.5m/s:

$$T12 = T2 + 6.5 = 30.75^{\circ}\text{C}$$

Le point correspond à la ligne 12g/ Kg d'humidité absolue

Pour 1m/s :

$$T_{13} = T_{12} + 0.1 (T_{12} - 14) = 30,42^{\circ}\text{C}$$

Le point correspond à la ligne 4g/ Kg d'humidité absolue.

Pour 1.5 m/s :

$$T_{13} = T_{12} + 0.1 (T_{12} - 14) = 30,42^{\circ}\text{C}$$

Le point correspond à la ligne 4g/ Kg d'humidité absolue.

$$T_{14} = T_1 = 21,75^{\circ}\text{C}$$

Mais le point sera localisé sur la courbe 90 % d'humidité relative.

$$T_{15} = T_{12} - 0.18 (T_{12} - 14) = 27,73^{\circ}\text{C}$$

Le point sera localisé sur la courbe 90 % d'humidité relative.

d- Zone de refroidissement évaporatif direct :

Délimitée par un seul point où la température limite la plus élevée qui délimite cette zone est :

$$T_{16} = T_n + 12 = 36,55^{\circ}\text{C}$$

Les limites supérieures et inférieures de cette zone sont tracées à partir des lignes de températures humides du deuxième et troisième point de la zone de confort.

e- Zone de refroidissement évaporatif indirect :

Délimitée par un seul point où la limite supérieure de cette zone correspond à la ligne

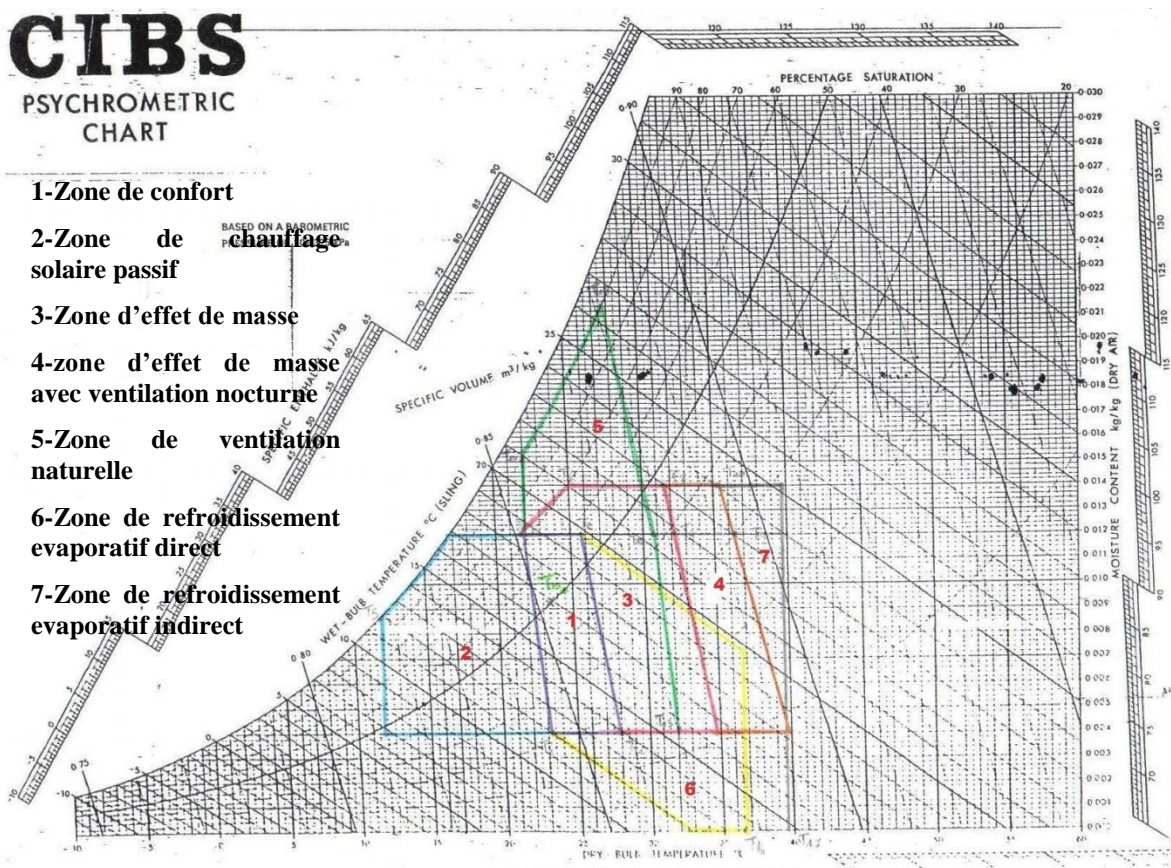
14g/ Kg d'humidité absolue où :

$$T_{17} = T_n + 15 = 39,55^{\circ}\text{C}$$

Représentation des conditions climatiques qui prévalent :

Chaque mois est représenté par une ligne dessinée entre deux points :

- La température moyenne maximale mensuelle avec l'humidité relative minimale.
- La température moyenne minimale mensuelle avec l'humidité relative maximale.



CTBS PSYCHROMETRIC CHART

BASED ON A BAROMETRIC
PRESSURE OF 101.325 kPa

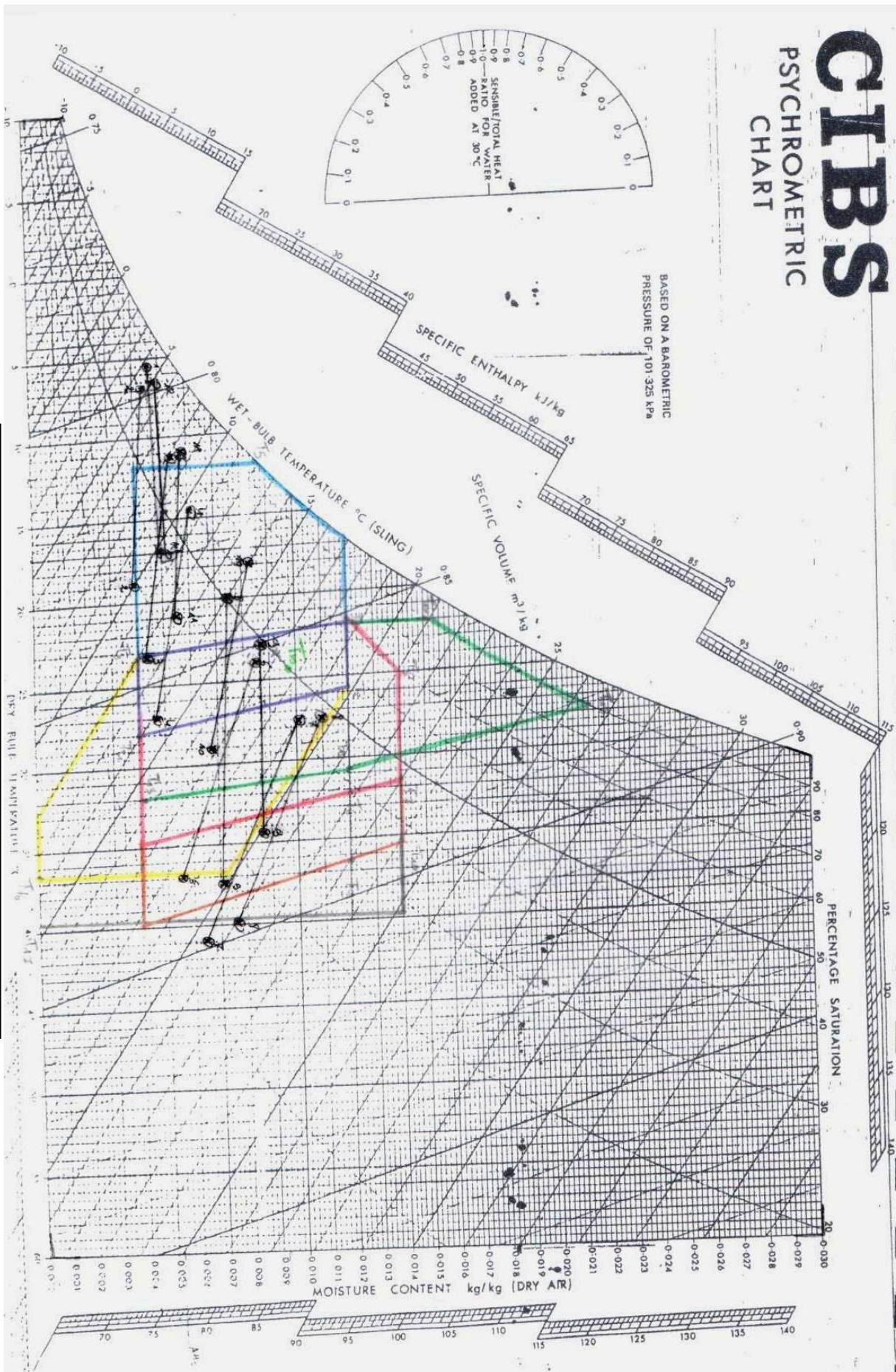


DIAGRAMME PSYCHOMETRIQUE DE LA VILLE
DE BISKRA

D'après le diagramme psychométrique on peut résumer les besoins mensuelles comme suit :

	Chauffage actif	Chauffage passif	Confort	Ventilation passive	Ventilation active
Janvier	X				
Février	X	X			
Mars		X			
Avril		X			
Mai		X	X		
Juin			X	X	X
Juillet				X	X
Aout			X	X	X
Septembre		X	X	X	
Octobre		X			
Novembre	X	X			
Décembre	X				

Pour cela on peut concluez :

1-Besoin d'un chauffage actif et passif surtout pour les mois de Février et Novembre (Ou on constate que ce mois se situe dans la zone de chauffage passif, reste le besoins de chauffage actif est estimer en mois de Janvier surtout pour les jours de mois et une partie des mois de Février et Décembre et quelque jours de Novembre.

2- Une partie des mois (Juin, Mai, Aout et Septembre) dans la zone de confort mais un besoin de chauffage passif et une ventilation passive est nécessaire

3- Une partie des mois de (Juin, Juillet, Aout) dans la zone de confort mais une ventilation passive est nécessaire

-Une partie des mois de Mai, Juin, Dans la zone de chauffage passif

-Une partie des mois de Mai, juin, juillet, Aout sont dans la zone de l'effet de masse avec une ventilation nocturne est naturelle sont nécessaire.

V- Recommandations de Szocolay :

Par l'application de la méthode de S.SZOCOLAY :

Biskra est caractérisé par de longues périodes de surchauffes ou l'inconfort est fortement ressenti.

D'après les résultats obtenus sur le diagramme bioclimatique, il apparait que la distribution de la température et l'humidité est caractérisé par de larges amplitudes. Elles sont plus prononcées en Juillet et Aout

De plus cette distribution est située en majorité hors zone de confort, toutefois le confort peut être assuré par l'adoption de plusieurs techniques conceptuelles

Pour le mois de juin et septembre,

La masse thermique et la ventilation nocturne peuvent fournir des conditions interne favorable, seulement l'après-midi un refroidissement par évaporation est nécessaire

Pour le mois de juillet et Aout

Les stratégies concernant la masse thermique, la ventilation naturelle nocturne, la ventilation transversale ne peuvent être suffisante dans les après-midi pour fournir les températures confortables

Il est nécessaire d'utiliser le conditionnement d'air.

*D'après cette analyse bioclimatique, il apparait que toutes ces stratégies de refroidissement passif sont aussi importantes mais elles sont plus efficaces, si elles sont combinées entre elles, à cause d'une large période de chaleur excessif

VI- Conclusion de l'analyse Bioclimatique :

D'après l'analyse appliquée aux conditions climatiques de Biskra on peut déduire

Des mois chauds et secs ou les températures sont élevées et des humidités relatives basses s'étale du mois d'avril jusqu'à Septembre qui nécessite :

Un contrôle des radiations solaires

Une inertie par absorption avec une ventilation nocturne

Une ventilation transversale et refroidissement par évaporation

Nécessité d'un conditionnement d'air limité

Des mois où les températures sont basses situés dans la zone de chauffage passif qui s'étale de Décembre et Février qui nécessite :

Un besoin de chauffage passif avec une forte inertie

Un complément de chauffage d'appoint surtout au mois de Janvier, une partie de Février et Décembre

Des mois de Mars, Octobre et Novembre sont dans la zone de confort mais nécessitent :

Une ventilation passive

Un chauffage passif .

Annexe B : les définitions paramétriques (Algorithmiques) de simulation :

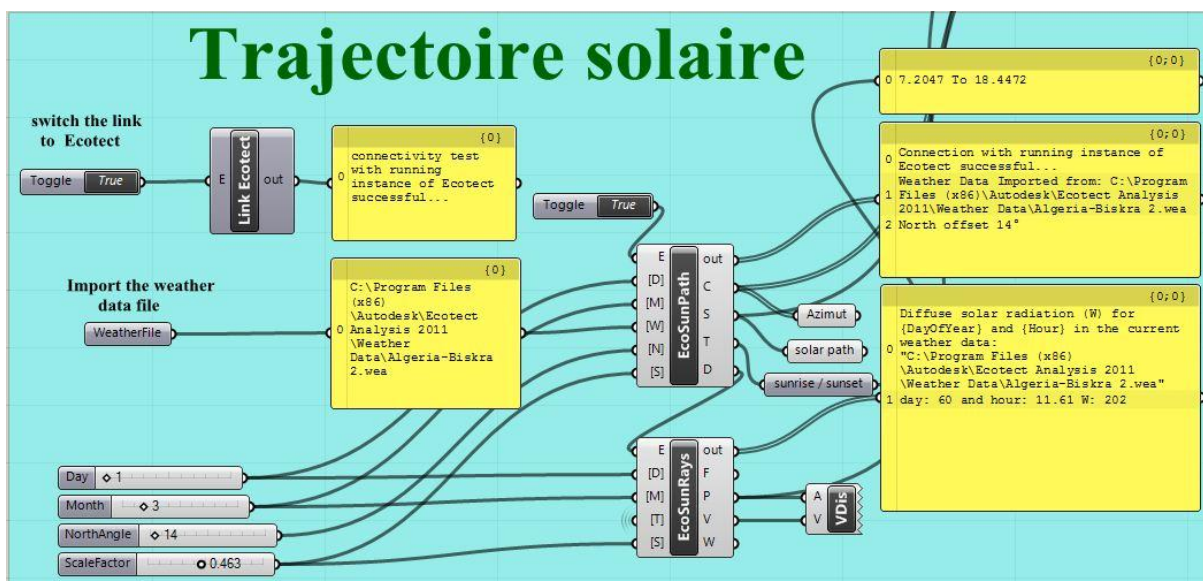


Fig.B.1: Définition paramétrique de la trajectoire solaire - Biskra (Source : Auteur)

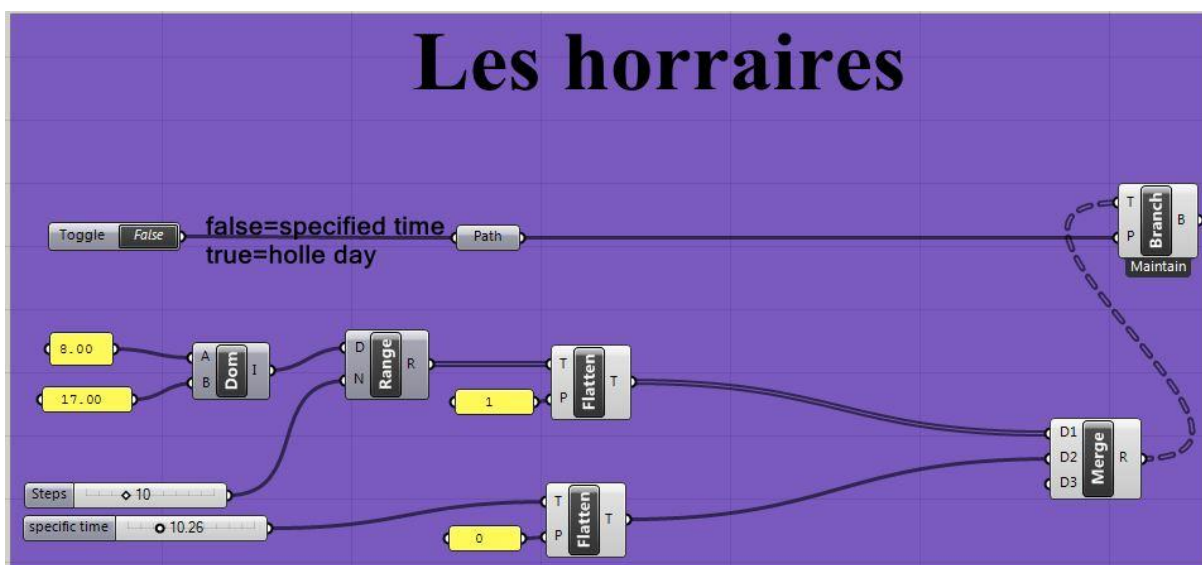


Fig.B.2: Définition paramétrique de la trajectoire solaire - Biskra

A : les horaires, (Source : Auteur)

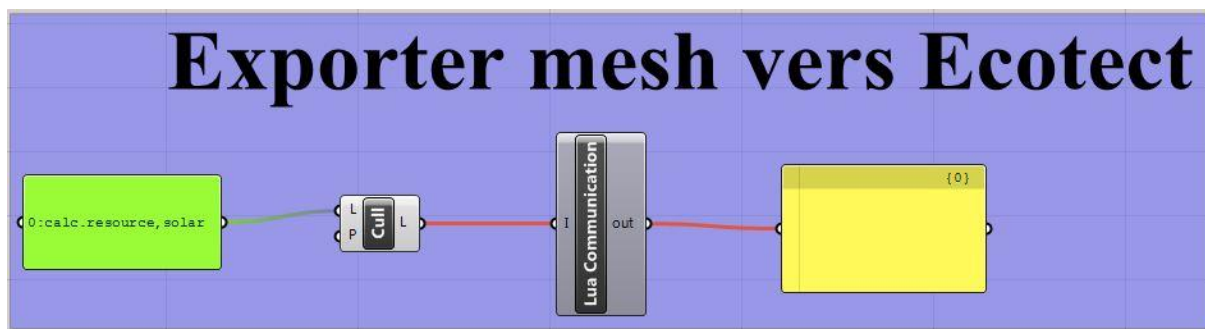


Fig.B.3: Définition paramétrique de l'exportation des Mesh vers Ecotect (Source : Auteur)

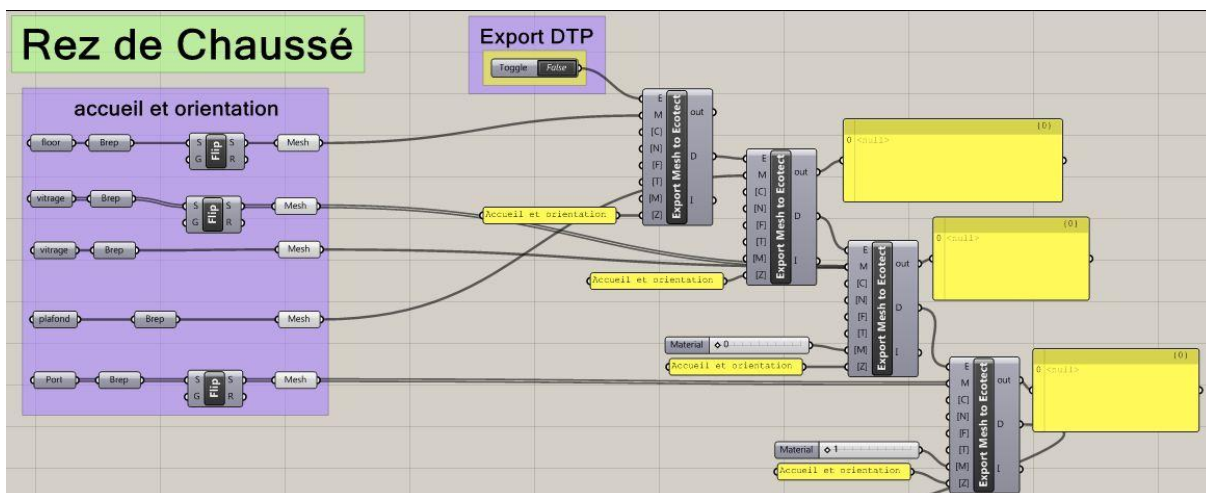


Fig.B.4 : la géométrie du bâtiment importer sur le logiciel Rhinoceros
(Source : Auteur)

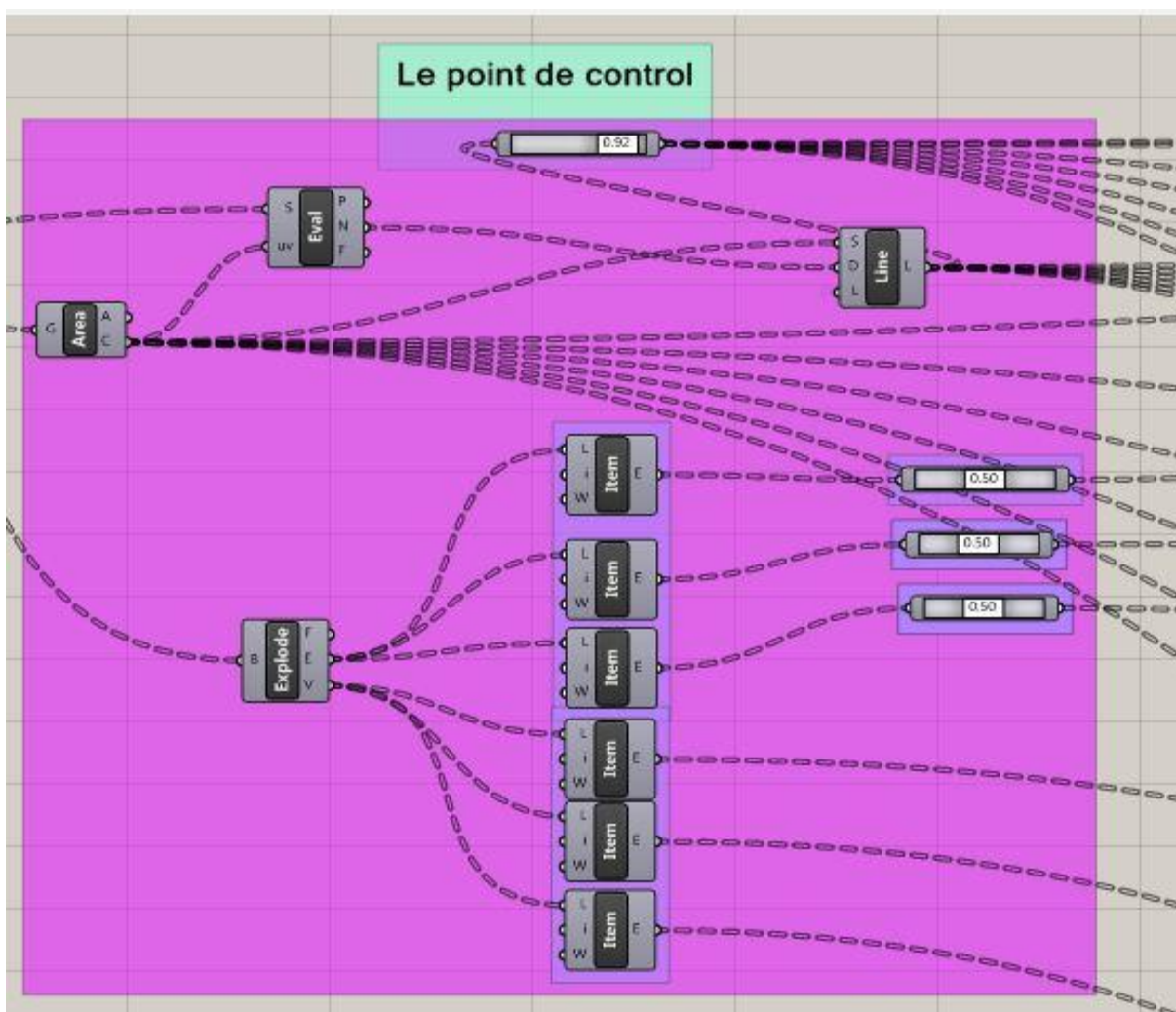


Fig.B.5 : la définition paramétrique des points de contrôle des unités d’ombrage (Source : Auteur)

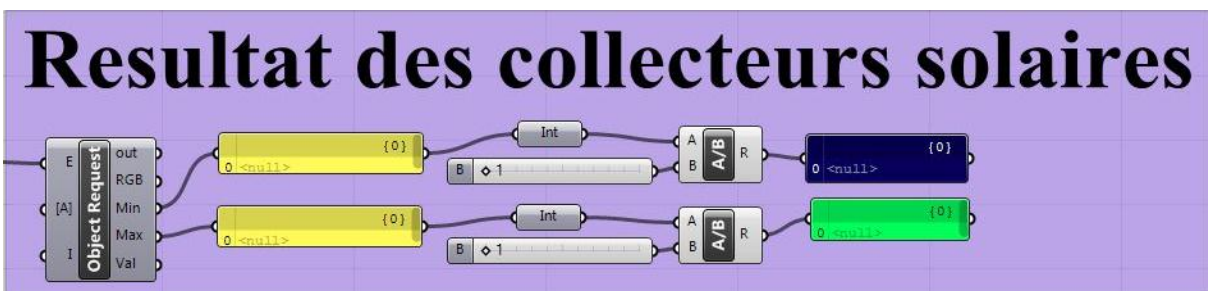


Fig.B.6 : la définition paramétrique des collecteurs solaires (Source : Auteur)

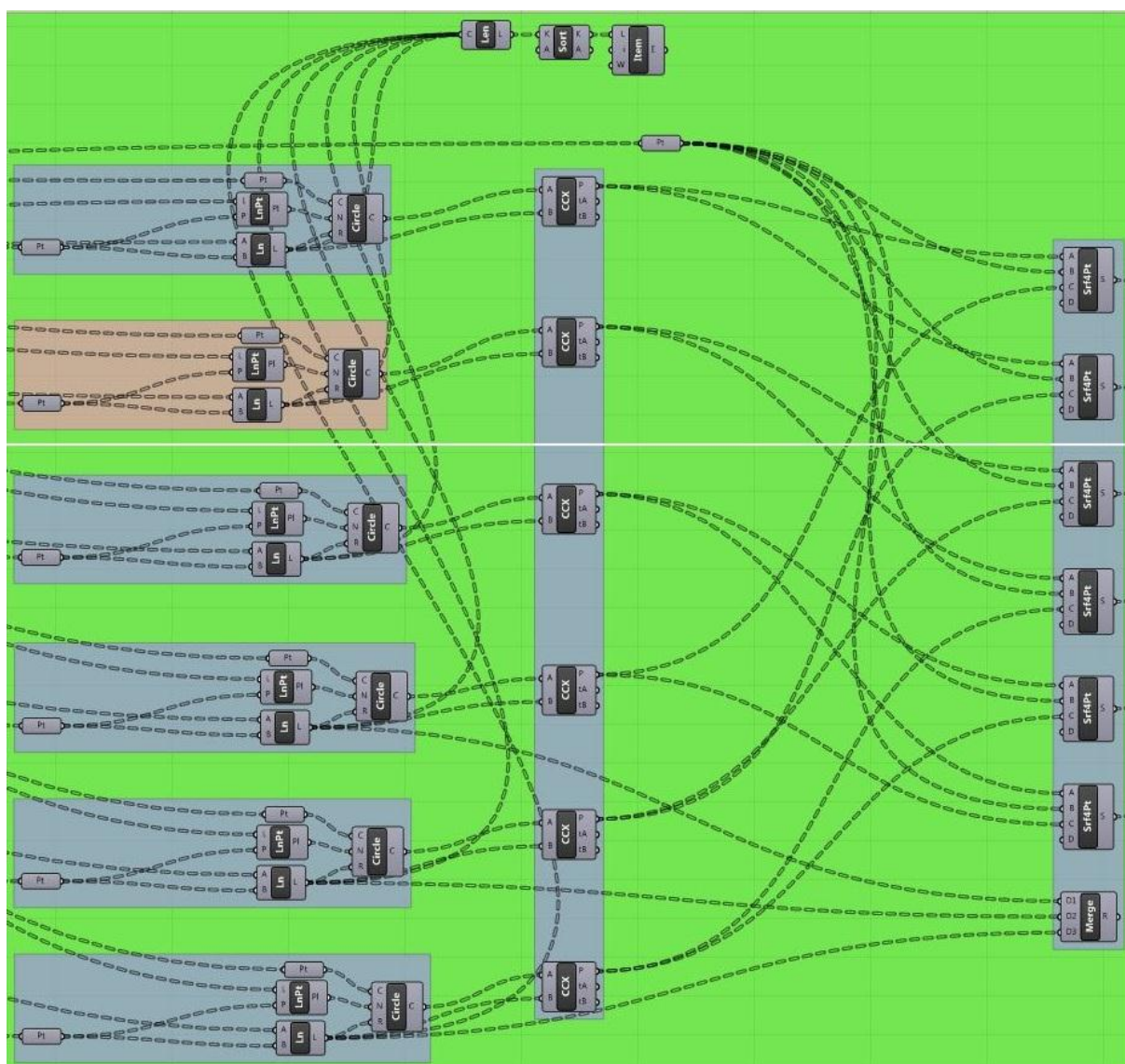


Fig.B.7: la définition paramétrique des dispositifs d'ombrage (Source : Auteur)

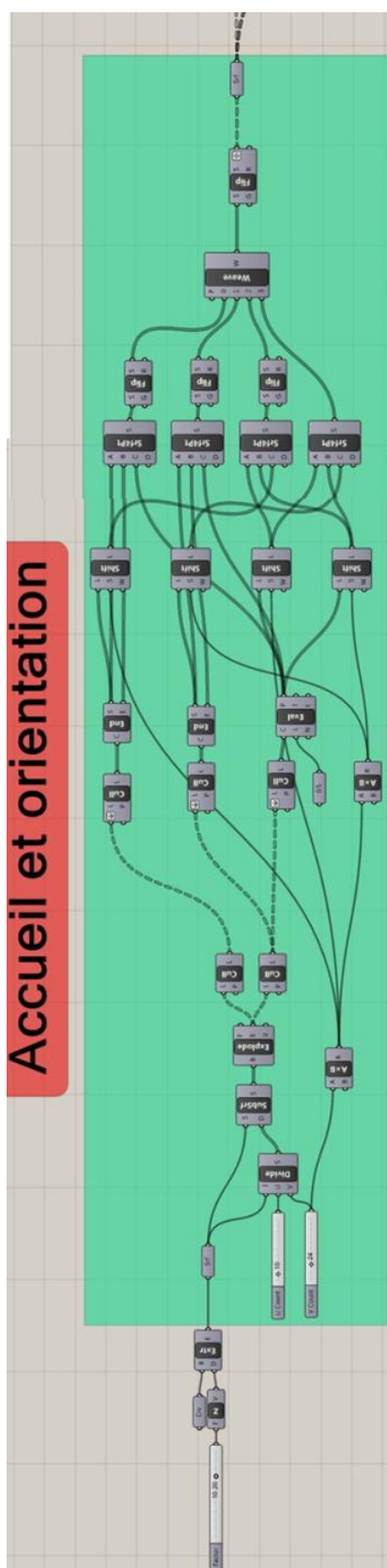


Fig.B.8 : la définition paramétrique des dispositifs d'ombrage (chaque façade) (Source : Auteur)

Abstract

In hot dry climates excess solar gain may result in high cooling energy consumption and indoor discomfort; sun control and shading devices is an important aspect of many energy-efficient building design strategies. Advanced CAD systems that integrate computational tools, such as parametric design systems, make possible and explore ways to formulate a responsive building envelope that could interact with sun position. The parametric design provides innovative building envelopes, which are more adaptive and interactive by actively responding to prevailing weather conditions, for enhancing energy performance and indoor thermal comfort levels. This study attempts to examine and evaluate the effect and performance of smart façades in the context of the indoor thermal comfort and energy efficiency. These parameters are achieved by controlling the levels of solar radiation and by calculating shading element sizes for sun control in response to environmental changes. In order to ensure the systems autonomy the semi-transparent PV modules has been used as panel's material. The method is applied to the case study of a reference office building with a fixed glazed façade windows-to-wall ratio in hot arid climate zone of Algeria, in particular the city of Biskra (latitude 34.6N). The results obtained from modeling simulation, using GECO- grasshopper (parametric plugin for Rhinoceros), shown That kinetic facades equipped with PV modules have greatly influenced in a positive way the indoor air temperature, thermal and visual comfort levels and also, work towards a better environment for the inhabitants instead of simply being the part that separates the interior from the exterior.

Keywords: Kinetic facades, energy efficiency, indoor thermal comfort, Grasshopper, photovoltaic panels, hot dry climates.

الملخص

يعتبر المناخ الجاف و الحار سببا لزيادة الاحمال الحرارية المكتسبة من الاشعاع الشمسي، مما يؤدي إلى ارتفاع استهلاك الطاقة لأجهزة التكييف مع انعدام الراحة الحرارية داخل المباني، لذلك تعد مراقبة مسار الشمس و استعمال وسائل التظليل واحدة من أهم استراتيجيات تصميم المباني ذات الكفاءة في استخدام الطاقة. تتضمن البرامج المتقدمة للتصميم المدعوم بالحاسوب (CAD) العديد من الأدوات الحسابية، مثل نظم التصميم البارامترية، التي تمكن من تطوير سبل تصميم اغلفة معمارية أكثر ابتكارا وتكيفا وتفاعلا من خلال الاستجابة للظروف الجوية السائدة عموما، و وضعيات الشمس المختلفة خصوصا، لتعزيز الكفاءة الطاقية و كذا مستويات الراحة الحرارية، في الأماكن المغلقة. نحاول من خلال هذه الدراسة تقييم تأثير وأداء الواجهات الديناميكية في تعزيز الراحة الحرارية الداخلية وكفاءة الطاقة. ويتحقق ذلك عن طريق التحكم في مستويات الإشعاع الشمسي و حساب أحجام عناصر التظليل للتحكم في هذا الإشعاع استجابة للتغيرات المناخية على مدار العام. ولضمان استقلالية هذا النظام، استخدمنا الواحا شمسية شبه شفافة كمادة لإنشاء هذا النظام. يتم تطبيق هذا النظام في دراسة الواجهات المزججة لمبنى اداري ذي مساحة نوافذ جد معتبرة نسبة الى مساحة جدرانه الخارجية، وذلك في المناطق المناخية الحارة الجافة في الجزائر، وتحديدًا في مدينة بسكرة (خط العرض 34.6 شمالا). النتائج المتحصل عليها من محاكاة النموذج، باستخدام (GECO-Grasshopper) (المساعد البارامترى ل Rhinoceros)، أظهرت أن الواجهات الحركية المجهزة بالواح شمسية أثرت ايجابيا و بشكل ملحوظ على مستوى الراحة الحرارية والبصرية لدى المستخدمين لهذه المباني، كما ساهمت في الحد من استهلاك الطاقة الكهربائية. و هو ما يجعلها تتعدى مجرد كونها عنصرا يفصل بين الداخل و الخارج.

الكلمات المفتاحية: الواجهات الحركية، الكفاءة الطاقية، الراحة الحرارية الداخلية، Grasshopper، الألواح الشمسية، المناخ الجاف والحار.