

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mohamed Seddik BENYAHIA – Jijel
Faculté des Sciences et de la Technologie

Département d'Architecture



Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de :
MASTER ACADEMIQUE

Filière :
ARCHITECTURE

Spécialité :
ARCHITECTURE ET TECHNOLOGIE

Présenté par :
CHARIF Mohamed Mehdi .
LOUCIF Charif .
ZAOUI Manel .

THEME :
IMPACT DE LA FACADE INTELLIGENTE SUR LE CONFORT VISUEL.

Soutenu le :26 Juin 2018

Composition du Jury :

Samira BOUKETTA MAA, Université Mohamed Seddik BENYAHIA - Jijel, Présidente du jury
Ibtissem HALLAL MAA, Université Mohamed Seddik BENYAHIA - Jijel, Directrice de mémoire
Mohammed L CHOUGUI MAA, Université Mohamed Seddik BENYAHIA - Jijel, Membre du Jury

Remerciement :

Je remercie en premier lieu le bon dieu « ALLAH » qui me donnée de la santé, la patience et la volonté pour réussir ce modeste travail.

Un profond respect et remerciement à mon encadreur Mme HALLAL Ibtissem qu'elle était toujours à notre disposition, son aide et son assistance permanente ainsi que ses fructueux conseils.

Je souhaite aussi remercier tous les membres de la spécialité Architecture et Technologie, pour l'intérêt qu'ils ont participé dans ce travail et les discussions que nous avons pu avoir et qui m'ont permis de progresser.

Je ne pourrai oublier tous mes collègues pour leur aide généreuse par la documentation ou même par des simples conseils et avis.

Mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Merci

Dédicace :

*Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir donné la force et le courage de finir ce
modestetravail, que je dédie :*

*À ma très chère mère : Affable, honorable, aimable. Tu représentes pour moi le
symbole de labonté par excellence, et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé
de m'encourager et de prier pour moi.*

*À mon très cher Père : Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon
amour éternel et ma considération pour les sacrifices que tu as consenti pour mon
instruction et mon bien-être, puisse Dieu, le Très Haut, t'accorder santé, bonheur,
une longue vie et faire en sorte que jamais je ne te déçoive.*

À mes très chers frères.

À toute ma famille, mes cousines et cousins, mes oncles, tantes et proches.

*À tous les étudiants de l'architecture et particulièrement mes collègues de
l'université de Jijel.*

*À tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin. À toute personne dont j'ai une
place dans son cœur, que je connais, que j'estime et que j'aime.*

Et, à pour vous tous, Merci.

LOUCIF Charif.

Dédicace :

*Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir donné la force et le courage de finir ce
modeste travail, que je dédie :*

*À ma très chère mère : Affable, honorable, aimable. Tu représentes pour moi le
symbole de la bonté par excellence, et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé
de m'encourager et de prier pour moi.*

*À mon très cher Père : Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon
amour éternel et ma considération pour les sacrifices que tu as consenti pour mon
instruction et mon bien être, puisse Dieu, le Très Haut, t'accorder santé, bonheur,
une longue vie et faire en sorte que jamais je ne te déçoive.*

À mes très chers frères.

À toute ma famille, mes cousines et cousins, mes oncles, tantes et proches.

*À tous les étudiants de l'architecture et particulièrement mes collègues de
l'université de Jijel.*

*À tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin. À toute personne dont j'ai une
place dans son cœur, que je connais, que j'estime et que j'aime.*

Et, à pour vous tous, Merci.

CHARIF Mohamed Mehdi

Dédicace :

Je dédie ce mémoire à :

A mes parents qui m'ont toujours soutenu.

À mon père qui m'as orienté et conseillé.

À ma mère qui était toujours à l'écoute.

A mes sœurs Meryem et Mouna et leur époux.

A mon seul frère Mehdi.

A Siradj Eddine et Sirine .

à mes amies .

à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

Zaoui Manel .

Résumé :

Ce mémoire dont le sujet est l'impact de la façade intelligente sur le confort visuel est non seulement une recherche théorique mais aussi une étude numérique. La façade intelligente répond aux besoins d'adaptation au changement climatique et à l'amélioration des conditions de vie à l'intérieur des espaces. Méconnue en Algérie, elle est connue à travers le monde et même dans le monde arabe (les tours el bahr). Elle est complexe mais elle bénéficie de certaines fonctionnalités et caractéristiques qui la distinguent de la façade traditionnelle.

Le confort visuel a des paramètres liés à la quantité de lumière tels l'éclairement, la luminance et son type d'ouverture, et d'autres liés à la qualité de lumière tels que, la répartition lumineuse, l'éblouissement, l'absence d'ombres gênantes et les facteurs physiologiques et psychologiques. Selon les livres, les revues, et les thèses consultés, la façade intelligente possède des mécanismes qui lui sont propres pour améliorer le confort visuel, l'exemple des tours El Bahr, la façade Temotion et le centre de Genzyme en sont des exemples édifiants.

La simulation numérique a été effectuée au niveau de la bibliothèque du centre universitaire de Mila, Dans notre étude nous avons évalué quantitativement et qualitativement le confort visuel afin de comprendre la relation entre l'éclairement, la distribution lumineuse et la façade intelligente. On a constaté que la façade intelligente a assuré la quantité de lumière suffisante mais pas la qualité. La distribution lumineuse à l'intérieur, n'était pas homogène. L'adoption d'un éclairage zénithal en sus de l'éclairage latéral déjà existant pourrait être la solution pour résoudre le problème ou l'utilisation des plafonds réfléchissant pour réfléchir la lumière au fond de la salle de lecture

Mots clés : (façade intelligente, confort visuel, qualité de lumière, quantité de lumière, lumière naturelle).

ABSTRACT :

This thesis, is about the impact of the intelligent facade on visual comfort, is not only a theoretical research but also an experimental study. The smart façade responds to the needs of adaptation to climate change and the improvement of living conditions inside buildings. Unknown in Algeria but known throughout the world and even in the Arab world (el bahr towers). It is complex but it has some features and features that distinguish it from the traditional facade

Visual comfort has parameters related to the amount of light such as illumination, luminance and the type of windows, and others related to the quality of light such as, light's distribution, glare, shadows and physiological and psychological factors. According to the books, magazines and theses consulted, the smart façade has its own mechanisms to improve visual comfort, for example El Bahr towers, the Temotion façade and the Genzyme center

The simulation was about the library of the Mila's University Center. In our study we have evaluated the visual comfort quantitatively and qualitatively in order to understand the relation between illumination, light distribution and intelligent facade. we found that the smart facade provided sufficient light quantity but not quality. The light distribution inside, was not homogeneous. The adoption of zenith lighting in addition to the existing side lighting could be the solution to solve the problem or the use of reflective ceilings to reflect the light at the back of the reading room .

Key words : (intelligent façade, visual comfort, quality of light, quantity of light ,natural light).

TABLES DES MATIERES.

Dédicaces

-Tables des matières.....	I
-Liste des figures.....	V
-Liste des tableaux.....	VIII
-Liste des abréviations.....	XI

INTRODUCTION GENERALE

Introduction	1
Motivation du choix de thème	2
Problématique.....	2
Hypothèses.....	3
Objectifs de la recherche.....	4
Méthodologie de recherche.....	4
Structure du mémoire.....	4

PARTIE 1 : APPROCHE THEORIQUE.

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LA FACADE INTELLIGENTE.

Introduction	6
I. Définition de la façade intelligente (FI).....	6
II. Analogies biologiques	7
II.1. Intelligence Artificielle (IA) –Cerveau	7
II.2. Peau humaine – Façade intelligente	7
III. Caractéristiques des Façades intelligentes.....	8
IV. Les fonctions	9
V. Mécanisme de la façade intelligente	9
V.1. Collectes de données	9
V.2. Système gestion du bâtiment (SGB)	10
V.3.Réaction	10
VI. La conception d'une façade intelligente.....	11
VI.1. Les acteurs	11
VI.2.Les facteurs affectant sur la conception	12
VI.3. Les composants de la façade intelligente	13
VI.3.1. Les techniques de l'IA.....	13
VI.3.2. le système de la façade intelligente	13
VI.3.3Matériaux intelligents	14
VI.3.3.1 .Définition.....	14

TABLES DES MATIERES.

VI.3.3.2.Types de matériaux.....	14
VII. Inconvénients	14
VIII. Bio mimétisme	15
VIII.1. Définition	15
VIII.2. Les étapes principales de la démarche du bio mimétisme	15
VIII.3. Exemple du bio mimétisme	16
Conclusion	16

CHAPITRE II : NOTIONS DE BASE SUR LE CONFORT VISUEL ET L'ECLAIRAGE NATUREL.

Introduction	17
I. Confort visuel	17
I.1.Définition	17
I.2. Les paramètres du confort visuel	17
I.2.1. paramètres liés à la quantité de lumière	18
I.2.1.1. Eclairage	18
I.2.1.2.la luminance	19
I.2.1.3.Type de fenêtres	20
I.2.2. paramètres liés à la qualité de lumière	20
I.2.2.1.Facteur lumière jour (FLJ).....	20
I.2.2.2. Répartition harmonieuse de la lumière	21
I.2.2.3.Eblouissement.....	21
I.2.2.4.Absence d'ombre gênante	22
I.2.2.5.Les facteurs physiologiques	23
I.2.2.6.Les facteurs psychologiques	23
II.L'éclairage naturel	24
II.1.Définition.....	24
II.2.Type de l'éclairage naturel.....	24
II.2.1.Eclairage latéral	24
II.2.1.1. Eclairage unilatéral	24
II.2.1.2.Eclairage bilatéral	25
II.2.1.3.Eclairage multilatéral	25
II.2.2.Eclairage zénithal	25
II.3. Sources d'éclairage naturel.....	25

TABLES DES MATIERES.

II.3.1. Le soleil.....	25
II.3.2.Le ciel	26
II.4.Les composantes de la lumière naturelle.....	26
II.4.1. La composante directe	26
II.4.2. la composante réfléchie Externe	27
II.4.3. La lumière réfléchie Interne.....	27
II.5. La stratégie d'éclairage naturel	28
Conclusion	29

CHAPITRE III. IMPACT DE LA FAÇADE INTELLIGENTE SUR LE CONFORT VISUEL.

Introduction.....	30
I. Etat de l'art.....	29
II. Mécanisme de FI pour améliorer le confort visuel.....	31
II.1. Collecte de données	31
II.2 .SGB.....	31
II.3. La réaction	32
II.3.1. La rotation des brises- soleils.....	33
II.3.2. Stores vénitiens.....	34
II.3.3.Le mouvement des dispositifs d'ombrage.....	35
II.3.3.1.Principe de conception.....	36
II.3.3.2. Principe de fonctionnement	37
II.3.4.Réaction autonome.....	38
Conclusion.....	39

PARTIE II : APPROCHE OPERATIONNELLE.

CHAPITE IV : PRESENTATION ET SIMULATION DU CAS D'ETUDE.

Introduction.....	40
I. Donnés climatiques	40
I.1. Classification climatique.....	40
I.1.1. Zones climatiques d'hiver.....	40
I.1.2.Zones climatiques d'été.....	41
I.2.L'enseillement	41

TABLES DES MATIERES.

II. Présentation du cas d'étude.....	41
II.1. Présentation de la wilaya de Mila.....	41
II.2. Présentation de centre universitaire de Mila	41
II.3. bibliothèque du centre universitaire.....	41
II.4. plans	42
II.5. Motivation du choix du cas d'étude.....	42
II.6. cellule choisie	42
III. La simulation numérique.....	42
III.1. Les logiciels de simulation utilisés	42
III.1.1. Meteonorm	42
III.1.2. Ecotect	42
III.1.3. Radiance.....	42
III.2. Méthode de simulation.....	43
III.3. Types de façades utilisées.....	43
III.4. Les étapes de simulations.....	44
Conclusion.....	50

CHAPITRE V : ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS.

Introduction.....	51
I. Présentation des résultats.....	52
II. Interprétations des résultats d'éclairément.....	53
II.1. Critères d'interprétations	53
II.2. L'interprétations des résultats	53
III. Interprétations des résultats de distribution lumineuse.....	54
Conclusion.....	61

CONCLUSION GENERALE.

-Conclusion générale.....	64
-Bibliographie	65
-Annexe	
-Résumé	
-Abstract	

LISTE DES FIGURES.

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LA FACADE INTELLIGENTE

Figure 1: illustration représente la manière dont la peau protège les organes.....	8
Figure 2 : comparaison entre le mécanisme du corps humain et de la façade intelligente.....	9
Figure 3 : Un capteur Controlitequi détecte la position du soleil et l'intensité lumineuse.....	10
Figure 4: les techniques de l'IA.....	13
Figure5: les étapes principales du bio mimétisme.....	15
Figure 6: processus d'imitation d'un pétale de fleur.....	16

CHAPITRE II :NOTIONS DE BASE SUR LE CONFORT VISUEL ET L'ECLAIRAGE NATUREL.

Figure 7: diagramme de kruithof	18
Figure8 : la différence d'éclairage entre la zone de travail et la zone environnente.....	19
Figure 9 : Définition de facteur de lumière de jour.....	20
Figure 10 : différence entre éblouissement direct et indirect	21
Figure 11: L'ombre en fonction de la direction.....	22
Figure 12 : L'ombre en fonction de la position de l'observateur.....	23
Figure 13 : relation entre la température de couleur et l'ambiance dans la pièce	23
Figure 14 : une simulation de distribution lumineuse	24
Figure15 : La lumière zénithal a koshino house.....	25
Figure 16 : types de ciels standards.....	26
Figure 17 : représentation schématique des composantes de facteur lumière.....	27
Figure 18: Stratégie de la lumières naturelle.....	28

CHAPITRE III : IMPACT DE LA FAÇADE INTELLIGENTE LECONFORT VISUEL.

Figure19 : Le mouvement des brise- soleils Hiver, été, le matin et après-midi.....	32
Figure 20 : fonctionnement des stores vénitiens	32
Figure 21 : centre de Genzyme.....	33
Figure 22 : coupe présente la stratégie de l'éclairage de centre de Genzyme.....	33
Figure 23 : intérieur d'un bureau de centre Genzyme.....	33
Figure 24 : diffusion de la lumière par les stores.....	34
Figure 25: les tours el bahr Abu Dhabi.....	34
Figure 26: le processus de conception.....	35
Figure 27: principe de conception.....	35

LISTE DES FIGURES.

Figure 28 : mouvement des dispositifs afin d'améliorer les conditions intérieures.....	36
Figure 29 : Comparaison entre les systèmes communs et le système dynamique.....	36
Figure 30 : simulation avant et après l'ajout de système d'ombre	37
Figure 31 :Elément de façade TEmotion par Hydro Building.....	37

CHAPITE IV : PRESENTATION ET SIMULATION DU CAS D'ETUDE.

Figure32 Les zones climatiques d'été (à droite) et d'hiver en Algérie	39
Figure 33 :le diagramme stéréographique de la wilaya de Mila	40
Figure 34 : photo de la bibliothèque du centre universitaire.....	41
Figure 35 : situation de la bibliothèque par rapport au centre universitaire.....	41
Figure 36 : les plans de différents étages.....	41
Figure 37 : La cellule choisie.....	42
Figure 38 : le dispositif d'ombrage choisi.....	43
Figure 39 : La façade simple	43
Figure 40 : La façade avec dispositif d'ombrage ouvert à 45°.....	43
Figure 41 : La façade avec dispositif d'ombrage ouvert à 60°.....	43
Figure 42 : Capture de l'interface logicielEcotect. Rattaché Radiance.....	44
Figure 43 : Capture de l'interface logicielEcotect. « export vers radiance »	44
Figure 44 : Capture de l'interface logicielle Ecotect. Choix de type d'analyse de lumière.....	44
Figure 45 : Capture de l'interface logicielle Ecotect. Choix la façon de présenter l'analyse.....	45
Figure 46 : Capture de l'interface logicielle Ecotect. Choix de la valeur	45
Figure 47 : Capture de l'interface logicielle Ecotect.choix de type de ciel	45
Figure 48 : Capture de l'interface logicielle Ecotect.choix de la journée	46
Figure 49 : Capture de l'interface logicielle Ecotect.choix de l'espace à simuler.....	46
Figure 50 : Capture de l'interface logicielle Ecotect.choix de vue.....	46
Figure 51 : Capture de l'interface logicielle Ecotect.choix de qualité de rendu	47
Figure 52 : Capture de l'interface logicielle Ecotect.vérification de l'installation.....	47
Figure 53 : Capture de l'interface logicielEcotect.vérification des paramètres de rendu	47
Figure54 : Capture de l'interface logicielEcotect. Sommaire des paramètres de rendu	48
Figure 55 : Capture de l'interface radiance	48

CHAPITRE V : ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS.

Figure 56 : les valeurs de niveau d'éclairement à 9 h la façade simple.....	50
Figure 57 : les valeurs de niveau d'éclairement à 9 h la façade simple. (Contours ligne).....	50
Figure 58 : les valeurs de niveau d'éclairement à 9 h façade à dispositif ouvert à 45°	50

LISTE DES FIGURES.

Figure 59 : les valeurs de niveau d'éclairement à 9 h façade à dispositif ouvert à 45°(contours ligne).....	50
Figure 60 : les valeurs de niveau d'éclairement à 9 h façade à dispositif ouvert à 60°.....	51
Figure 61 : les valeurs de niveau d'éclairement à 9 h façade à dispositif ouvert à 60°. (Contours ligne).....	51
Figure 62 : les valeurs de niveau d'éclairement à 10 h façade simple.....	51
Figure 63 : les valeurs de niveau d'éclairement à 10 h façade simple.(contours ligne).....	51
Figure 64 : les valeurs de niveau d'éclairement à 10 h façade avec dispositif ouvert à 45°.....	51
Figure 65 : les valeurs de niveau d'éclairement à 10 h façade avec dispositif ouvert à 45° (contours ligne).....	51
Figure 66 : les valeurs de niveau d'éclairement à 10 h façade avec dispositif ouvert à 60°.....	52
Figure 67 : les valeurs de niveau d'éclairement à 10 h façade avec dispositif ouvert à 60° (contours ligne).....	52
Figure 68 : les valeurs de niveau d'éclairement à 11 h façade simple.....	52
Figure 69 : les valeurs de niveau d'éclairement à 11 h façade simple. (Contours ligne).....	52
Figure 70 : les valeurs de niveau d'éclairement à 11 h façade avec dispositif ouvert à 45°.....	52
Figure 71 : les valeurs de niveau d'éclairement à 11 h façade avec dispositif ouvert à 45° (Contours ligne).....	52
Figure 72 : les valeurs de niveau d'éclairement à 11 h façade avec dispositif ouvert à 45°.....	53
Figure 73 : les valeurs de niveau d'éclairement à 11 h façade avec dispositif ouvert à 45° (Contours ligne).....	53
Figure 74 : Eclairage zénithal.....	61
Figure 75 : schéma d'un plafond réfléchissant	61
Figure 76 : conduites de lumière.....	62

LISTE DES TABLEAUX.

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LA FACADE INTELLIGENTE

Tableau 1. Les principales caractéristiques des façades intelligentes.	8
Tableau 2 : les dimensions et le but des réactions des façades intelligentes.	11
Tableau 3 : les acteurs de conception de FI.	12
Tableau 4: représente les différents systèmes de la FI.....	13

CHAPITRE II :NOTIONS DE BASE SUR LE CONFORT VISUEL ET L'ECLAIRAGE NATUREL.

Tableau 5: éclairement moyen requis en fonction d'activité.....	18
Tableau 6: montre la différence d'éclairement de tache et de zones environnantes	19
Tableau 7 : Exemple de facteur lumière jour pour une habitation	20
Tableau 8 : indice UGR :.....	22
Tableau 9 : Luminance de quelques sources lumineuses (cd/m ²).....	25

CHAPITRE III. IMPACT DE LA FAÇADE INTELLIGENTE SURLECONFORT VISUEL.

Tableau 10 : type fonctionnement des exemples pour améliorer le confort visuel.....	30
--	----

CHAPITRE V : ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

Tableau 11 : Niveaux d'éclairement recommandés	53
Tableau 12 : le niveau d'éclairement maximal et minimal à 9 h.....	53
Tableau 13 : le niveau d'éclairement maximal et minimal à 10 h.....	54
Tableau 14 : le niveau d'éclairement maximal et minimal à 11 h.....	54
Tableau 15 : la distribution lumineuse le 21 juin à 9 h	56
Tableau 16: la distribution lumineuse le 21 juin à 10 h	57
Tableau 17: la distribution lumineuse le 21 juin à 11 h	58
Tableau 18: comparaison des résultats le 21 juin à 9 h	59
Tableau 19: comparaison des résultats le 21 juin à 10 h.....	60
Tableau 19: comparaison des résultats le 21 juin à 11 h	60

LISTE DES ABREVIATIONS.

IA :	intelligence artificielle .
SGB :	système de gestion de bâtiment .
FI :	façade intelligente .
ASSTASS :	association paritaire pour la santé et la sécurité de travail de secteur d'affaire sociale.
FLJ :	facteur lumière jour .
UGR :	unified glare ratio .
B.E.M :	bureau d'étude de Mila .
RGPT :	Le Règlement Général sur la Protection du Travail.

Introduction :

Au vu des transformations qui s'opèrent dans le monde, marquées par le changement climatique, l'environnement immédiat de l'homme, les déplacements des populations, la percée des technologies et la modernisation à outrance de notre quotidien, l'architecture n'est pas en reste et pour ne pas être en retard comparativement aux changements, elle a pris le devant, pour appliquer et imposer de nouvelles méthodes de travail aux fins d'être à la page de l'évolution du monde, et ce par l'utilisation de nouveaux matériaux et l'adaptation de nouveaux concepts architecturaux qui prennent en compte l'environnement, le climat et l'utilisateur de la construction.

L'idée de contrôler le climat est une méthode rudimentaire, elle est apparue pour la première fois en Allemagne et en Grande-Bretagne. Les agriculteurs de ces pays l'utilisaient dans la culture de fruits, légumes, fleurs et autres plantes à l'intérieur de serres en verres, à l'exemple de Palm house Kew conçue par Richard Turner et Bickton glass house à Devon. Les serres sont le point de départ de l'adoption d'une modernisation concrétisée en architecture moderne pour la première fois par le Crystal palace et la rupture avec l'architecture traditionnelle.

Les serres en verre conçues pour contrôler le climat, respectivement par des agriculteurs ont été à l'origine de l'idée de réalisation, en octobre 2000, du programme de l'Union Européenne « COST C13 ¹: Verre et enveloppes de bâtiment interactif » qui a vu la participation de 16 pays européens et des États Unis d'Amérique représentés par Lawrence laboratoires de Berkeley et dont l'issue finale a été la recherche d'interactifs utiles et fiables qui pourraient déplacer l'idée de la conception de la façade intelligente du domaine de la fantaisie au bâtiment réel.

Cette dernière est une partie intrinsèque du bâtiment intelligent ou « smart building » qui a pour objectif de concevoir des systèmes permettant l'intégration de fonctions ou de services indispensables adaptés aux besoins des utilisateurs dans l'habitat. Il s'agit d'appliquer les « smart grids » sur le réseau électrique des bâtiments pour faciliter et améliorer la gestion de l'énergie et des appareils électriques sur le réseau.

¹Michel CRISINEL, *Glass & Interactive Building Envelopes*, IOS Press, 2007, 308 pages, p29.[en ligne] :<https://books.google.dz/> [consulté 18 avril 2018].

« Une construction intelligente doit tenir en compte de l'environnement climatique : soleil, vent, pluie, orientation des pièces en fonction de leurs usage »¹. Pour cela la façade intelligente intègre des dispositifs variables qui contrôlent l'adaptabilité et permettent à l'enveloppe du bâtiment d'agir comme modérateur climatique tout en assurant la réduction de la quantité d'énergie nécessaire pour obtenir des conditions internes confortables. Michael Wigginton, Jude Harris² l'ont décrite comme une composition des éléments de construction confinés qui effectuent des fonctions qui peuvent être individuellement ou cumulativement ajustés pour répondre de façon prévisible aux variations environnementales, pour maintenir le confort avec le moins d'utilisation d'énergie.

C'est dans cette perspective que s'inscrit notre travail de recherche, tout le long duquel, on s'efforcera de démontrer l'acuité de la façade intelligente et son impact sur le confort visuel et qui vise non seulement à réduire notablement la consommation énergétique mais aussi qui tend à procurer le maximum de confort aux usagers, afin d'aboutir à des bâtiments où la modernité puisse s'exprimer avec toutes ses déclinaisons. Nous nous intéresseront précisément aux connaissances et aux méthodes qu'offrent les logiciels informatiques afin d'orienter la conception des bâtiments confortables sur le plan visuel quantitativement et qualitativement.

Motivation du choix de thème :

Le concept de la façade intelligente étant un thème d'actualité, nouveau et pas très connu, surtout dans notre pays, notre choix s'est porté naturellement dessus, pour l'ensemble des qualités architecturales et les conditions de confort et d'économie d'énergie qu'il offre aux utilisateurs et les diverses fonctions qu'elle exécute: la protection contre le soleil, l'isolation, la ventilation, la collecte de chaleur, le rejet de la chaleur, l'atténuation du son, la production d'électricité, l'exploitation des différentiels de pression, l'amélioration et la maximisation de la lumière du jour³ et qui pourrait à court ou moyen terme devenir une vraie source d'innovations et de procédés de construction aux architectes, à vulgariser, particulièrement dans notre pays.

Problématique:

Les façades dites « traditionnelles » ont, de tout temps, joué le rôle avec des fenêtres ouvrables qui laissent pénétrer la lumière à l'intérieur de l'espace tout en négligeant la

¹Éric DURAND, *Habitat Solaire et Maîtrise de l'Énergie* Revue Systèmes Solaire N°17/18 – oct. /nov. 1986 p10.

²Michael WIGGINTON, Jude HARRIS « intelligent skin », Edition Butterworth-Heinemann, 2002, p 23

³ Ibid

sensation des occupants, leurs besoins ou le niveau d'éclairage voulu. Ces derniers ont essayé d'améliorer la situation par l'utilisation des rideaux, des stores ou des dispositifs d'ombrages extérieurs qui peuvent diminuer et/ou protéger d'un excès d'ensoleillement. Les fenêtres étaient généralement petites, opaques, recouvertes de rideaux, laissant pénétrer la lumière mais pas le regard en donnant toujours un sentiment de protection et de sécurité.

Avec le mouvement moderniste, les stores et rideaux sont devenus désuets, aussi les architectes ont opté pour un nouveau concept de façade moderne à laquelle ils ont attribué le nom de façade intelligente. Cette dernière, à l'exemple de la façade traditionnelle, assure la sécurité et la protection de l'utilisateur, avec en sus, le passage du regard et de la lumière, la prise en considération des besoins des occupants et une contribution totale à l'amélioration du confort visuel. Ce dernier étant une impression subjective liée à la qualité et la quantité de la lumière, est lié, principalement, aux types de façades utilisés, à leurs orientations et à la lumière, et exige un éclairage adéquat à la tâche à faire, une luminance uniforme pour assurer la quantité nécessaire de lumière et une absence d'ombres gênantes et d'éblouissement. Il prend également en considération les facteurs physiologiques et la température de couleur pour améliorer la qualité de lumière.

En Algérie l'application des normes de confort visuel est négligée. Les architectes ont adopté un système prototype standard utilisé quels que soient la région ou le climat afin de résoudre les crises de logement, car le plus important pour les pouvoirs publics consiste beaucoup plus à construire en quantité en ne tenant pas compte de la qualité et du confort. L'Algérie, doit se mettre au diapason des pays développés où le confort visuel est devenu une réalité, doit tenter, malgré tout, de s'aligner sur le concept de la façade intelligente. Ni l'argent, ni la crise économique, ni la chute des prix du baril de pétrole ne doivent cependant être un frein à la modernisation des constructions. Nos architectes, que ce soit à Mila ou partout dans le pays, ont besoin de s'émanciper, d'actualiser leurs travaux, d'adopter des éléments nouveaux et de sortir du système de construction traditionnel qui, aujourd'hui, ne répond plus au confort des occupants.

À travers ce travail nous essayerons de répondre aux questions suivantes :

- Quelles sont ses différences avec la façade traditionnelle surtout en matière de confort visuel ?
- Quel est l'impact de la façade intelligente sur le confort visuel ?

Hypothèses :

Nous essayerons, à travers notre recherche, de vérifier les hypothèses suivantes :

- La façade intelligente pourra améliorer la qualité de la lumière à l'intérieur des espaces.
- Une adoption de la façade intelligente pourra-être l'alternative adéquate pour assurer une quantité de lumière suffisante à l'intérieur.
- On peut encourager l'adoption de la façade intelligente par la vulgarisation et la formation de techniciens pour la conception et la maintenance.

Objectifs de la recherche:

1-Vulgariser la façade intelligente en simplifiant le processus de son intégration dans l'acte de bâtir et en définissant ses acteurs et ses facteurs.

2-Présenter les paramètres quantitatifs et qualitatifs de la lumière et du confort visuel.

3-Effectuer une étude numérique sur une salle de lecture de la bibliothèque du centre universitaire de Mila à l'aide d'un logiciel de simulation numérique pour appréhender l'impact de la façade intelligente sur le confort visuel.

Méthodologie de recherche:

Afin de répondre à nos objectifs, deux approches sont nécessaires dans notre travail:

Une approche théorique :

Cette approche sera focalisée sur la documentation et la collecte de données de plusieurs références bibliographiques afin de vulgariser la notions de la façade intelligente et d'approfondir nos connaissances concernant le confort visuel lié à la qualité et la quantité de la lumière et aussi pour connaitre l'impact de la façade intelligente sur le confort visuel.

Une approche opérationnelle:

C'est l'approche opérationnelle de notre recherche, elle consiste à simuler notre cas d'étude « la salle de lecture de la bibliothèque du centre universitaire de Mila » à l'aide des logiciels (Meteonorm, Ecotect et Radiance) afin d'appréhender l'impact de la façade intelligente sur la quantité et la qualité de lumière.

Structure du mémoire:

Le contenu de notre mémoire de recherche se développe depuis l'introduction générale, passant par une partie théorique comportant l'ensemble des notions en rapport avec la thématique de la recherche abordée et une partie opérationnelle comportant la simulation du cas d'étude à l'aide de plusieurs logiciels et se clôturant par une conclusion générale. D'une manière plus détaillée, il se structure comme suit :

Introduction générale :

C'est l'initiation du sujet sous forme d'un préambule sur les problèmes liés au changement climatique, d'une problématique concernant le confort visuel à travers la façade intelligente, de l'énoncé des hypothèses et des objectifs de la présente recherche ainsi que la structure de mémoire.

Une première partie:

Composée de 3 chapitres, elle comporte l'ensemble des notions théoriques liées au confort visuel en général et à la façade intelligente en particulier et à leurs interactions et où l'on tentera d'affiner nos connaissances sur la question :

- Premier chapitre: On vulgarisera la façade intelligente au lecteur
- Deuxième chapitre: On présentera les connaissances globales sur la notion du confort visuel et ses différents paramètres liés soit à la qualité ou la quantité de la lumière.
- Troisième chapitre: on exposera et on approfondira la recherche sur l'impact de la façade intelligente sur le confort visuel.

Une deuxième partie:

Composée de deux chapitres, elle comporte la simulation du cas d'étude après sa présentation et l'explication des étapes de l'expérimentation ainsi que les résultats obtenus.

- Premier chapitre: Nous présenterons le cas d'étude et les étapes de simulation.
- Deuxième chapitre : Nous interpréterions les résultats obtenus.

Conclusion générale :

On finalise notre recherche par une conclusion générale synthétisant le mémoire avec les résultats obtenus et les recommandations proposées.

Introduction

L'utilisation du mot « intelligent » avec le terme américain « smart » a commencé dans le début des années 1980¹ pour décrire les techniques avancées dans les bâtiments. C'est donc à partir des eighties que les façades des bâtiments ont été incorporées dans des fonctionnalités très avancées prenant le nom de « peau intelligente » : une façade qui nécessite une intégration des capacités réactives permettant de modifier la forme de la façade en fonction de stimuli quotidiens et saisonniers et de l'environnement immédiat afin de réduire la consommation de l'énergie et augmenter l'efficacité des bâtiments. Dans ce chapitre nous exposerons des notions générales sur la façade intelligente en débutant avec ses définitions, ses mécanismes, sa conception, ses caractéristiques et ses inconvénients et on finit par biomimétisme, un principe qui assura son succès.

I. Définition de la façade intelligente (FI):

KRONENBURG² définit les façades intelligentes comme: *“Les façades qui réagissent à la lumière du soleil comme l'iris d'un œil humain ou les pétales d'une fleur ou deviennent opaque lorsque le besoin d'intimité est détecté ne sont pas seulement utiles aux habitants du bâtiment, mais servent également de signal aux personnes à l'extérieur du bâtiment, cette activité prend place et que l'architecture est active”*.

Selon **WIGGINTON Michael** et **HARRIS Jude** la FI est définie comme un contrôleur actif et réactif des échanges entre l'extérieur et l'intérieur avec la capacité de fournir un confort optimal. Donc l'enveloppe devient une membrane adaptative et dynamique grâce à l'information recueillie par des capteurs, ou par des matériaux est transformé en action³.

Selon **JOSE Manuel** et al la FI peut être définie aussi comme une façade dotée de la capacité à réagir d'une manière autonome aux stimulations environnementales. Cette recherche de la réactivité s'inscrit dans une démarche de recherche d'efficacité énergétique mais aussi d'amélioration du confort de l'édifice⁴.

¹MICHAEL Wigginton, JUDE HARRIS : *intelligent skin*, Edition Butterworth-Heinemann, 2002, p 20, [En ligne] : <https://disegnodiezunibe.files.wordpress.com/2011/05/intelligentskins.pdf>. [consulté 3 Avril 2018].

²KRONENBURG Robert, *Flexible Architecture that respond to change*, édition Laurence King, 2007, p 213.
³Ibid.

⁴JOSE Manuel Camara et al, *La ville inversée : urbanité suspendue*, soutenue à l'école nationale supérieure d'architecture de Grenoble, Juin 2013, p 90. [en ligne] : <http://www.grenoble.archi.fr/pdf/etudes/m2-ambiances/la-ville-inversee-urbanite-suspendue.pdf>. [consulté le 8 Avril 2018].

Selon **SHENGWEI Wang**¹, la FIc'est la façade qui peut :

- Changer ses propriétés thermo physique comme : la résistance thermique, la transmission, l'absorption, la perméabilité.
- changer les couleurs intérieurs ou extérieurs.
- Changer ses propriétés optiques.
- Fournir un control manuel aux occupants tant qu'elle est dotée d'un système de control centrale.

Donc d'après les définitions précédentes on déduit que la FI ou peau intelligente est une façade qui s'adapte automatiquement aux changements climatiques extérieur afin d'améliorer le confort à l'intérieur. Elle s'autorégule.

II. Analogies biologiques :

II.1. Intelligence Artificielle (IA) –Cerveau :

Dans son livre « Intelligent Buildings », **Brian ATKINS**² qualifie les bâtiments intelligents comme suit :

- ❖ Les bâtiments doivent «savoir» ce qui se passe à l'intérieur et à l'extérieur.
- ❖ Les bâtiments doivent «décider» de la manière la plus efficace de fournir un environnement confortable et productif pour les occupants.
- ❖ Les bâtiments doivent répondre rapidement aux demandes des occupants.

A partir de ces caractéristiques là on constate que l'intelligence est relative à la possession de facultés intellectuelles qui fournissent une capacité de compréhension et de réaction. Elle nous permet de comprendre la signification de l'information reçue et d'appliquer la connaissance acquise par un processus de raisonnement. La même capacité appliquée aux objets inertes reçoit le nom d'IA qui, à son tour, est comparée au cerveau.

II.2. Peau humaine – Façade intelligente :

Comme l'IA est comparée au cerveau, l'édifice intelligent a son analogue biologique dans le corps humain, dont la peau est, métaphoriquement, FI de l'édifice.

La peau humaine est le plus grand organe dans le corps humain. Elle réagit de la même façon que la FI; elle s'adapte à la température ambiante à l'humidité et peut se réparer elle-même. La peau a pour fonction de réguler la température corporelle pour la maintenir vers

¹SHENGWEI Wang, « *Intelligent Buildings and Building Automation* », edition Routledge, 4déc 2009, 248.[en ligne]:<http://www.sau.ac.me/ENERESE/Intelligent%20Buildings%20and%20Building%20Automation,%202010%20Edition.pdf>.[consulté 02 Avril 2018].

² AL THOBAITI, Mohammed M., "*Intelligent and Adaptive Façade System: The Impact of Intelligent and Adaptive Façade on The Performance and Energy Efficiency of Buildings*" (2014), université Miami Open Access Theses. 511. http://scholarlyrepository.miami.edu/oa_theses/511. [consulté 29 Mars 2018].

36,8°C. Les glandes sudoripares rafraîchissent le corps en sécrétant de la sueur qui génère du froid par son évaporation, elle est capable de se réparer elle-même et de nous protéger. Cette relation se répète aussi avec l'enveloppe-édifice. La peau humaine consiste en deux différentes couches, la couche extérieure "épiderme" et la couche intérieure "derme". (Voir figure 1).

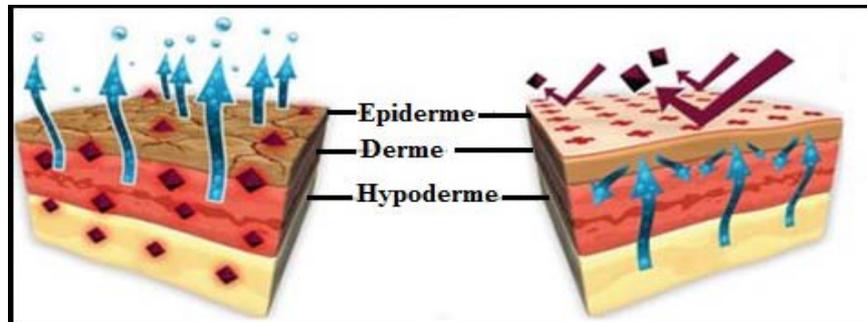


Figure 1: illustration représente la manière dont la peau protège les organes.
Source : (<http://www.caecilian.org/>).

III. Caractéristiques des Façades intelligentes

Les résultats de l'étude de Skelly¹, basés sur un examen minutieux indiquent explicitement qu'une FI doit être sensible à trois paramètres principaux : les conditions météorologiques, le contexte et les occupants. Les relations entre la FI et les paramètres doivent être dynamiques, non linéaires, multidimensionnels et immesurables (voir tableau 1).

Tableau 1. Les principales caractéristiques des façades intelligentes.
Source : MOSTEFA.M.S.Ahmed, 2015.

Caractéristique	Explication
Non-linéaire	Les paramètres montrent différents comportements dans différentes régions
Multidimensionnel	Plusieurs mécanismes réagissent de façon complexe
Immesurable	Difficile à mesurer,
Dynamique	Paramètres change avec le temps

IV. Les fonctions :

Selon **Andrew HARRISON** et al², la FI doit contrôler une variété de flux telle que :

- Eau : pluie, humidité, condensation.

¹M.skelly, Essay competition: The individual and the intelligent facade, *building research and information*, volume 28, 18 oct 2010, pp 67-69. [en ligne] : <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/096132100369118>. [consulté 22 Mars 2018].

²Andrew Harrison et al, *Intelligent Buildings in South East Asia*, édition Taylor & Francis, 5 octobre 2005, 192p, p 31, [En ligne] : <https://books.google.com/>. [consulté le 2 avril 2018].

- Air : vent et ventilation.
- Son : désiré ou non désiré.
- Lumière : naturelle, artificielle et l'éblouissement.
- Vue : intérieure, extérieure et le respect de l'intimité des occupants.
- Chaleur : rayons solaires, la température.
- Incendie : chaleur, fumée.

En général, il y a eu des arguments à propos de ces sept caractéristiques, mais elles varient selon les conditions climatiques, les exigences de construction, l'interaction entre les conditions climatiques et la performance de l'organisme de construction, avec une interaction plus élevée entre l'enveloppe, les services de construction et le contexte environnemental.

V. Mécanisme de la façade intelligente :

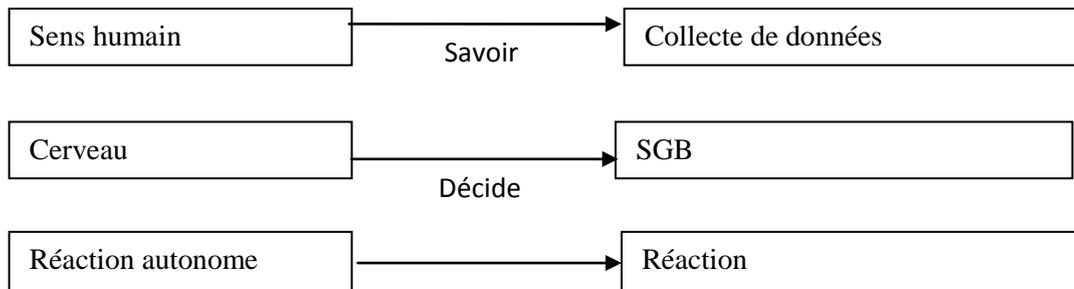


Figure 2 : comparaison entre le mécanisme du corps humain et de la façade intelligente.
Source : GAUTAMIPaul, « dissertation report on intelligent skin», [En ligne] :(<https://issuu.com/>).

V.1. Collectes de données :

Le système obtient les informations sur la vitesse du vent, l'humidité, la température, le niveau d'éclairage par des capteurs qui jouent le même rôle des récepteurs sensoriels dans le corps humain. Ces récepteurs transforment les stimuli spécifiques en message nerveux sensitifs. Ces messages nerveux sont transmis au cerveau¹

Les informations sont collectées par le capteur, un dispositif qui permet de convertir une grandeur physique en un signal électrique. Ceci permettra un traitement du signal électrique par des structures électroniques à des fins de mesures et/ou de commandes² (voir figure 3).

¹Mon année au collège, [en ligne]:<https://www.monanneeaucollege.com/4.svt.chap12.htm>. [consulté le 02 Avril 2018].

²Gilles BERTHOME, [en ligne]: <http://gilles.berthome.free.fr/>, [consulté 02 Avril 2018].

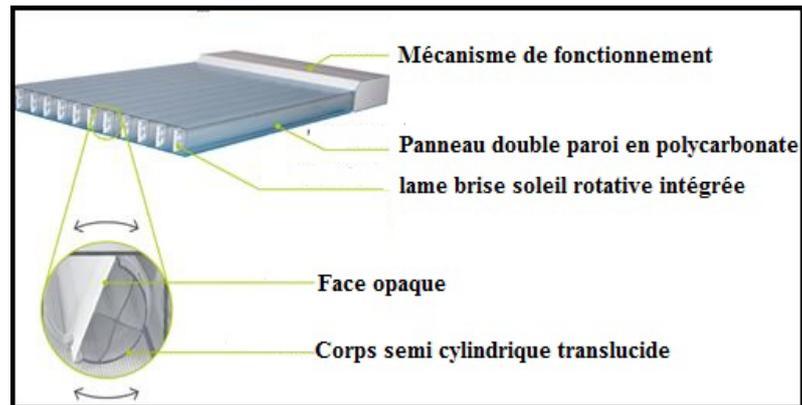


Figure 3 : Un capteurControlite¹ qui détecte la position du soleil et l'intensité lumineuse.
Source : compagnie Everlite architecture lumière. [En ligne] :(<http://www.everliteconcept.com>).

V.2. Système gestion du bâtiment (SGB) :

Le SGB est l'unité de traitement centrale qui reçoit toutes les informations provenant des différentes stations de capteurs et qui détermine la réponse convenable. Un SGB est capable de surveiller les changements climatiques et de contrôler le fonctionnement des systèmes environnementaux passifs et actifs afin d'assurer l'utilisation la plus efficace de l'énergie. Une de ses fonctions les plus vitales est de réguler la température en activant tous les éléments contrôlables dans le bâtiment pour y parvenir naturellement²

V.3.Réaction :

L'étude de **TOMBAZIS**³ a montré que la peau humaine comparée à une FI est parfaite, car elle réagit en multicouches avec une capacité d'auto guérison, elle est capable de récupérer les cellules endommagées et est adaptable au changement de l'environnement³. Elle a le même principe de réaction que la FI.

L'étude de **WIGGINTON** et **HARRIS**⁴ a montré l'importance de la performance de la FI qui est capable de s'adapter avec les changements environnementaux par des réactions qui répondent au besoin des occupants (Qualité d'air, ventilation, thermique, acoustique, éclairage ...)

Selon **COMPAGNO**⁴ l'essentiel de la FI c'est son interaction avec les bâtiments qui l'entourent et avec l'environnement immédiat et non pas son mécanisme et sa technologie le plus important c'est la réaction. Sa réaction a des dimensions visées et des buts attendus (voir tableau 2).

¹ Le système controlite : un système intelligent de contrôle des apports lumineux et caloriques du soleil.

² Ibid p 6.

³ TOMBAZIS, A.N., "On skins and other preoccupations of architectural design", Renewable Energy, Elsevier Science Ltd., 1996, p 53.

⁴ COMPAGNO, A., "Intelligent glass façades: material, practice, design", Basel: Birkhäuser Verlag., 1999.

Tableau 2 : les dimensions et le but des réactions des façades intelligentes.
Source : conférence Dr. Anwar Subhi Al-Qaraghuli Waleed Saad Alawsey.

Dimensions visés	Environnemental	Lumière	
		Thermique	
		Acoustique	
		Qualité d'air) ventilation	
	Visuel	Transmission visuel	
		Transparence	
	Esthétique	Composition	
Forme et finition			
But	Efficience	Réduire condition d'air	
		Réduire éclairage artificiel	
	Interaction	Parties d'interaction	Environnement immédiat.
			Exigence de façade.
			Les occupants.
		Capacités d'interaction	Avec les variations.
			Avec les conflits.
			Avec comportement des occupants.
		Propriété d'interaction	Ajustement et adaptation.
			Flexibilité.

VI. La conception d'une façade intelligente :

VI.1. Les acteurs :

L'intégration de la FI avec le reste des composants des bâtiments est vitale. , Puisqu'elle fait partie du système de contrôle global du bâtiment, son intégration doit être issue de l'effort et de l'accord des différents acteurs dans le processus de conception (construction, exploitation et maintenance). Pour cela **DAVIES**¹ et al ont insisté sur la prise des décisions en prenant en considération tous les participants (les usagers, les architectes, les experts et les techniciens de maintenance). Chacun d'eux joue un rôle différent et dans la plupart des temps ils ont des objectifs différents ce qui rend la prise de décision plus difficile. **FITZGERALD**² considère les occupants (les usagers) comme la plus susceptible raison de l'échec ou de succès des systèmes (Voir tableau 3).

¹ DAVIES, M et al, "A translucent Louvre system: design concepts, modeling work and monitored data", Information, Volume 28, 2000.

² FITZGERALD, J., & FITZGERALD, A.F., "Fundamentals of systems analysis. Using structured analysis and design techniques", édition 1973, New York, 1987. P 248.

Tableau 3 : les acteurs de conception de FI.

Source : conférence Dr. Anwar Subhi Al-Qaraghuli Waleed Saad Alawsey.

Les acteurs	Caractéristique
Le propriétaire (le bénéficiaire)	Conscient de l'importance et des avantages de la FI
	Pensée futuriste
Les architectes et les experts	capables de choisir les techniques et les traitements appropriés pour le bâtiment
	Contrôler la planification, le processus de conception et la durée
	Avoir la capacité de gérer des systèmes intelligents.
Les occupants (les usagers)	Capables de comprendre les systèmes intelligents dans les façades
	Convaincus de l'importance des façades intelligentes
	Interaction satisfaisante avec la FI (contrôle, prise de décision)
Technicien de maintenance	Assurer la maintenance en termes de modification, de mise à jour, de remplacement

VI.2. Les facteurs affectant sur la conception :

L'étude de **LITTLEFAIR**¹ a montré que l'objectif de performance spécifique pourrait jouer un rôle principal dans la prise de décision et pourrait être aussi la principale motivation dans le processus de conception de la FI, qui augmente le confort de l'utilisateur et continue à fonctionner les dépenses au minimum. Ainsi que d'autres facteurs économiques environnementaux et écologiques.

- **Facteurs économiques :**

- Coûts d'exploitation et maintenance.
- Coût initial.

- **Facteurs environnementaux et écologiques**

- développement durable.
- performances environnementales efficaces.

- **Les objectifs**

- Investissement.
- performances spécifiques pour le bâtiment.
- Objectifs personnels et motivations pour réaliser certaines tendances.

¹LITTLEFAIR, P.J., "Innovative daylighting: Review of systems and evaluation methods", Lighting Research and Technology 22, 1990. [en ligne]:<http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/096032719002200101>, [consulté le 03 avril 2018].

Au vu de ce qui précède, concevoir une FI nécessite l'accord total des différents acteurs participant au processus de conception, la satisfaction des besoins des usagers devrait être l'objectif premier du réalisateur de l'ouvrage.

VI.3. Les composants de la façade intelligente :

VI.3.1. Les techniques de l'IA (Voir annexe I) :

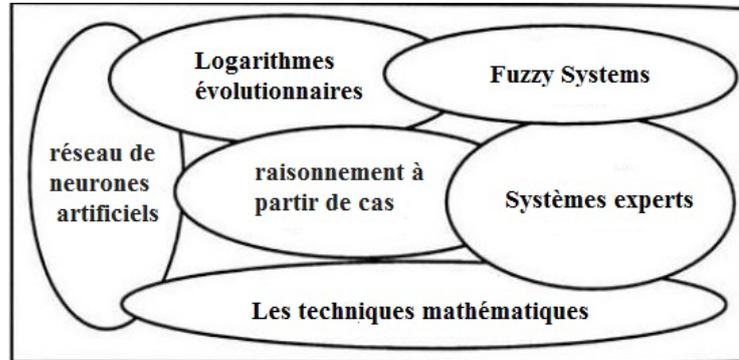


Figure 4: les techniques de l'IA.,

Source : WYCKMANS Annemie, 2005, « intelligent building envelopes » .

VI.3.2. le système de la façade intelligente :

La FI consiste en un ensemble de systèmes intégrés les uns aux autres pour effectuer l'enveloppement d'un bâtiment avec une couche protectrice qui peut augmenter le confort des utilisateurs tout en réduisant la consommation énergétique. Ces systèmes ne concernent pas uniquement la façade mais la globalité du bâtiment¹. (Voir tableau 4).

Tableau 4: représente les différents systèmes de la FI

Source :ibid.

Système de la façade intelligente	Système de sécurité	Caméras de surveillance thermique
		Systèmes de circuits de télévision temporaires
		Système de contrôle d'accès
		Techniques sensorielles
		Capteurs sans fil
	Système contrôle environnemental	Systèmes de chauffage / Refroidissement et ventilation (CVC)
		Systèmes de gestion de l'énergie des bâtiments (BEMS)
		Systèmes de contrôle solaire des persiennes et des vitres
	Gestion de circuits électriques	Systèmes de gestion de l'alimentation électrique
		Systèmes de gestion de câblage
Systèmes d'éclairage		

¹SHERBINI, K & KROWCZYK, R. conference: "Overview of Intelligent Architecture", la première conférence internationale, E-Design in Architecture, Dhahran, Saudi Arabia, 2004. [en ligne]: <http://mypages.iit.edu/~krawczyk/ksascad04.pdf>. [consulté le 28 Mars 2018].

VI.3.3 Matériaux intelligents :

VI.3.3.1 .Définition :

Un matériau selon **Hanna MODIN**¹ est considéré comme intelligent s'il présente les caractéristiques suivantes :

- Une réponse immédiate, en temps réel.
- Une réponse à plusieurs états environnementaux.
- L'intelligence est dans le matériau lui-même.
- Sélectivité : la réponse est prévisible et discrète.

VI.3.3.2. Types de matériaux:

Selon **ADDINGTON** et **SCHODEK**² Les matériaux intelligents peuvent être divisés en deux groupes différents, selon leur réaction à l'énergie (stimuli):

- Type 1: le matériau absorbe l'énergie et subit un changement.
- Type 2: les matériaux qui restent les mêmes mais qui ont la capacité de convertir l'énergie d'un type à l'autre.

On peut souligner l'importance de ce type de matériaux dans la conception des FI ou ce terme est donné aux matériaux qui accordent son état physique à certaines incitations chimiques ou physiques³. D'autres part tous ces matériaux et technologies et leur mécanisme très avancé ne sont pas assez pour créer FI qui a la capacité d'atteindre un climat interne confortable .et doivent pris en considération d'autre facteur.

Nous pouvons conclure, au vu de ce qui précède, que les façades intelligentes diffèrent selon leur apparence, les différents matériaux intelligents, les technologies d'IA appliquées, le système intelligent choisi et le nombre de couches.

VII. Inconvénients :

- la maintenance : plus un système est complexe plus il devient fragile avec un cycle de vie plus court et une maintenance plus coûteuse.
- le coût : la FI coûte beaucoup plus de la façade traditionnelle et ça revient à l'utilisation de matériaux chers.

¹HANNA MODIN, Thèse Adaptive building envelopes pour obtention de Master en architecture à l'université de Chalmers à Göteborg Suède 2014 p23, [en ligne] : <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/214574/214574.pdf>, [consulté 02 Mai 2018]

² ADDINGTON M., Schodek, D: « *Smart materials and technologies in architecture* », édition: presse architecturale, 2005, Oxford, p 79, [en ligne] : <https://bintian.files.wordpress.com/2013/01/smart-materials-new-technologies-for-the-architecture-design-professions.pdf>, [consulté 23 avril 2018].

³RITTER, Axel. "*Smart Materials in Architecture, Interior Architecture and Design*", Architectural Press, Berlin, 2007.p 101.

- Courte durée de vie
- Des problèmes de gestion issus de sa complexité.
- Le besoin de spécialistes pour régler les problèmes

VIII. Bio mimétisme :

Une autre raison du succès croissant des façades intelligentes est l'application des principes bio mimétisme.

VIII.1.Définition :

Forgé à partir de deux racines grecques, bios, vie, et mimesis, imitation, ce néologisme désigne la démarche immémoriale de l'espèce humaine qui consiste à observer la nature et à s'en inspirer pour innover, améliorer sa condition, ses productions... le biomimétisme se concrétise dans l'univers des formes, des matériaux, des procédés et des systèmes¹.

VIII.2.Les étapes principales de la démarche du bio mimétisme :

Selon l'Organisation « institut du bio mimétisme »² les étapes principales de la démarche du bio mimétisme sont : identification, interprétation, recherche, imitation, évaluation (voir figure 5).

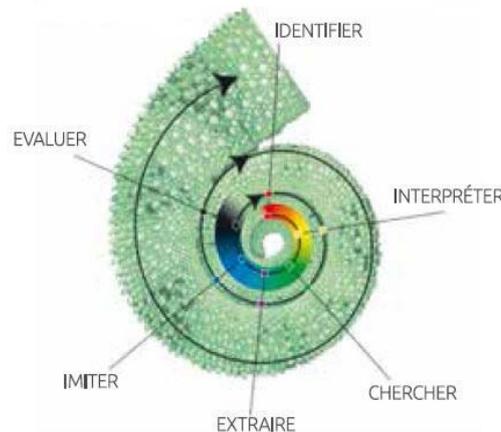


Figure5:les étapes principales du bio mimétisme.

Source : site fondation (la main à la pâte).URL :(<https://www.fondation-lamap.org/>).

- Identifier : élaborer le mémoire explicatif du besoin/problème humain
- Interpréter : traduire le mémoire explicatif en termes biologiques et définir des paramètres

¹ Patricia RICARD, *Le bio mimétisme : s'inspirer de la nature pour innover durablement*, présenté au nom de la section de l'environnement, journal officiel de la république française 49, [en ligne] : http://www.lecese.fr/sites/default/files/pdf/Avis/2015/2015_23_biomimetisme.pdf. [consulté le 03 Avril 2018]

² Site de l'organisation « institut de bio mimétisme » : [en ligne] : <https://biomimicry.org/biomimicry-design-spiral/> Consulté : [06 Mars 2018].

- Chercher : chercher des exemples biologiques qui répondent aux besoins définis.
- Extraire : identifier des schémas et créer une taxinomie (description et classification des organismes vivants).
- Imiter : développer des solutions qui s'appuient sur les schémas biologiques.
- Evaluer : évaluer les solutions selon les principes du vivant.

VIII.3. Exemple du bio mimétisme :

On donne l'exemple du processus d'élaboration d'une FI en imitant le principe d'ouverture des pétales de fleur. Quand l'ensoleillement atteint 30 % les pétales commencent à s'ouvrir, à 60% les pétales s'ouvrent à 50 %, à 90 % la fleur s'ouvre totalement. Le principe d'ouverture de la FI est identique à celui de la fleur.

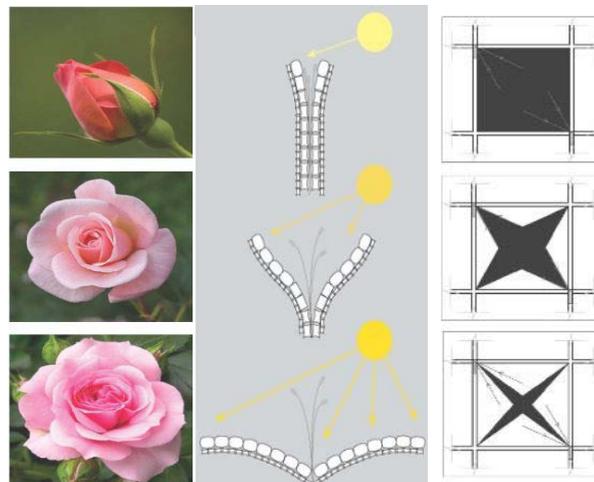


Figure 6: processus d'imitation d'un pétale de fleur.
Source :(<http://intelligentskins.serero.com/>).

Conclusion :

La façade intelligente avec ses mécanismes développés, ses fonctions, ses caractéristiques, ses différents types et son processus de conception complexes doit être prise en considération par l'état et les architectes, non seulement puisqu'elle est un thème de tendance mais aussi puisque ses derniers jouent un rôle primordial le processus de conception qu'ils doivent l'englober. Ils doivent connaître les différents systèmes d'intelligence artificielle, les matériaux intelligents utilisés, ses composants et son mécanisme. Leur rôle dans la conception de ce type de façade et son intégration aux domaines de construction est essentiel puisque c'est à eux de créer, imaginer et de populariser ces nouvelles technologies en insistant sur l'investissement dans ce domaine avec des spécialistes pour bénéficier peut-être des avantages de la révolution technologique que de la révolution industrielle.

Introduction :

Fabio MARCHESI¹a cité les bienfaits du soleil et de l'éclairage naturel sur notre santé par rapport à l'éclairage artificiel ainsi que ses effets sur la santé et il améliore la productivité et pour cela il faut qu'il soit pris en considération par les architectes afin d'assurer le confort visuel des usagers et donc jouir de ses bienfaits. Dans ce chapitre nous simplifions les notions de l'éclairage naturel et du confort visuel et nous essayons de souligner les points de convergence entre eux et d'affirmer leur relation mutuelle et éternelle dont la bonne compréhension de la notion de l'éclairage naturel nous mène directement à l'amélioration et l'assurance du confort visuel voulu dans un espace et la connaissance de ses paramètres nous aident aussi à choisir le type d'éclairage naturel adéquat.

I. Confort visuel :

I.1. Définition :

Le confort visuel est, non seulement une notion, objective faisant appel à des paramètres quantifiables et mesurables, mais aussi à une part de subjectivité liée à un état de bien-être visuel dans un environnement défini².

Selon **ASSTSAS**³ (association paritaire pour la santé et la sécurité de travail de secteur d'affaire sociale) : la sensation de confort visuel est procurée lorsqu'il est possible de voir les objets nettement et sans fatigue dans une ambiance colorée agréable. Le confort est aussi une impression subjective liée à la quantité, la distribution et la qualité de la lumière

Selon **l'association HQE**⁴ (haute qualité environnementale) elle définit le confort visuel comme « la dixième cible du projet du bâtiment HQE ».

Selon **DENEYER** Le confort visuel c'est les conditions d'éclairage nécessaires pour accomplir une tâche déterminée sans entraîner de gêne pour l'œil⁵. Donc on déduit que la sensation de confort est liée à la perception de l'objet sans difficulté.

I.2. Les paramètres du confort visuel :

Les paramètres du confort visuel dans lesquels l'architecte joue un rôle .ils peuvent être répartis en paramètres liés à la quantité de la lumière (éclairage, la luminance) et

¹Fabio MARCHESI¹, *les bienfaits de la lumière sur votre santé*, Éd. du Dauphin, 2008

²Eco-systèmeMy STI2D :
[En ligne] : <http://www.mysti2d.net/legarros/AC/07/Le%20confort%20visuel/Le%20confort%20Visuel.html?Documentsdesynthse.html> [Consulté 03 Avril 2018].

³ASSTSAS, [En ligne] : <http://asstsas.qc.ca/>. [Consulté 03 Avril 2018].

⁴Association ARCHLINK: [En ligne] : <http://www.archilink.com/~FM/ALFA-DDQE/FOV7-0011B181/HQE-10.pdf> [consulté 13 Avril 2018].

⁵A.DENEYER, *le confort visuel et la normalisation (norme et règlement)*, revue CSTC, 003/3, pp 33-43.

paramètres liée à la quantité de lumière (facteur lumière jour, éblouissement, absence ombre gênante, facteurs physiologiques ...).

I.2.1. paramètres liés à la quantité de lumière :

I.2.1.1.Eclairage:

L'éclairage est le rapport du flux lumineux reçu à l'aire de cette surface. Il caractérise la quantité de lumière reçue par unité de surface. Son unité est le lux. $\bullet \frac{E}{S}$ (lux)¹.

l'éclairage et la température de couleur selon de le diagramme de *kruithof* sont deux paramètres principaux dans la mesure de conditions du confort visuel dans un espace défini .dansson diagramme connu il répartie la sensation de confort en 3 zone . la zone d'une ambiance jugé trop chaude ,la zone d'une ambiance jugée confortable et la zone jugée trop froide²(voir figure 7).

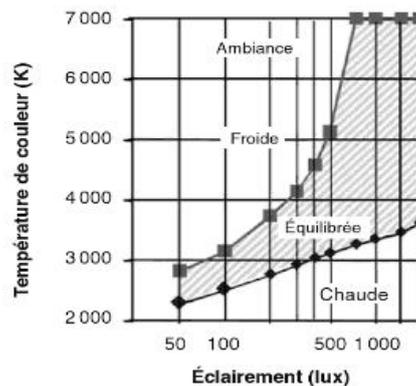


Figure 7:diagramme de kruithof :

Source :DAMELINCOURT et al,Éclairage d'intérieur et ambiances visuelles, p115.

Un éclairage minimum est nécessaire afin de voir les objets. Des objets qui peuvent être reconnus facilement et dont on peut distinguer aisément des détails, peuvent devenir indistincts et même plus du tout perceptible lorsqu'il fait plus sombre.Doncl'éclairage diffère en fonction d'activité et de l'espace .Il dépend non seulement de la taille, l'orientation, la forme de l'espace mais aussi de l'activité visée(voir tableau5).Il faut noter que **DEYNER**le chef du laboratoire Lumière et Bâtiment affirme qu'il faut prendre en considération le

¹Chemsza ZEMMOURI Malika, « *caractérisation et optimisation de la lumière naturelle en milieu urbain* », 2013, présentée pour l'obtention du diplôme de doctorat en sciences, université Ferhat Abbas-Sétif, p113.[en ligne] :<https://www.univ-setif.dz/Tdoctorat/facultes/facultes/archi/2013/chemsazzemourimalika.pdf>[consulté le 03 mai 2018].

²DAMELINCOURT et al, *Éclairage d'intérieur et ambiances visuelles*, édition Lavoisier, Nov. 24, 2010, p115.

CHAPITRE II : NOTIONS DE BASE SUR LE CONFORT VISUEL ET L'ECLAIRAGE NATUREL.

coefficient de réflexion des parois, ces derniers dépendent des matériaux utilisés et des couleurs, plus le choix est bien géré plus la vision est plus facile¹.

Tableau 5: éclairage moyen requis en fonction d'activité.
Source : DE HERDE, [en ligne] : (www-energie.arch.ucl.ac.be.).

Activité	Eclairage moyen (lux)
- Lecture, travail d'écolier	325
- Couture	425-625
- Préparation culinaire et bricolage	425

D'autres parts l'éclairage moyen n'est pas le seul critère à prendre en considération mais aussi la différence entre l'éclairage recommandé dans la zone de travail et les zones attenantes (voir figure 8) définie ci dessous (voir tableau 5) :

- Zone de travail : c'est la zone où on fait la tâche .
- Zone environnante : la zone qui se trouve à 0.5 m du pourtour de la zone de travail
- La zone de fond : la zone qui se trouve à 3 m du pourtour de la zone environnante

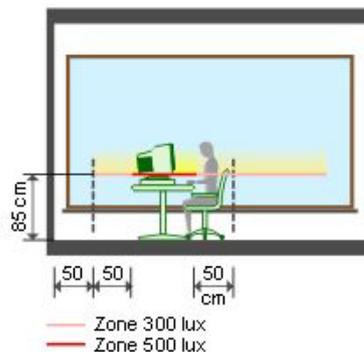


Figure 8 : la différence d'éclairage entre la zone de travail et la zone environnante
source : [En ligne] : <https://www.energieplus-lesite.be/>.

Tableau 6: la différence d'éclairage de tâche et de zones environnantes .
source : ibid .

Eclairage de la tâche	Eclairage des zones environnantes
750	500
500	300
300	200
200	150

I.2.1.2. la luminance :

Selon **R. FLORU**¹ La luminance constitue le facteur d'éclairage le plus important pour la visibilité de la tâche. Elle concerne à la fois la tâche et son environnement et

¹ Ibid. p 18.

plus particulièrement le contraste entre les luminances de l'objet et le fond sur lequel il se détache. Lorsque la luminance d'une partie du champ visuel est plus élevée que la luminance moyenne à laquelle le système visuel est adapté, l'excès de lumière peut provoquer un éblouissement qui constitue à la fois un facteur de risque pour la sécurité et qui peut également diminuer l'efficacité de l'opérateur.

I.2.1.3. Type de fenêtres :

Afin d'éclairer un espace naturellement on doit créer des percements dans les murs opaques extérieurs afin d'assurer la pénétration des rayons de soleil au fond de notre local.

Le niveau d'éclairage reçu à partir des fenêtres dépend généralement des dimensions de l'espace à éclairé, les dimensions de fenêtres et leur orientation.

I.2.2. paramètres liés à la qualité de lumière :

I.2.2.1. Facteur lumière jour (FLJ) :

Le facteur lumière jour c'est le rapport entre l'éclairage naturel reçu en un point d'un plan de référence horizontal, situé à l'intérieur d'un bâtiment, et l'éclairage naturel en un point situé à l'extérieur, en un endroit dégagé, par le ciel couvert. il peut être défini par la relation suivante : $FLJ = E_i / E_e \times 100\%$ (voir figure 9) :

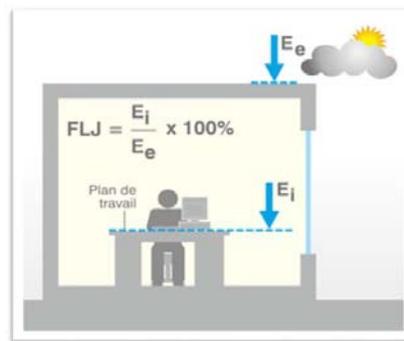


Figure 9 : Définition de facteur de lumière de jour.

Source : DE HERDE, A. et LIEBARD. Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques.

Exemple de FLJ pour une habitation :

Tableau 7 : Exemple de facteur lumière jour pour une habitation

Source : DENEYER Le confort visuel et la normalisation.

FLJ < 0.5	Insuffisant
0.5 < FLJ < 1	Faible
1 < FLJ < 2	Satisfaisant

¹ R. Floru. *Eclairage et vision*, rapport de recherche, *Notes scientifiques et techniques de l'INRS NS 149*, Institut National de Recherche et de Sécurité 1996, 135 p.p. 8.

$2 < FLJ < 3$	Bon
$3 < FLJ < 5$	Très bon
$0.5 < FLJ$	éblouissement

I.2.2.2. Répartition harmonieuse de la lumière :

La Répartition harmonieuse de la lumière naturelle dans un bâtiment peut être favorisée par différentes approches basées sur¹:

- Le type de distribution lumineuse
- La répartition des ouvertures
- L'agencement de parois intérieures
- Le matériau de surface du local
- Les zones de distribution lumineuse
- Les systèmes de distribution lumineuse.

I.2.2.3. Eblouissement :

L'éblouissement c'est le phénomène issu d'un contraste lumineux très important ou une forte luminosité de surface dans la direction de la vision². Il existe deux types d'éblouissement direct et indirect : On différencie généralement deux types d'éblouissement (Voir figure 10):

- L'éblouissement direct résultant de la vision directe d'une source de lumière trop intense.
- L'éblouissement indirect, résultant de la réflexion parasite, perturbatrice de sources lumineuses sur des surfaces trop brillantes.

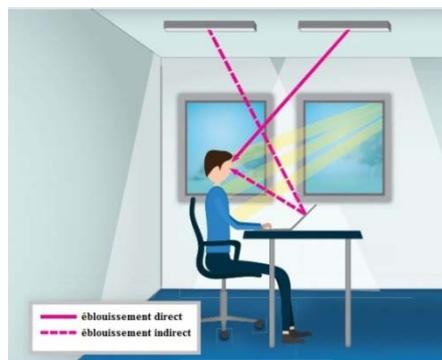


Figure 10 : différence entre éblouissement direct et indirect
Source : société IsoLED [En ligne] : (<http://www.isoled.fr/>).

¹ Sigrid REITER, André DE HERDE, *L'éclairage naturel des bâtiments* ; UCL presse universitaire de Louvain prix Roberval 2003, P 51.

² R.SENA, *Renawable and sustainable energy review* pp 115-155.

CHAPITRE II : NOTIONS DE BASE SUR LE CONFORT VISUEL ET L'ECLAIRAGE NATUREL.

Serge PICAUD¹ le directeur de recherche à l'institut de vision classe les types d'éblouissement selon états de gêne occasionné :

- Eblouissement gênant, mais qui ne nuit pas à la visibilité : ceci impose à l'observateur de détourner son regard de la source éblouissante.
- Eblouissement invalidant : qui rend la tâche/l'objet impossible à voir.
- Eblouissement aveuglant : Il est par exemple généré par des sources de lumière de forte luminance.

Le ratio unifié de l'éblouissement (UGR) c'est le moyen d'évaluer et de comparer l'éblouissement produit par différentes sources lumineuses (voir tableau 8) :

Tableau 8: indice UGR :
Source : Bernard PAULE -*œil et vision*, 2007 p 16.

Exigence	Eclairage	UGR
Très élevés	750	16
élevés	500	19-16
Moyenne	300	22-19
Grossières	200	22
Faibles	150	25-22
Très faibles	100	28-25

I.2.2.4. Absence d'ombre gênante :

La lumière naturelle a une relation directe avec l'ombre. des fois elle peut devenir gênante pour les tâches visuelles si l'ombre tombe sur la tâche ou l'activité voulue. L'ombre dépend en fonction de la direction, la position de l'observateur. L'ombre diffère en fonction de la direction et de la position de l'observateur.

• L'ombre en fonction de la direction :

La direction doit être prise en considération pendant la conception et la mise en place du plan de travail afin d'assurer l'accomplissement des tâches sans gênes (voir figure 11) :

¹ Serge PICAUD, *Etude et optimisation d'un système d'éclairage efficace énergétiquement et adapté aux besoins de ses utilisateurs (santé, sécurité et qualité de vie)*, présentée à l'université de Toulouse le 19 juin 2014.



Figure 11: L'ombre en fonction de la direction
 Source : <http://www.laboenergetic.eu/fr/>

• **L'ombre en fonctions de la position de l'observateur :**

L'ombre peut être occasionné par la mauvaise position de l'observateur .si l'observateur est assis dans un emplacement ou son ombre se rejette sur son plan de travail .le gêne est occasionné .donc on doit prendre en considération l'ergonomie et l'emplacement des fenêtres ou de luminaire (voir figure 12) :

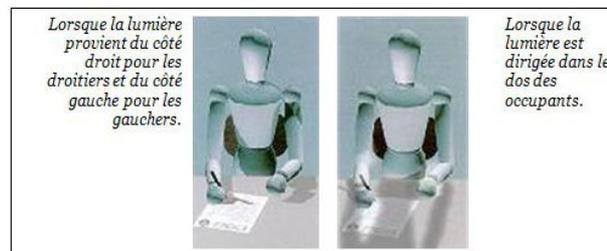


Figure 12: L'ombre en fonction de la position de l'observateur.
 Source : <http://www.laboenergetic.eu/fr/>.

I.2.2.5. Les facteurs physiologiques :

L'âge, l'acuité visuelle, la capacité de distinguer les détails, la perception des couleurs sont les facteurs physiologiques qui déterminent le niveau de vue et de confort visuel.

I.2.2.6. Les facteurs psychologiques :

Les couleurs ont un effet psycho-physiologique¹ sur le système nerveux et ils ont une relation avec l'ambiance dans la pièce (voir figure 13):

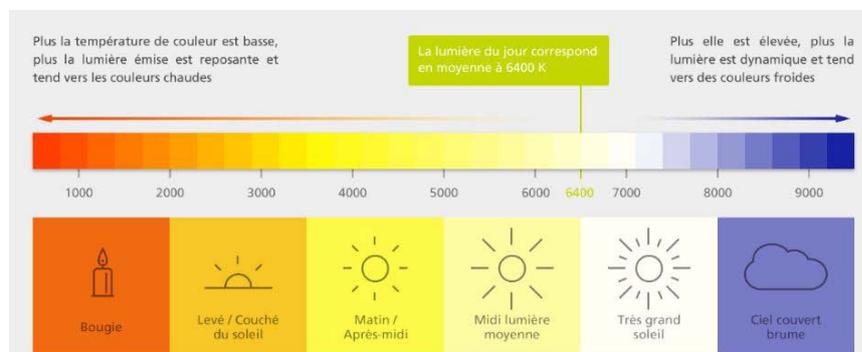


Figure 13 : relation entre la température de couleur et l'ambiance dans la pièce source :
 Source : Energie de France [En ligne] :(<https://www.edf.fr/>).

¹Alain Liébard, André De Herde , « *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques - Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable* », le moniteur éditions, paru le : 30/03/2006.

- Les couleurs chaudes ont un effet stimulant tandis que les couleurs froides ont un effet calmant.
- Les couleurs intermédiaires (jaune et vert) ont un effet favorable à la concentration.
- Les couleurs foncées ont une action déprimante.

II. L'éclairage naturel:

II.1. Définition

La lumière naturelle c'est l'utilisation de la lumière du jour pour éclairer les tâches à accomplir¹. Certains spécialistes ont défini la lumière naturelle en négligeant l'éclairage provenant du soleil parmi eux nous citons **BOUVIER**: «*L'éclairage produit par la voûte céleste et les réflexions de l'environnement, à l'exclusion de l'éclairage direct du soleil* »².

II.2. Type de l'éclairage naturel :

Selon **DE HERDE** et **SIGRID**³ les types d'éclairage naturel sont :

II.2.1. Eclairage latéral :

Il existe plusieurs types d'éclairage latéral (voir figure 14) :

II.2.1.1. Eclairage unilatéral :

Pour ce type d'éclairage la pénétration de la lumière est généralement limitée en profondeur mais elle est directionnelle ce qui favorise la perception du relief, elle peut créer de l'éblouissement et engendrer des forts contrastes dans l'espace (voir figure 14). L'éclairage unilatéral est le plus propre à donner une idée exacte de la forme des objets qui n'admet pas de jeux d'ombre et de lumière changeants et fatigants et que les artistes peintres et sculpteurs l'adoptaient constamment⁴

II.2.1.2. Eclairage bilatéral :

Il est plus uniforme et plus réparti que l'éclairage unilatéral, lorsque la lumière pénètre dans la pièce les effets de contraste disparaissent.

II.2.1.3. Eclairage multilatéral :

Utilisé dans les espaces qui nécessitent un éclairage très uniforme ainsi que dans les bâtiments profonds.

¹W. C. BROWN et K. RUBERG, *Facteurs de performance des fenêtres*. 1988. RSB Canada.

²-Bouvier, F., (1981). « Eclairage naturel », *Technique de l'ingénieur*, Vol. C6, n° C 3 315, Paris

³SIGRID Reiter, André DE HERDE, « *L'éclairage naturel des bâtiments* », Presses université de Louvain, 2004, 265 pages, p97.

⁴Jules ARNOULD, « *Nouveaux éléments d'hygiène* », j.-b. Baillièrè ,1889 ; p 1174. [En ligne] :<https://books.google.com/>, [consulté le 05 avril 2018].

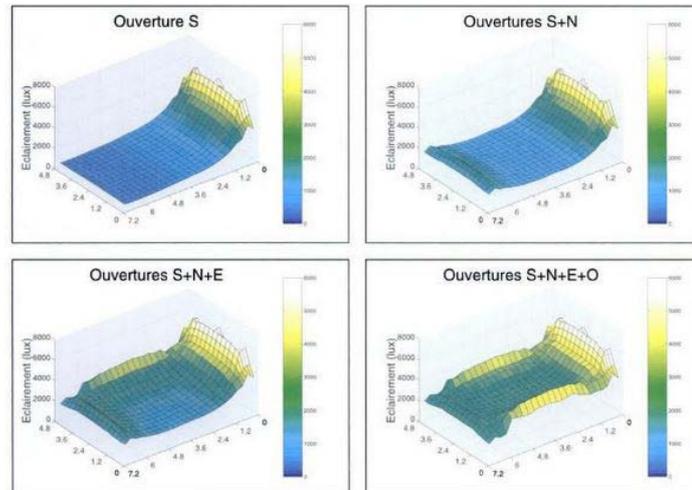


Figure 14 : une simulation de distribution lumineuse d'un façon unilatéral ,bilatéral et multilatéral
source : SIGRID Reiter, André DE HERDE, livre « L'éclairage naturel des bâtiments ».

II.2.2.Eclairage zénithal :



Figure15 : La lumièrezénithale a koshino house
Source : Philip JODIDIO, *100 Great Extensions et rénovations*, 2007, p 169.

Un type particulier d'éclairage naturel dont les architectes ont fait un usage abondant depuis que les possibilités techniques le permettent .Mais malheureusement il est souvent mal utilisé ,mal situé et mal dimensionné,alors ne faisant rien de plus qu'estomper les contrastes et augmenter la quantité de lumière ¹.

II.3.Sources d'éclairage naturel :

Si le soleil est la source mère de tout type de lumière naturelle, techniquement l'éclairagenaturel global comprend à la fois l'éclairage produit par le soleil, la voûte céleste et lessurfaces environnantes ²(Voir tableau 9) :

Tableau 9 : Luminance de quelques sources lumineuses (cd/m²)

¹Pierre VON MEISS , « *De la forme au lieu*, » pierre ,ppur presses polytechniques, 1993 -,p187.

² W, C, BROWN et K, RUBERG., 1988

CHAPITRE II : NOTIONS DE BASE SUR LE CONFORT VISUEL ET L'ECLAIRAGE NATUREL.

Source : François BOUVIER ,2008

Source lumineuse	Luminance (cd/m ²)
Soleil	160000
Ciel	3183
Lune	0.25

II.3.1. Le soleil :

Le Soleil est en fait la seule source de l'éclairage naturel. En effet, la nuit, alors que le soleil est caché par la masse opaque de la terre, le fond de ciel est obscur et n'émet pas dans la gamme du visible. La lumière émise par les planètes n'est en fait que de la lumière solaire qu'elles réfléchissent de façon diffuse, et la lumière provenant d'un ciel de jour est de la lumière solaire diffusée par les molécules de l'air et les particules en suspension.

II.3.2. Le ciel :

La lumière émise par le Soleil est à la fois filtrée et diffusée par les molécules de l'atmosphère, aussi la voûte céleste est-elle lumineuse le jour, et les répartitions spectrales de la lumière reçue du Soleil et de la lumière diffusée par le ciel sont-elles différentes. Il existe quatre types de ciel standard cité dans le livre de l'éclairage naturel des bâtiments (voir figure 16) :

- Ciel uniforme : sa luminance est constante en tout point du ciel à un moment donné
- Ciel standardisé couvert : établi par la Commission Internationale de l'Eclairage CIE pour lequel en un point varie en fonction de sa position sur la voûte céleste
- Ciel clair : les valeurs de sa luminance varient en fonction de paramètres géométriques et de la position du soleil
- Ciel clair avec soleil : correspond à un ciel serein au sein duquel le soleil brille, ce type offre la possibilité d'étudier les jeux d'ombres et de lumière ainsi que les risques d'éblouissement dus à la pénétration du soleil dans un bâtiment.



Figure 16 : types de ciels standards

Source :SIGRID Reiter, André DE HERDE, « L'éclairage naturel des bâtiments ».

II.4. Les composantes de la lumière naturelle :

Selon : DAMELINCOURT¹

Comme son nom l'indique, correspond à la partie des rayons solaires arrivant directement depuis le soleil .cette caractéristique implique la projection d'ombres portées très nettes, et donc la génération de contrastes de luminance élevés entre les différentes parties d'une même scène lumineuse².

II.4.2. la composante réfléchie Externe :

Contrairement à la lumière directe la lumière réfléchie ne provient pas directement de la source lumineuse, elle est d'abord déviée de sa trajectoire par des obstacles extérieurs avant d'arriver dans le local.

II.4.3. La lumière réfléchie Interne :

La quantité de lumière réfléchie à l'intérieur d'un local dépend elle aussi du coefficient de réflexion de ces parois. La sensation visuelle ressentie dans un local est différente selon le degré de clarté de ces parois, ainsi un local aux parois sombres donnera une impression de fermeture et son volume paraîtra plus petit qu'un local aux parois claires (voir figure17).

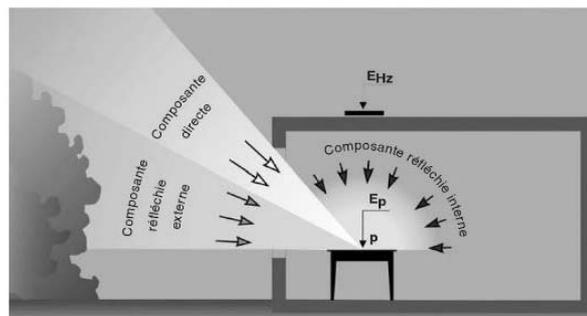


Figure 17 : représentation schématique des composantes de facteur lumière
Source :DAMELINCOURT et al, livre *éclairage d'intérieur et ambiances visuelles*,2010, p212.

II.5. La stratégie d'éclairage naturel :

- **Capter la lumière naturelle** : en prenant en compte l'influence du type de ciel, du moment de l'année, de l'heure, de l'orientation et de l'inclinaison de l'ouverture ainsi que de l'environnement.

¹DAMELINCOURT et al, livre *éclairage d'intérieur et ambiances visuelles*, 2010, p212.

²Ibid.

CHAPITRE II : NOTIONS DE BASE SUR LE CONFORT VISUEL ET L'ECLAIRAGE NATUREL.

- **Pénétrer la lumière naturelle** : la pénétration de la lumière naturelle soit directe ou indirecte
- **Répartir la lumière naturelle** : en jouant sur le type de distribution lumineuse, la répartition de la lumière naturelle est composée de :
 - **La composante directe** : des parois intérieures, le matériau des surfaces du local, les zones et les systèmes de distribution lumineuse.
- **Protéger** : de l'éblouissement, de surchauffe par des vitrages protecteurs, diffusant, des protections fixes ou mobiles.
- **Contrôler la lumière naturelle** : consiste à gérer la quantité et la distribution de lumière dans un espace en fonction de la variation des conditions climatiques et des besoins des occupants.

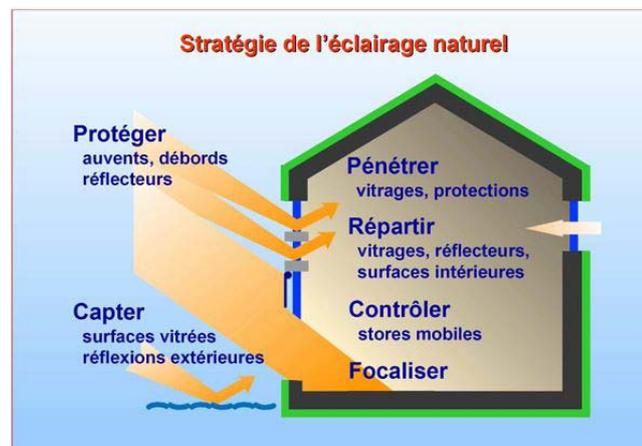


Figure 18: Stratégie de la lumière naturelle

Source : La maison bioclimatique, [en ligne] : (<http://www.jan-maison-passive.com/>).

Conclusion :

L'intégration de la lumière naturelle dans la conception des bâtiments est primordial elle doit être prise par les architectes dès le début afin d'assurer le confort visuel. et cela d'après ce qu'on a vu dans ce chapitre se réalise par l'assurance d'un niveau d'éclairage suffisant selon l'activité et les tâches à faire, la répartition harmonieuse de la lumière par le respect des facteurs physiologique et psychologique et éviter toute source d'éblouissement et d'ombres gênant. Aussi on doit choisir le type d'éclairage naturel convenable à notre immeuble où l'éclairage zénithal assure une distribution lumineuse homogène et minimise l'éblouissement contrairement à l'éclairage latéral qui peut créer des situations de contre-jour et d'éblouissement. Il faut souligner aussi le rôle primordial de type de fenêtre dans l'amélioration de confort visuel qui doit être choisi prudemment et selon les besoins d'éclairage dans l'espace.

CHAPITRE III. IMPACT DE LA FAÇADE INTELLIGENTE ET LE CONFORT VISUEL.

Introduction :

Aujourd'hui la tendance s'accélère et le concept de façade intelligente est de plus en plus utilisé dans de nombreux pays. Elle fait l'objet de nombreuses conférences, débats, études universitaires, thèse et écrits sur ses avantages sur l'amélioration des conditions ambiantes à l'intérieur du bâtiment.

Dans ce chapitre, nous allons exposer ce que ces ouvrages ont apporté, précisément sur le confort visuel qui, à son tour, a une relation importante avec les types de façades, en général et la façade intelligente en particulier. Aussi nous allons parler des différents mécanismes que la façade intelligente peut adapter aux fins d'amélioration du confort visuel dans le bâtiment. Des exemples de l'apparition de ces mécanismes sur la façade seront donnés au travers de cet exposé.

I. État de l'art :

« En tenant compte de la consommation d'énergie associée à la lumière artificielle, la maximisation de la lumière du jour est l'un des principaux objectifs de la conception à faible consommation énergétique. L'étude de 22 exemples de bâtiments intelligents montre une gamme de systèmes qui assurent une direction et réflexion optimales de la lumière et de ses dispositifs. Ces systèmes fonctionnent en réponse aux informations fournies par des capteurs qui mesurent la lumière extérieure et l'intensité solaire, et les niveaux d'éclairage à l'intérieur ». Michael Wigginton et Jude Harris¹.

Andrea COMPAGNO dans son livre « Intelligente Glasfassaden »² a désigné la façade intelligente comme suit: « Une façade peut être décrite comme "intelligente" si elle utilise des sources d'énergie naturelles et renouvelables, comme l'énergie solaire, l'air ou ... pour assurer les exigences d'un bâtiment en termes de chauffage, refroidissement et éclairage. ... ».

Le professeur **DEWIDAR Khaled**³ dans l'une de ses conférences internationales a confirmé l'impact de la façade sur le confort visuel en disant : « Les façades dynamiques avec vitrage haute performance et les systèmes d'ombrage ont le potentiel d'équilibrer les besoins

¹ Ibid., 1,p6

² Andrea COMPAGNO, « Intelligente Glasfassaden », Edition: 5ème, rev. u. Aktual. Edition (1er avril 2002).

³ DEWIDAR, K., Mahmoud, A. H., Magdy, N. and el din Ahmed, , (2010), *The role of intelligent façades in energy conservation*, International Conference on Sustainability and the Future: Future Intermediate Sustainable Cities Egypt .[en ligne]:<http://csfs.bue.edu.eg/files/Library/Papers/Sustainability%20and%20the%20Future/143.pdf> [consulté le 05 Mai 2018].

CHAPITRE III. IMPACT DE LA FAÇADE INTELLIGENTE ET LE CONFORT VISUEL.

de la lumière du jour, le confort et l'utilisation de l'énergie, lors de l'intégration avec l'éclairage et les contrôles du système thermique ».

L'étude des 22 exemples a montré que la façade intelligente peut être affectée pour des fonctions différentes. Parmi ces fonctions : L'amélioration et la maximisation de la lumière. Harris et Michael ont exhibé la stratégie globale pour l'amélioration de la lumière de jour et de contrôle solaire pour chaque exemple. et l'ont classées selon le type d'ajustement de la lumière du jour et le type de contrôle anti-éblouissement : passif, manuel et automatique (voir tableau 10).

Tableau 10 : type fonctionnement des exemples pour améliorer le confort visuel
Source : Michael, Wigginton et Jude Hariss « intelligent skin »

Exemple	Type d'ajustement de lumière du jour			Contrôle anti éblouissement		
	P	M	A	P	M	A
Siège GSW		✓	✓		✓	✓
Complexe administratif de Debis à Berlin		✓			✓	
La tour Commerzbank		✓	✓		✓	
Stadttor					✓	✓
Siège Glaxowellcome house	✓				✓	✓
Centre de recherche BRE		✓	✓	✓	✓	✓
L'hélicon bâtiment	✓					✓
Extension de l'office des taxes aux pays bas	✓				✓	✓
Siège de Götz		✓	✓		✓	✓
Bibliothèque centrale de Phoenix			✓	✓		✓
Centre de Brundtland		✓	✓		✓	✓
The Green Building	✓			✓		
L'Héliotrope	✓				✓	
Villa Vision					✓	✓
Centre d'affaires		✓	✓		✓	✓
École d'ingénierie	✓			✓		
Compagnie d'assurance SUVA			✓			✓
Maison solaire de Freiburg		✓			✓	
Bureau d'étude de Gartner			✓		✓	
TRON – maison intelligente						

CHAPITRE III. IMPACT DE LA FAÇADE INTELLIGENTE ET LE CONFORT VISUEL.

Bâtiment de conservation d'énergie					✓	
Oxy Building	✓				✓	✓

II. Mécanisme de FI pour améliorer le confort visuel :

La façade intelligente améliore le confort visuel selon les mécanismes suivants : collecte de données par des capteurs / traitement des données par le BMS / réaction de la façade.

II.1. Collecte de données :

La collecte de données est faite par des capteurs spécifiques pour la lumière. Dessatellites, deshéliostats assurent des informations concernant la luminance, et l'état de l'environnement extérieur.

Dans le chapitre 1, nous avons présenté l'un des systèmes CONTROLITE intelligent pour l'optimisation de la lumière naturelle de l'équipe EVERLITE CONCEPT. Ce système intégré et automatisé bénéficie de capteurs extérieurs et intérieurs. Un capteur externe détecte la position du soleil et l'intensité lumineuse et un capteur interne enregistre l'intensité lumineuse intérieure. En fonction des souhaits de l'utilisateur, le système domotique CONTROLITE équilibre alors les niveaux de lumière diffusée pour la transmettre uniformément et créer ainsi un environnement intérieur agréable. Et selon les informations reçues, les brise-soleils se pivotent⁴.

II.2 .SGB :

Il assure le traitement par les différents systèmes d'intelligence artificielle pour une bonne qualité d'éclairage.

II.3. La réaction :

Selon Annemie, dans sa thèse de doctorat, les données reçues par les capteurs, traitées par le SGB se transforment en réaction. Cette dernière s'apparente généralement sous forme de mouvement. Elle couvre essentiellement le mouvement des éléments de pliage, des stores vénitiens et des brise-soleils autour de leurs axes afin d'assurer l'amélioration du confort visuel⁵.

Le système domotique de CONTROLITE doté de capteurs, comme cité précédemment, transforme les données en mouvement de brise soleil (voir figure 19).

⁴Le confort solaire maîtrisé [en ligne] : http://www.everliteconcept.com/dl/doc_download/62-brochure-controlite.html [Consulté le 05 Mai 2018].

⁵Annemie WYCKMANS, thèse de doctorat, « *Intelligent Building Envelopes* », soutenue à l'université de Norvège, 2005

- En hiver, les lames des brise-soleils s'orientent pour maximiser la pénétration de la lumière naturelle.
- En été : les brise-soleils tournent leur face opaque vers l'extérieur afin de refléter les rayons solaires et assurer un confort à l'intérieur.
- Le matin et l'après-midi : les brise-soleils s'orientent afin de transmettre une quantité de lumière idéale.

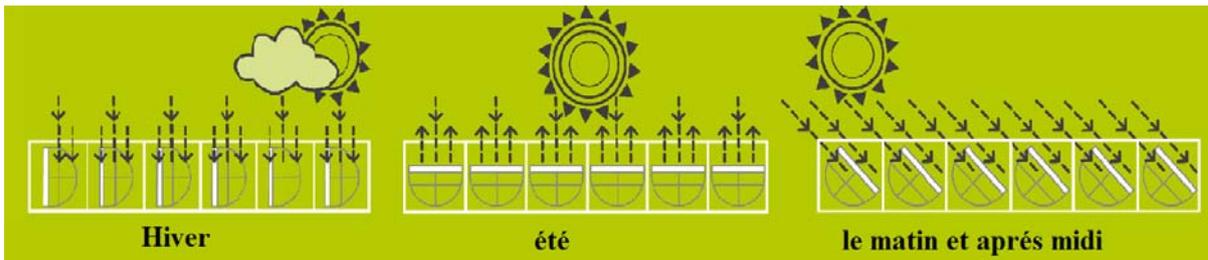


Figure19 : Le mouvement des brise-soleils Hiver, été, le matin et après-midi.

Source : <http://www.everliteconcept.com/>. [consulté 02 Mai 2018].

II.3.2. Stores vénitiens :

Les stores vénitiens peuvent être utilisés pour éviter les regards indiscrets et adapter la luminosité de la pièce.⁶ Les stores vénitiens comprennent une partie supérieure pour la redirection de la lumière et une partie inférieure pour la protection contre l'éblouissement.

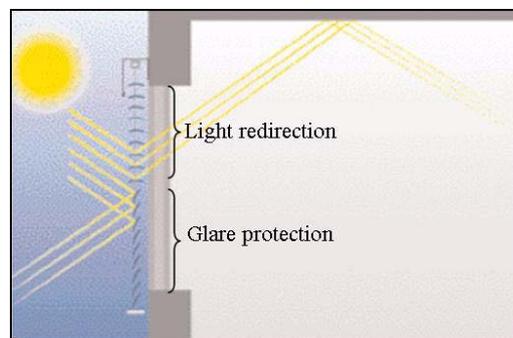


Figure 20 : fonctionnement des stores vénitiens

Source : Annemie WYCKMANS, « *Intelligent Building Enveloppes* ».

Un exemple de l'intégration des stores vénitiens dans la fonctionnalité du bâtiment intelligent : « centre de Genzyme à Cambridge ». Conçu par Behnisch et qui a décroché 10 prix. La stratégie d'éclairage a été planifiée par le laboratoire de lumière Bartenbach et le système des stores vénitiens fourni par le fabricant Warema (voir figure 21).

II.3.1. La rotation des brises-soleils :

En raison de la conception du bâtiment et des technologies d'éclairage installées, 75% des employés ont une vue extérieure et 90% des lieux de travail ont suffisamment de lumière naturelle (voir figure 22).

⁶Castorama, [en ligne] : <https://www.castorama.fr> . [consulté le 03 avril 2018].



Figure21 : centre de Genzyme

Source : (<https://behnsch.com/work/projects/0104>).[consulté 02 Mai 2018]

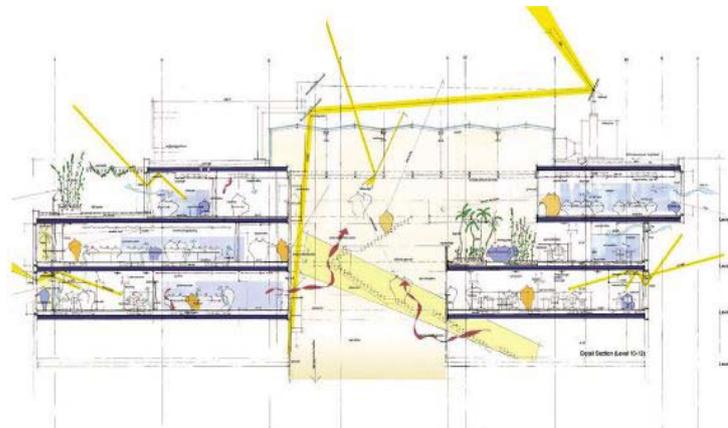


Figure 22 : coupe présente la stratégie de l'éclairage de centre de Genzyme

Source : Christine KILLORY, Rene DAVIDS, *Details in Contemporary Architecture*
[En ligne] :<https://books.google.dz/>.

Des capteurs photo et des détecteurs de présence ont été installés dans les bureaux pour s'assurer que les lumières sont éteints lorsque les employés quittent la pièce. Les capteurs passent également automatiquement les lumières dans un mode "soft-off" quand l'éclairage naturel devrait être suffisant; ce statut peut être annulé par les occupants pour assurer le confort du travailleur. Les stores recueillent la lumière et la réfléchissent sur les plafonds pour réduire l'éblouissement et augmenter la profondeur de pénétration de la lumière.



Figure 23 : intérieur d'un bureau de centre Genzyme

Source : Annemie WYCKMANS, « *Intelligent Building Enveloppes* ».

CHAPITRE III. IMPACT DE LA FAÇADE INTELLIGENTE ET LE CONFORT VISUEL.

Ces stores contrôlés par ordinateur suivent le soleil et attrapent et diffusent la lumière tout au long de la journée. La partie supérieure du store redirige la lumière vers les panneaux de plafond tandis que la section inférieure minimise l'éblouissement. Les stores s'inclinent automatiquement en fonction de la position du soleil et sont programmés pour se fermer la nuit, réduire la pollution lumineuse et aider à maintenir la température du bâtiment.

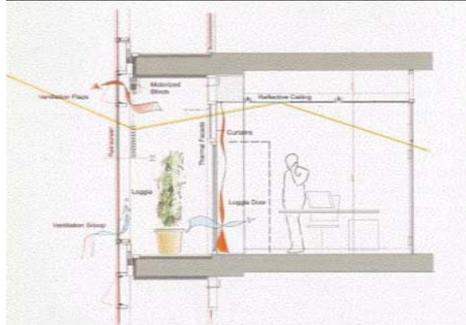


Figure 24 : diffusion de la lumière par les stores
Source : (<https://behnisch.com/work/projects/0104>).

Le système de gestion utilise une station météorologique sur le toit pour compiler des données qui sont utilisées avec un diagramme d'ombrage annuel. Ce dernier prend en compte de nombreux facteurs, tels les bâtiments voisins et la position du soleil et contrôle les stores à chaque étage et section du bâtiment.

II.3.3. Le mouvement des dispositifs d'ombrage :

Le meilleur exemple qui peut présenter la réaction de la façade pour améliorer le confort visuel par le mouvement des dispositifs d'ombrage c'est les tours al Bahr. Elles sont deux tours jumelles d'Abu Dhabi aux Émirats arabes unis. Elles abritent des bureaux et s'élèvent à 145 mètres pour 29 étages. Elles ont été achevées en 2012 (voir figure 25). Les architectes sont l'agence britannique Aedas et l'agence DiarConsult.

Elles ont remporté le deuxième prix de Skyscraper Award 2012.



Figure 25: les tours el bahr Abu Dhabi
Source : Peter Oborn et al , livre John Wiley & Sons, Nov 15, 2012

Elles sont dotées d'une façade double peau dont la peau extérieure est inspirée de la moucharabieh arabe. (Voir figure26) :

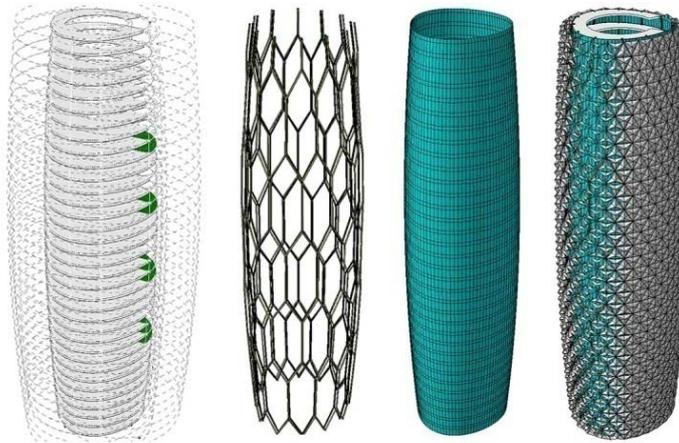


Figure 26: le processus de conception.

Source: Abdulmajid KARANOUIHA et Ethan KERBERB, Innovations in dynamic architecture, Journal of Facade Design and Engineering 3 (2015).

II.3.3.1.Principe de conception :

La forme des dispositifs d'ombrage est issue de la combinaison entre la forme du moucharabieh et l'ouverture des pétales de fleur selon les rayons de soleil(voir figure 27).Le résultat donne des dispositifs d'ombrage dynamiques en forme de moucharabieh arabe qui s'ouvrent et se ferment selon l'orientation du soleil. Les mouvements du dispositif changent constamment l'apparence du bâtiment tout au long de l'année (voir figure 28).

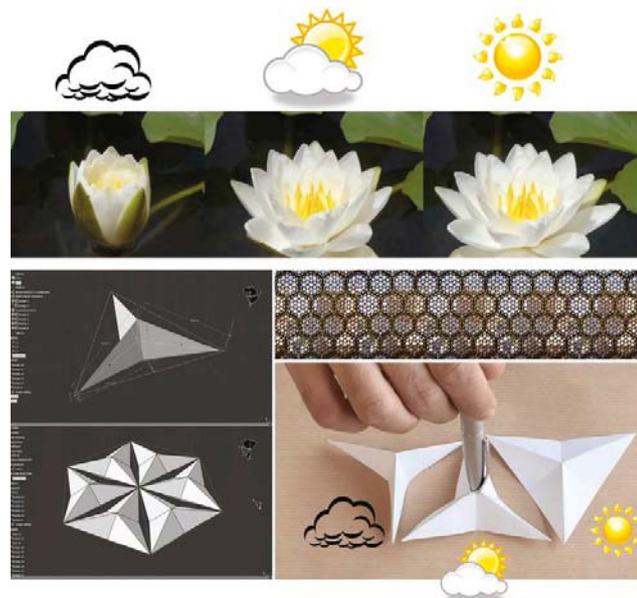


Figure 27: principe de conception.

Source : Abdulmajid KARANOUIHA et Ethan KERBERB « Innovations in dynamic architecture », [En ligne] :(<https://content.iospress.com>).[consulté 02 Mai2018]

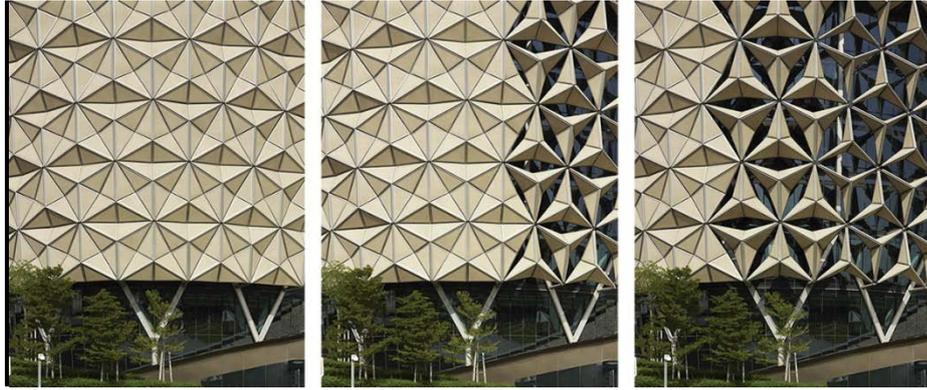


Figure 28 : mouvement des dispositifs afin d'améliorer les conditions intérieures
Source :(<https://www.archdaily.com/>)[consulté 03 Mai 2018].

II.3.3.2.Principe de fonctionnement :

Le bâtiment collecte les données à l'aide des capteurs de suivi du soleil qui contrôlent l'ouverture du dispositif selon la position de soleil et des capteurs de radiation solaire qui assurent l'ouverture de ces dispositifs dans le cas de ciel couvert de nuage .

Ces données sont traitées par le SGB qui, à son tour, transmet les données à la façade qui les transforme en réaction. Celle-ci se ferme ou s'ouvre pour optimiser le confort visuel, en assurant la visibilité, recevant ou diffusant les rayons solaires selon les besoins (voir figure 29).

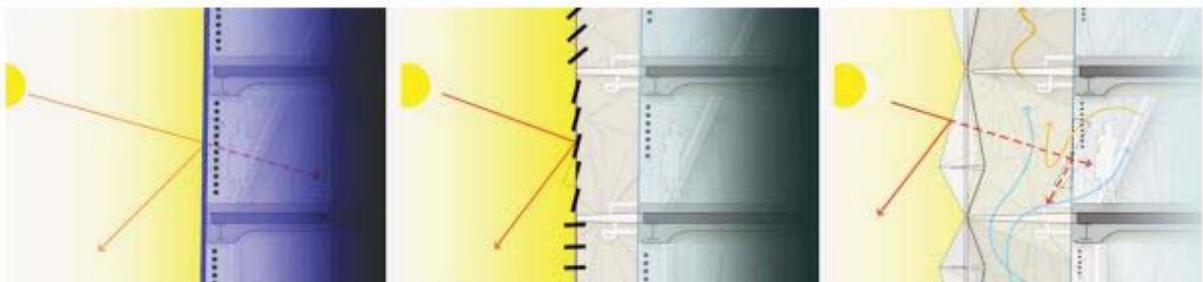


Figure 29 : Comparaison entre les systèmes communs et le système dynamique
Source: KARANOUBA, KERBERB 2015 ,« *Innovations in dynamic architecture*».

La difficulté principale, pendant la conception, était de garder le soleil dehors. L'équipe de conception a entrepris des analyses sur l'effet de ce système d'ombrage sur la tour⁷ et a confirmé le rôle positif de ces dispositifs dans l'amélioration et la bonne répartition de l'éclairage (voir figure 30) .Il faut souligner que la face nord reçoit des rayons solaires directs, durant un intervalle de temps court, le matin, et dans l'après-midi.

⁷Kornad. XUEREB, *the al bahr towers – enhancing sustainability through innovation*, conférence de l'institut de l'énergie durable, université de Malte, 20th March 2014, [en ligne] : https://www.um.edu.mt/library/oar/bitstream/handle/123456789/22981/2_1_xuereb.pdf?sequence=1&isallowed=y, [consulté le 03 Mai 2018].



Figure 30 : simulation avant et après l'ajout de système d'ombre

Source : Kornad. XUEREB, *the al bahr towers – enhancing sustainability through innovation* 2014.

L'objectif était de maintenir un seuil de lumière naturelle utile allant de 250 à 2000 Lux pendant les heures de travail quotidiennes (de 09h00 à 17h00). Dès que les capteurs de lumière situés à la périphérie du plafond près du mur-rideau indiquent -250 Lux, les gradateurs reliés entre les capteurs et l'éclairage artificiel sont activés pour maintenir le seuil de confort.⁸

II.3.4. Réaction autonome :

TEMOTION est un concept de façade intelligent développé par WICONA, incorporant une technologie de construction active et autonome. La façade réagit aux changements des conditions extérieures et intérieures, telles que la lumière. En même temps, grâce à un contrôle de la lumière adaptable, il assure une lumière naturelle indirecte sans éblouissement. En ouvrant automatiquement les éléments de façade⁹.

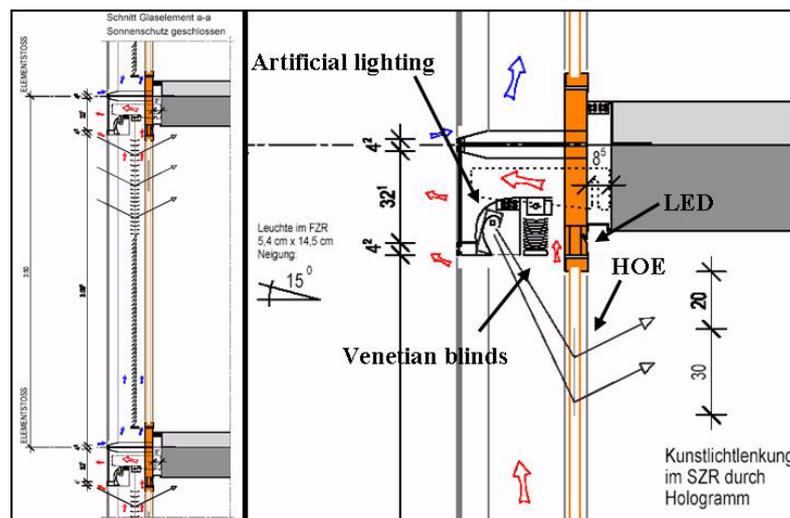


Figure 31: Element de la façade TEMotion par Hydro Building

Source : wicona materielle .

⁸AbdumajidKARANOuha et Ethan KERBERB, « Innovations in dynamic architecture The Al-Bahr Towers Design and delivery of complex facades », 2015, *Journal of Facade Design and Engineering* p 185–221. [En ligne] : <https://content.iospress.com/>, [consulté 03 Mai 2018].

⁹Site : <https://www.wicona.com/>. [consulté 05 Mail 2018].

CHAPITRE III. IMPACT DE LA FAÇADE INTELLIGENTE ET LE CONFORT VISUEL.

Le fonctionnement de la façade peut être contrôlé par l'utilisateur ou par automatisation, soit décentralisée, soit intégrée dans un système global de contrôle du bâtiment. Tous les services sont contrôlés par le biais d'un système central de gestion des services du bâtiment ou par l'utilisateur lui-même. En outre, la façade intégrale TEMOTION se contrôle elle-même et signale les éventuelles exigences de maintenance au centre¹⁰.

Conclusion :

Les chercheurs dans le peu de sources qu'on a pu avoir, sont mis d'accord sur l'impact positif de la façade intelligente sur le confort visuel. Selon eux la façade intelligente en tant que partie intrinsèque de bâtiment intelligent réagit et améliore le confort visuel après le traitement par le SGB des données collectées par les capteurs spéciaux à la lumière. Aussi elle ne peut pas être séparée de la totalité de bâtiment intelligents puisque son amélioration de confort visuel et des conditions lumineuses à l'intérieur de l'espace est le fruit de toute une série de mécanismes.

¹⁰ JM Hovels *The Open Modular Façade Concept* Master Thesis, Joep Hövels Juin 2007 faculté de l'architecture et technologie A. Borgart, [en ligne] : <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:e08cc238-f4b6-4c4d-bbd1-bc7d0e821025/datastream/OBJ1/download>, [consulté 05 avril 2018].

Introduction :

la simulation numérique est devenue essentiel en architecture .Elle aide les architectes a simuler un cas réel bien défini à l'aide des logicielsd'informatique dans le but de trouver des solutions adéquate, éviter les risques , le cout et le temps nécessaires aux épreuves et donner une aperçu sur les résultats attendus de telle conception .

Ce chapitre sera notre premier pas vers l'analyse de l'impact de la façade intelligente sur le confort visuel plus précisément sur l'éclairément et la distribution lumineuse dans l'espace. Au début on présentera notre cas d'étude , les conditions météorologique , les logiciels utilisés ,le méthode de simulation Puis les principales étapes de simulation .On va simuler notre cas d'étude dans son état actuel puis après intégration des dispositifs d'ombrages ouvert à 45⁰ et à 60⁰.Cela afin de comparer les résultats et proposerdes solutions ou des alternatives .

I. Données climatiques :

I.1. Classification climatique :

Zones climatiques d'hiver et d'été¹:

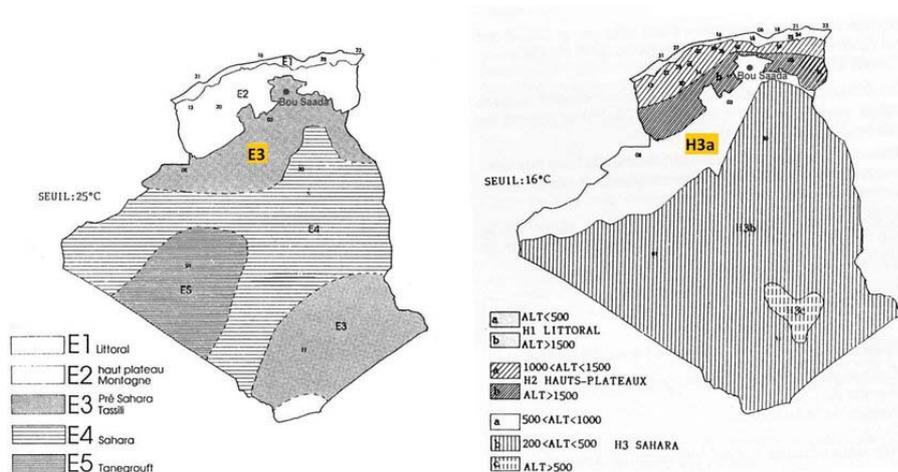


Figure32Les zones climatiques d'été (à gauche) et d'hiver en Algérie

Source : Source: Mr. MEDDOUR Samir. 2008.

Les zones climatiques peuvent être classées en deux grandes catégories, zones climatiques d'hiver, et d'été.

I.1.1. Zones climatiques d'hiver :

- La zone H1 subit l'influence de la proximité de la mer.
- La zone H2 subit l'influence de l'altitude.

¹Mr MEDDOUR Samir. 2008. *impact de l'éclairage zénithal sur la présentation et la préservation des œuvres d'art dans les musées « Cas du musée Cirta de Constantine »*.248. Mémoire de magistère. Architecture Bioclimatique. Université Mentouri Constantine.

- La zone H3 subit l'influence de l'altitude.

Ces trois zones sont classées en fonction de l'altitude en 07 sous zones.

I.1.2.Zones climatiques d'été :

Cinq zones déterminent les zones climatiques d'été :

- La zone E1 subit l'influence de la proximité de la mer.
- La zone E2 subit l'influence de l'altitude.
- La zone E3, E4 et E5 subissent l'influence de la latitude.

I.2.L'enseillement :

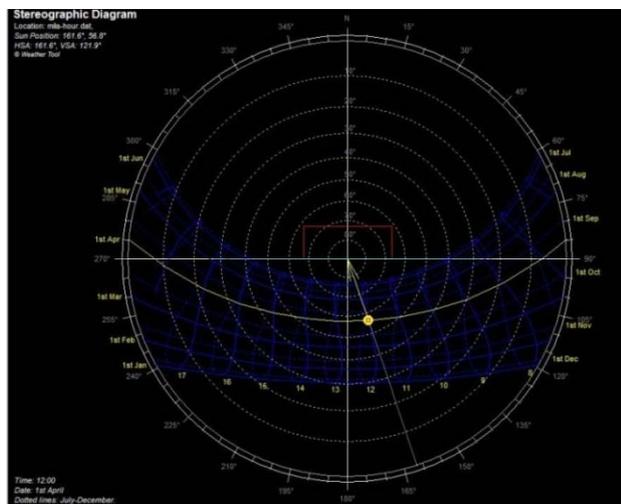


Figure 33 :le diagramme stéréographique de la wilaya de Mila.
Source : réalisé par CHOUGUI M. université DE Jijel.

II. Présentation du cas d'étude :

I.1. Présentation de la wilaya de Mila :

La wilaya de Mila se situe à l'Est de l'Algérie. Elle est limitée par la wilaya de Jijel au Nord, la wilaya de Skikda à au Nord-Est, Constantine à l'Est, au Sud-Est la wilaya de Oum el Bouaghi, le Sud Batna et Sétif à l'Ouest.

II.2.Présentation de centre universitaire de Mila :

Le centre universitaire de Mila est le premier établissement d'enseignement supérieur et de la recherche scientifique dans la wilaya de Mila au nom de Moujahid Abd el Hafid Boussouf. Elle a ouvert ses portes au cours de la saison universitaire 2008. Elle est située à cinq kilomètres du centre-ville sur la route entre les villes de Mila et Zeghaia et occupe une superficie totale de 87 hectares.

II.3. bibliothèque du centre universitaire :

La bibliothèque de l'Institut de littérature et des Langues Étrangères est l'une des bibliothèques spécialisées en langues arabe et étrangère (voir figure 34) .Elle a ouvert ses portes au début de 2011.Conçu par LaouarDjenette pour la D.L.E.P. Mila. Le maitre d'œuvre c'est B.E.M. (bureau d'études Mila) .Elle se situe au centre universitaire de Mila situé Nord Ouest du centre (Voir figure 35).



Figure 34 :photo de la bibliothèque du centre universitaire.
Source : auteur.



Figure 35 : situation de la bibliothèque par rapport au centre universitaire.
Source : googlemap.

II.4. plans

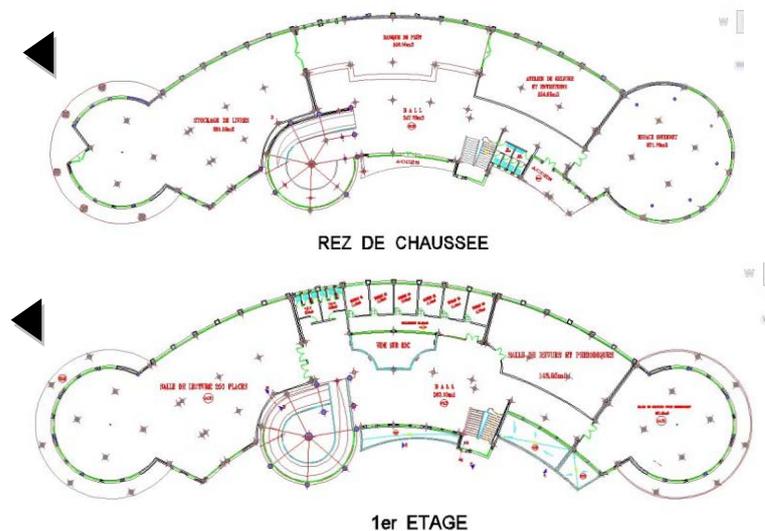


Figure 36 : les plans de différents étages.
Source : B.E.M.

II.5. Motivation du choix du cas d'étude :

Pour vérifier nos hypothèses de départ, nous avons pris la bibliothèque du centre universitaire de Mila comme cas d'étude. Pour ces raisons :

- un voisinage de faible hauteur.
- orientée au nord la bonne orientation pour les espace de lecture ce qui nous aident à confirmer notre hypothèse sur la salle de lecture située au Sud Est.
- L'importance du confort visuel dans les bibliothèques et sa prise en compte pendant le processus de conception.

II.6.cellule choisie :

La cellule choisie c'est la salle périodique située à l'étage d'une superficie de 148.85 m².Elle est choisie puisque elle ne bénéficie d'aucun brise soleil ou protection contre les rayons solaire.et orientée (auSud-est).

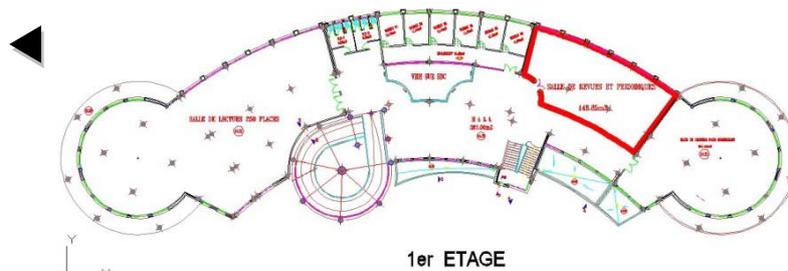


Figure 37 : La salle périodique (cellule choisie)
Source : auteur.

III. La simulation numérique :

III.1.Les logiciels de simulation utilisés :

III.1.1.Meteonorm :

Meteonorm est un recueil très complet de données météorologiques. Il contient également des algorithmes permettant de créer – à partir des valeurs mesurées – des fichiers météo depuis n'importe quel endroit sur le globe. Ce logiciel s'adresse aux ingénieurs, architectes, enseignants, concepteurs et toute personne qui s'intéresse à l'énergie solaire et à la climatologie².

III.1.2. Ecotect :

Ecotect est un logiciel de simulation développé pour la première fois par Andrew Marsh et récemment approprié par la société américaine Autodesk³. Il permet aussi d'avoir

²<http://logiciels.cstb.fr/>

³[http:// autodesk.fr](http://autodesk.fr).

une idée précise sur le rayonnement solaire, sur l'éclairage naturel et aussi sur les ombres et réflexions (en affichant la position et le parcours du soleil par rapport au modèle à la date, à l'heure et à l'emplacement choisis).

III.1.3. Radiance:

Le logiciel Radiance est un logiciel de création d'images réalistes sur le plan de la lumière naturelle. La très grande qualité et la précision de ses résultats en fait un des références dans le monde. Le rendu d'images réalistes avec un niveau de précision et de similitude très fort (entre les résultats d'une simulation numérique de l'éclairage et la réalité).cet outil peut être aussi rattaché à d'autres logiciels de simulation comme Ecotect

III.2. Méthode de simulation:

Afin de vérifier nos hypothèses de départ on va faire une simulation numérique avec la façade actuelle puis avec des dispositifs d'ombrage ouvert à 45^0 et 60^0 (voir figure 38).



Figure 38 : le dispositif d'ombrage choisi
Source : Nicolas BOUISSON site intelligent skin.

Donc le paramètre variable c'est l'angle d'ouverture de dispositif d'ombrages 45 et 60. La simulation est faite pour le 21 juin, la journée la plus longue de l'année, pour la façade simple puis les façades dotées de dispositif d'ombrage à 9 heures, 10 heures et 11 heures.

La simulation est faite pour calculer le niveau d'éclairement et la répartition lumineuse à l'intérieur de la cellule.

III.3.Types de façades utilisées :

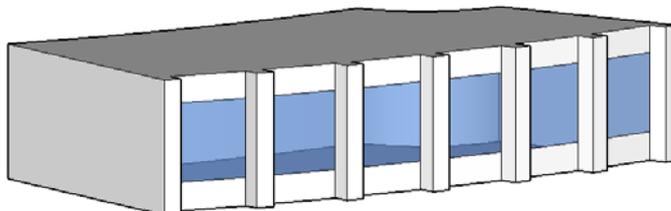


Figure 39 : La façade simple
Source : auteur

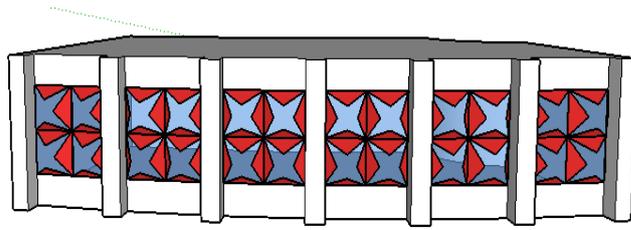


Figure 40 : La façade avec dispositif d'ombrage ouvert à 45°
Source : auteur

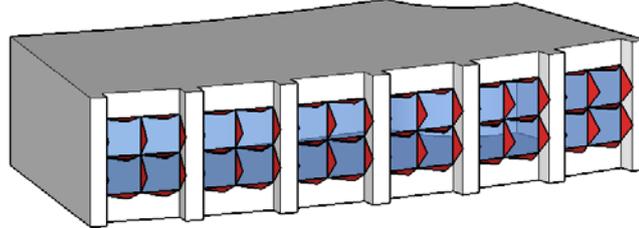


Figure 41 : La façade avec dispositif d'ombrage ouvert à 60°
Source : auteur

III.4. Les étapes de simulations :

Etape 1 : consiste a importé Radiance dans l'interface du logiciel Ecotect.l'icône 'calculer' nous mène a notre choix de « analyse de la lumière » (voir figure 42).Puis on va exporter le fichier vers radiance (voir figure 43).

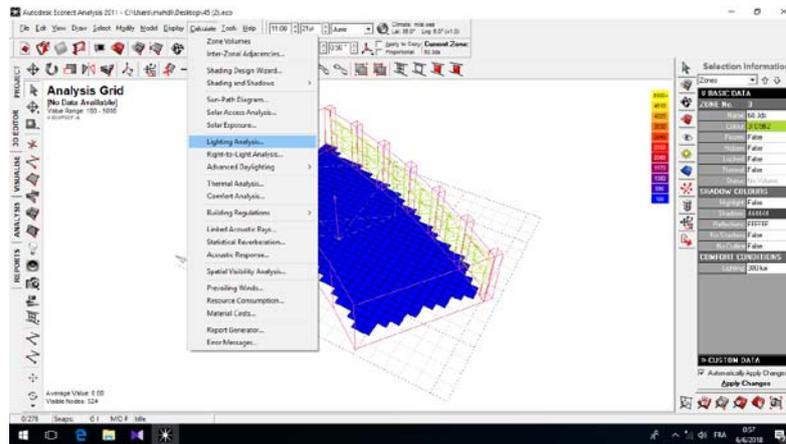


Figure 42 :Capture de l'interface logicielEcotect. Rattaché Radiance..
Source : auteur

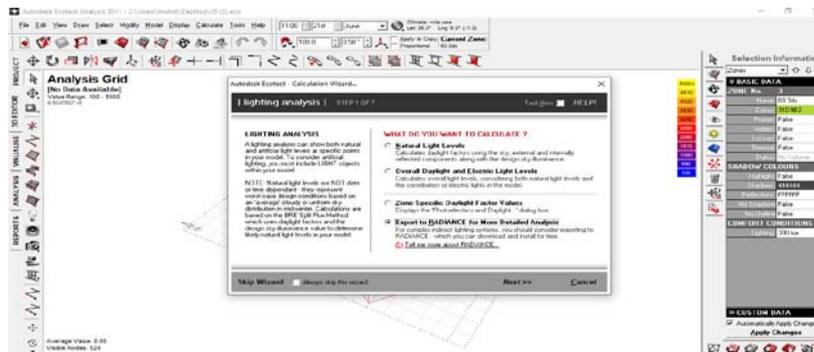


Figure 43 :Capture de l'interface logicielEcotect. « export vers radiance » .
Source : auteur

Etape 2 : Nous obtenons un tableau pour le choix de type d'analyse : éclairement dans notre cas (voir figure 44) et la façon de présenter notre analyse (voir figure 45).

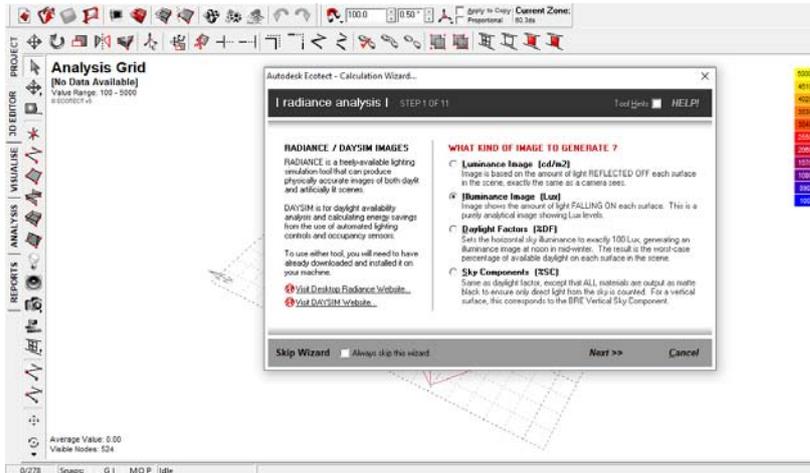


Figure 44 : Capture de l'interface logiciel Ecotect. Choix de type d'analyse de lumière.

Source : auteur

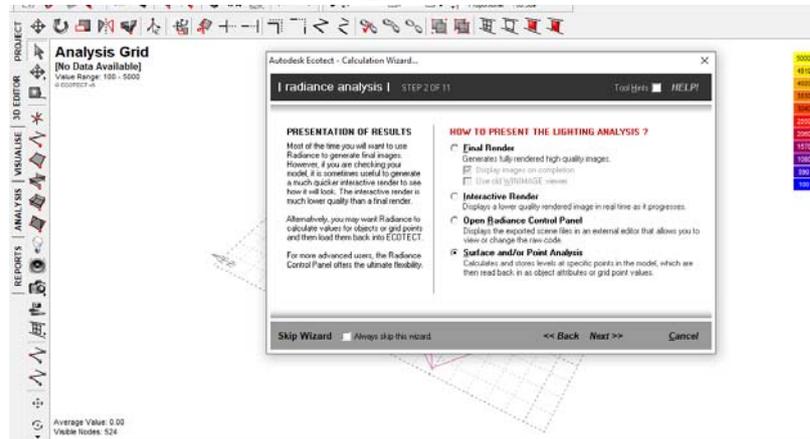


Figure 45 : Capture de l'interface logiciel Ecotect. Choix la façon de présenter l'analyse.

Source : auteur

Etape 3 : choix de la valeur pour laquelle on fait les calculs (la grille ou les objets) .on choisit la grille (voir figure 46). Puis le type de ciel (voir figure 47).

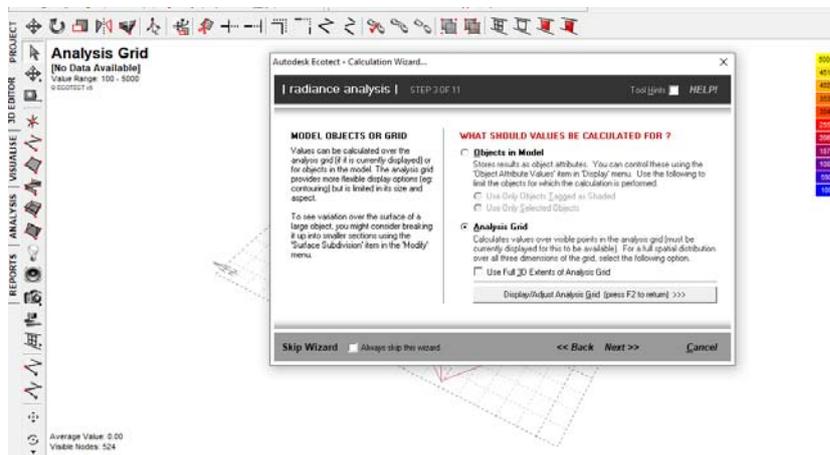


Figure 46 : Capture de l'interface logiciel Ecotect. Choix de la valeur .

Source : auteur

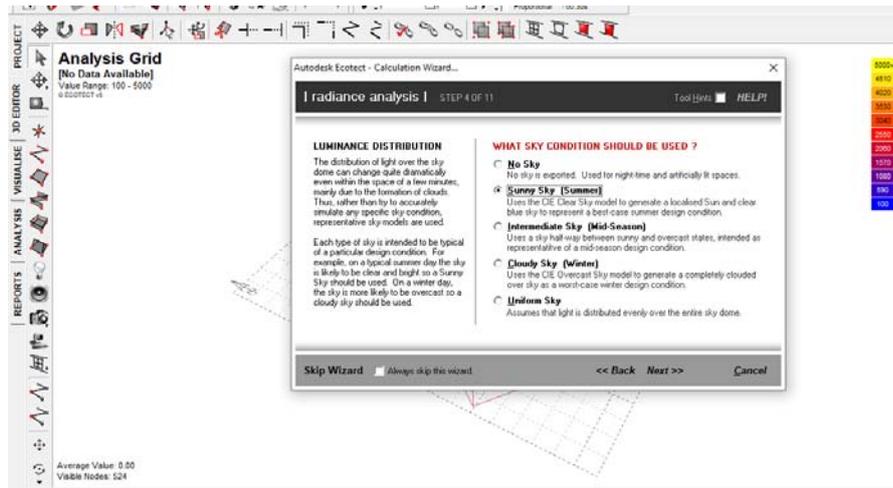


Figure 47 : Capture de l'interface logiciel Ecotect. choix de type de ciel.
Source : auteur

Etape 4 : choix de la date la journée 21 juin. (Voir figure 48).

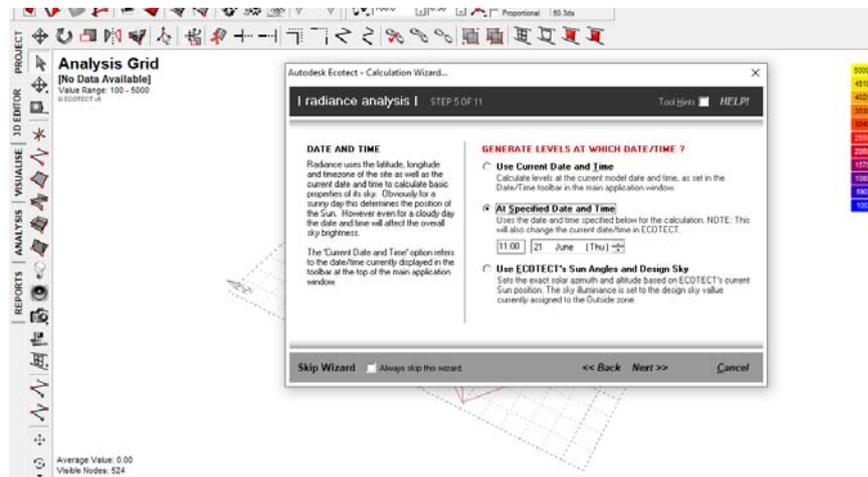


Figure 48 : Capture de l'interface logiciel Ecotect. choix de la journée
Source : auteur

Etape 5 : choix de l'espace à simuler intérieur ou extérieurs. (Voir figure 49) Puis le choix de la vue (voir figure 50).

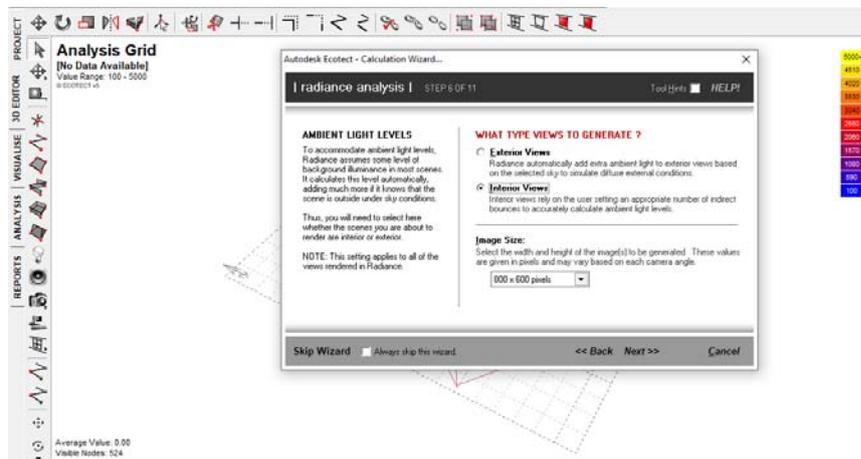


Figure 49 : Capture de l'interface logiciel Ecotect. choix de l'espace à simuler.
Source : auteur

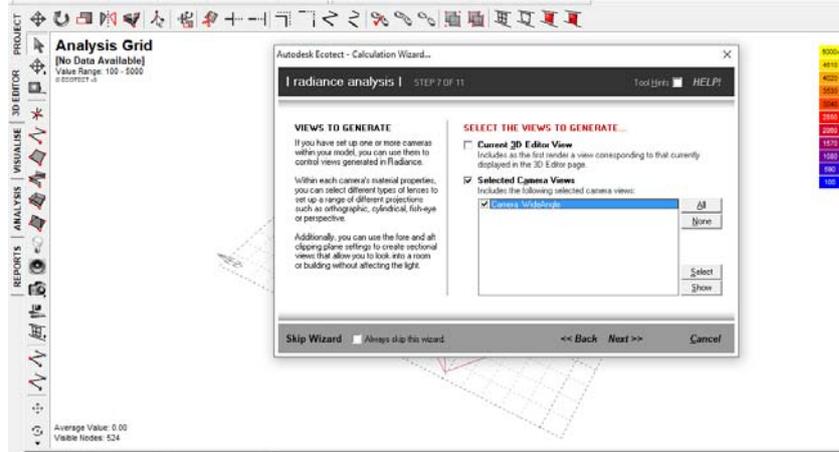


Figure 50 : Capture de l'interface logicielEcotect.choix de vue
Source : auteur

Etape 6 : choix de la qualité de rendu. (Voir figure 51) puis l'étape de vérification de l'installation de logiciel(voir figure52).

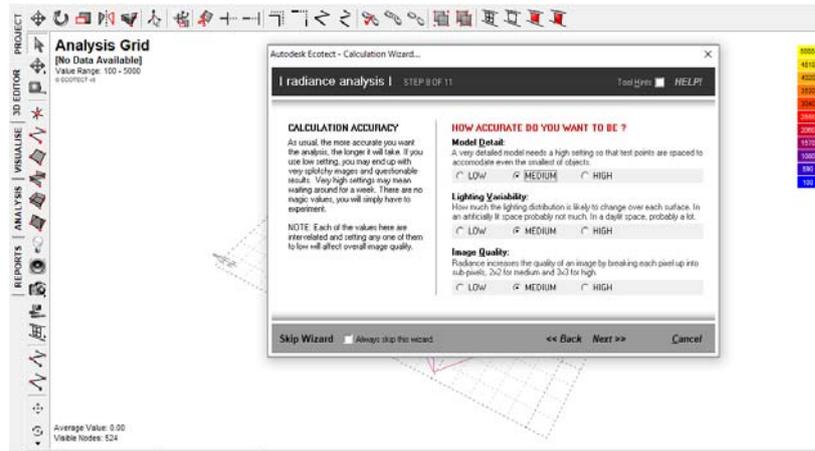


Figure 51 : Capture de l'interface logicielEcotect.choix de qualité de rendu
Source : auteur

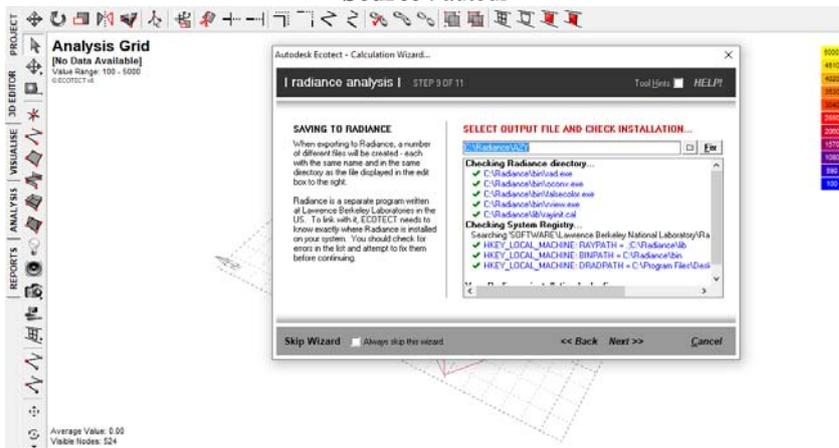


Figure 52 : Capture de l'interface logicielEcotect.vérification de l'installation.
Source : auteur.

Etape 7 : Vérification des paramètres de rendu (voir figure 53) puis un sommaire de Tout les paramètres cités dans les étapes précédentes seront afficher sur le tableau « Radiance analysis » (Voir figure 54).

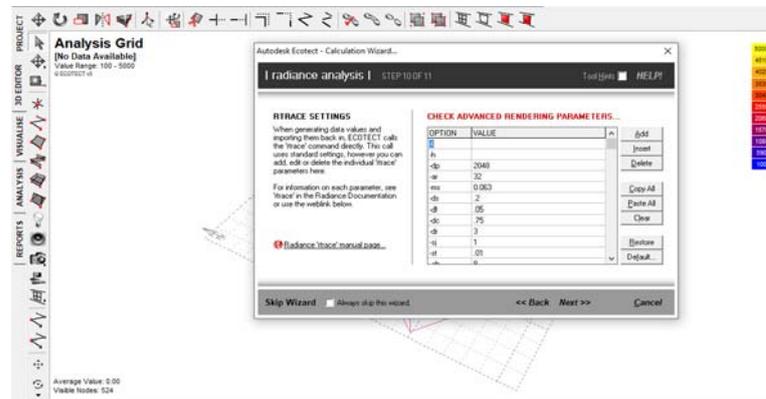


Figure 53 : Capture de l'interface logicielEcotect.vérification des paramètres de rendu .
Source : auteur

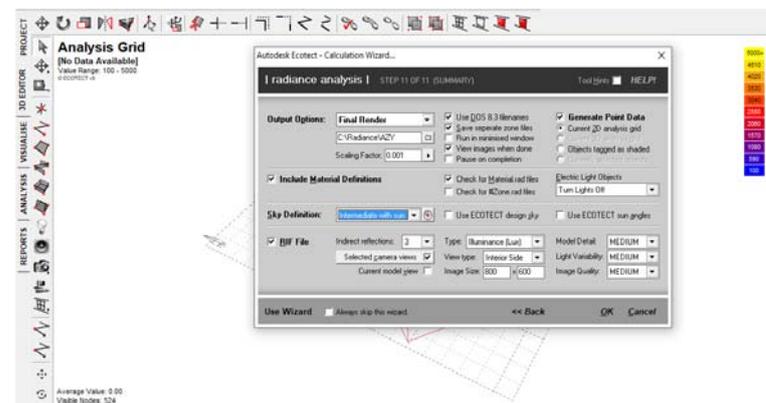


Figure 54 : Capture de l'interface logicielEcotect. Sommaire des paramètres de rendu .
Source : auteur

Etape8 : commencer la simulation

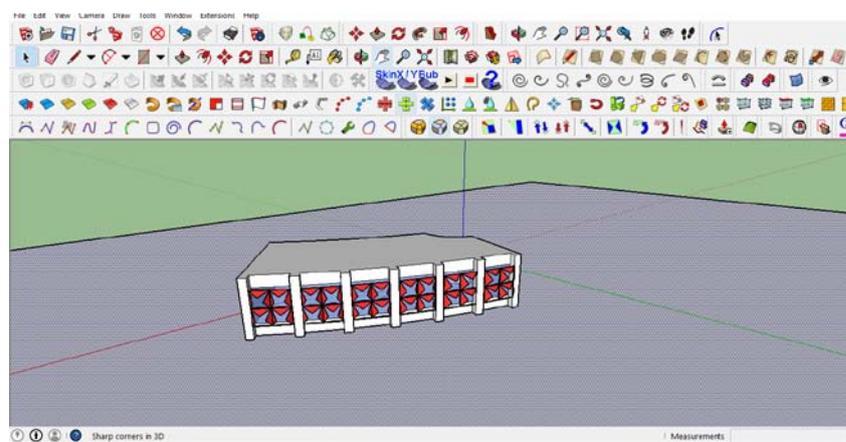


Figure 55 : Capture de l'interface radiance
Source : auteur

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté notre cas d'étude, la bibliothèque de centre universitaire de Mila, les logiciels utilisés : méteonorm pour les données climatiques, Ecotect pour 3D édition et Radiance pour la simulation numérique, les types de façades utilisés (façade actuelle, façade avec dispositif d'ombrage ouvert à 45° et à 60° et enfin les étapes principales de la simulation numérique. A partir de ce chapitre nous avons collecté tous les données nécessaires pour la simulation et on a fait notre simulation sur deux critères précis : éclairement et la distribution lumineuse au sein de la salle de lecture de la bibliothèque.

Introduction :

Dans ce chapitre nous interprétons les résultats de la simulation numérique pour calculer le niveau d'éclairage dans la salle de lecture dotée d'une façade ordinaire ou une façade intelligente pour trouver une réponse à notre problématique de départ « l'impact de la façade intelligente sur le confort visuel ».

Aussi en se basant sur les résultats issues de la simulation numérique on va et conclure avec un ensemble de recommandation qui nous semble des solutions les plus adéquates pour l'amélioration de confort visuel à travers l'utilisation de la façade intelligente.

I. Présentation des résultats :

Les résultats à 9 heures du matin :

La façade simple :

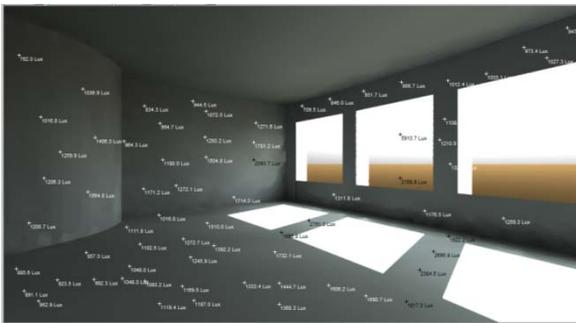


Figure 56 : les valeurs de niveau d'éclairage à 9 h la façade simple.
Source : radiance.

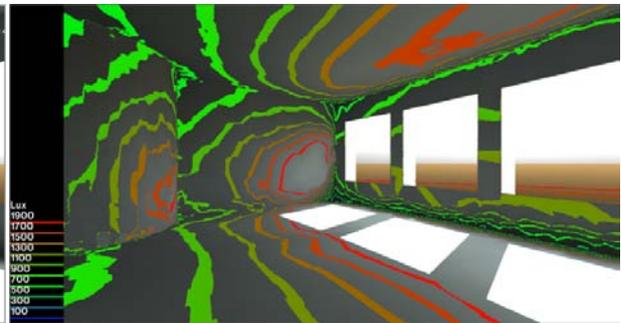


Figure 57 : les valeurs de niveau d'éclairage à 9 h la façade simple. (Contours ligne).
Source : radiance.

La façade avec dispositif d'ombrage ouvert à 45° :



Figure 58 : les valeurs de niveau d'éclairage à 9 h façade à dispositif ouvert à 45°.
Source : radiance.

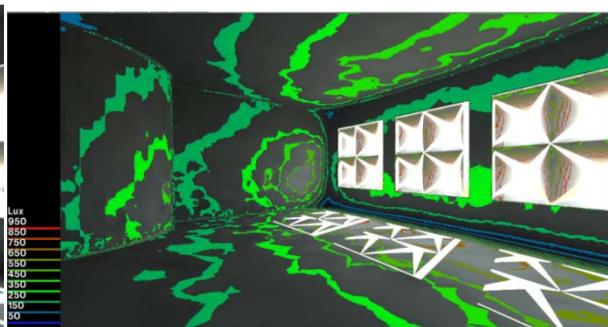


Figure 59 : les valeurs de niveau d'éclairage à 9 h façade à dispositif ouvert à 45° (contours ligne).
Source : radiance.

La façade avec dispositif d'ombrage ouvert à 60° :

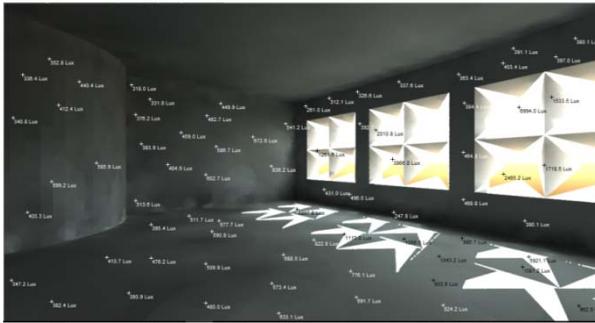


Figure 60 : les valeurs de niveau d'éclairement à 9 h façade à dispositif ouvert à 60° .
Source : radiance.

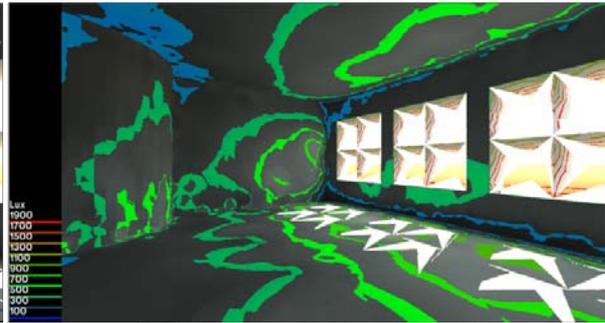


Figure 61 : les valeurs de niveau d'éclairement à 9 h façade à dispositif ouvert à 60° .
(Contours ligne).
Source : radiance.

Les résultats à 10 heures du matin :

La façade simple :

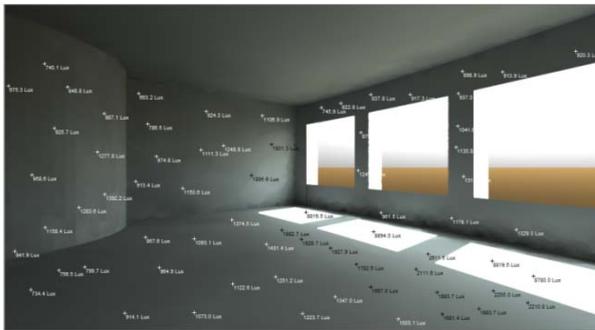


Figure 62 : les valeurs de niveau d'éclairement à 10 h façade simple.
Source : radiance.

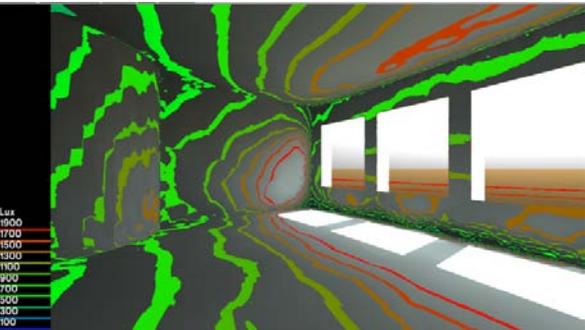


Figure 63 : les valeurs de niveau d'éclairement à 10 h façade simple.(contours ligne).
Source : radiance.

La façade avec dispositif d'ombrage ouvert à 45° :



Figure 64 : les valeurs de niveau d'éclairement à 10 h façade avec dispositif ouvert à 45°
Source : radiance.

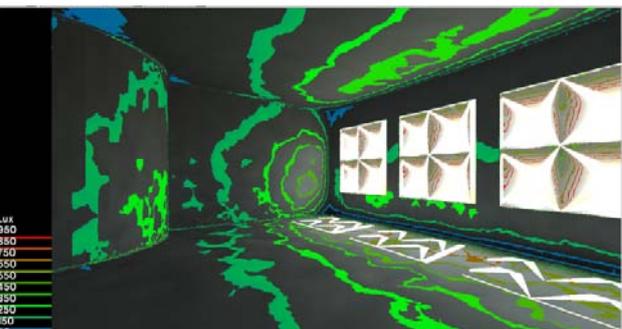


Figure 65 : les valeurs de niveau d'éclairement à 10 h façade avec dispositif ouvert à 45°
(contours ligne).
Source : radiance.

La façade avec dispositif d'ombrage ouvert à 60° :



Figure 66 : les valeurs de niveau d'éclairément à 10 h façade avec dispositif ouvert à 60°
Source : radiance.

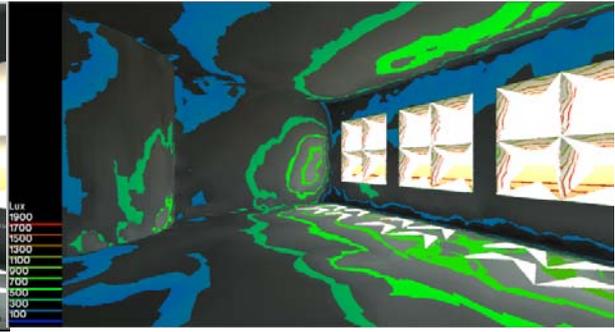


Figure 67 : les valeurs de niveau d'éclairément à 10 h façade avec dispositif ouvert à 60° (contours ligne).
Source : radiance.

Les résultats à 11 heures du matin :

La façade simple :

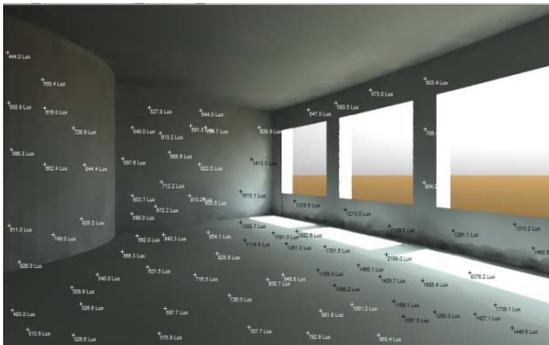


Figure 68: les valeurs de niveau d'éclairément à 11 h façade simple.
Source : radiance.

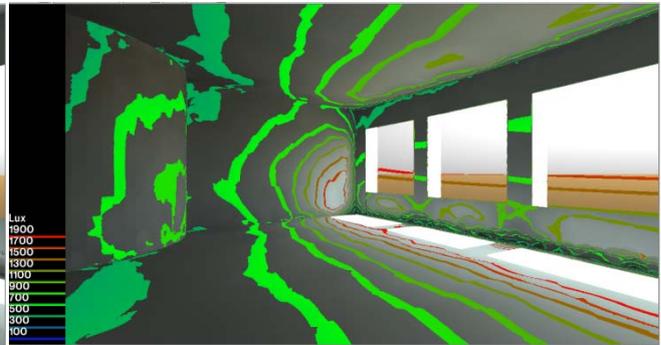


Figure 69 : les valeurs de niveau d'éclairément à 11 h façade simple. (Contours ligne).
Source : radiance.

La façade avec dispositif d'ombrage ouvert à 45° :



Figure 70 : les valeurs de niveau d'éclairément à 11 h façade avec dispositif ouvert à 45°
Source : radiance.

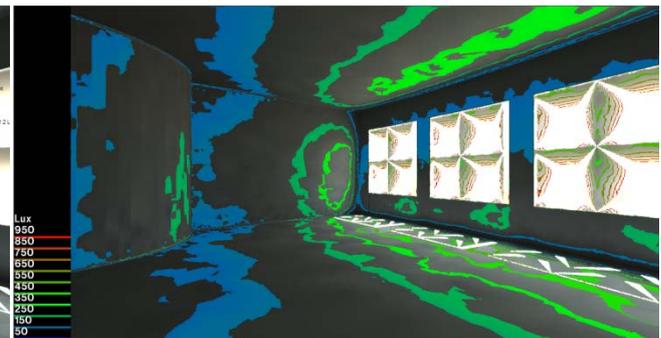


Figure 71 : les valeurs de niveau d'éclairément à 11 h façade avec dispositif ouvert à 45° (Contours ligne).
Source : radiance.

La façade avec dispositif d'ombrage ouvert à 60° :



Figure 72 : les valeurs de niveau d'éclairément à 11 h façade avec dispositif ouvert à 45°
Source : radiance.

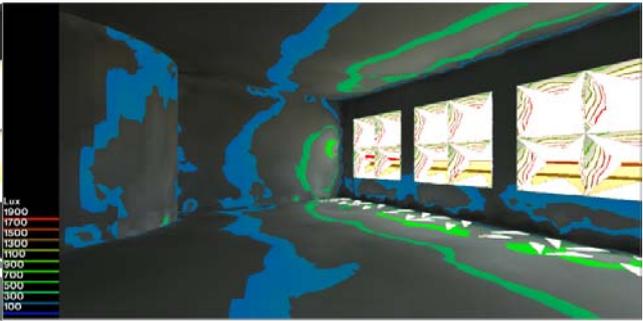


Figure 73 : les valeurs de niveau d'éclairément à 11 h façade avec dispositif ouvert à 45°
(Contours ligne).

II. Interprétations des résultats d'éclairément :

II.1. critères d'interprétations

L'activité de lecture nécessite un certain niveau d'éclairage dans les salles de lecture s l'éclairément minimal est de 300 lux, éclairément recommandé de 500 lux et l'idéal de 750 lux. Le niveau d'éclairément minimal assure une vision sans fatigue, plus l'éclairément se rapproche de l'idéale plus le confort s'améliore.

	Minimal	Recommandé	Idéal
Bibliothèque	300 lux	500 lux	750 lux
Classe	300 lux	500 lux	750 lux
Cuisine	300 lux	500 lux	750 lux
Salle de réunion	300 lux	500 lux	750 lux
Bureaux (travaux généraux)	300 lux	500 lux	750 lux
Bureau (lecture et écriture continue)	500 lux	750 lux	1000 lux
Parking	50 lux	75 lux	100 lux
Couloir	100 lux	150 lux	200 lux
Réfectoires	150 lux	200 lux	300 lux
Sanitaires	100 lux	150 lux	200 lux

Tableau 11 : Niveaux d'éclairément recommandés selon le RGPT et la norme NBN L 13-006
Source : A. DE HERDE et al [www-energie.arch.ucl.ac.be].

II.2. L'interprétations des résultats :

Le niveau d'éclairément maximal et minimal à 9 h :

Tableau 12 : le niveau d'éclairément maximal et minimal à 9 h
Source : auteur.

	Façade simple	Dispositif d'ombrage ouvert à 60°	Dispositif d'ombrage ouvert à 45°
Niveau éclairément minimal	889.6 lux	347.2 lux	186.9lux
norme	Hors norme	Avec norme	Hors norme
Niveau éclairément maximal	1922.2 lux	1043.2 lux	807.4 lux
Norme	Hors norme	Hors norme	Hors norme
Niveau de confort	Inconfortable	Moyen confortable	Inconfortable

Le niveau d'éclairage maximal et minimal à 10h :

Tableau 13 : le niveau d'éclairage maximal et minimal à 10 h

Source : auteur.

	Façade simple	Dispositif d'ombrage ouvert à 60°	Dispositif d'ombrage ouvert à 45°
Niveau éclairage minimal	734.4lux	290.2lux	177 lux
norme	Hors norme	Hors norme	Hors norme
Niveau éclairage maximal	2250 lux	1082.8 lux	728.7lux
Norme	Hors norme	Hors norme	Prés de norme
Niveau de confort	Inconfortable	Inconfortable	Moyen confortable

Le niveau d'éclairage maximal et minimal à 11h :

Tableau 14 : le niveau d'éclairage maximal et minimal à 11 h

Source : auteur.

	Façade simple	Dispositif d'ombrage ouvert à 60°	Dispositif d'ombrage ouvert à 45°
Niveau éclairage minimale	483 lux	182.6 lux	129.5 lux
norme	Avec norme 3,4% proche de E recommandé	Hors norme	Hors norme
Niveau éclairage maximale	2109 lux	654.9lux	518.2 lux
Norme	Hors norme	Avec norme 6,5% de l'idéale	Avec norme 3,4% du recommandé
Niveau de confort	Moyen confortable	Moyen confortable	Moyen confortable

Au vu de ce qui précèdent on peut constater qu'une succession et permanence entre les façades avec dispositif d'ombrage ouvert à 60° et 45° assure une amélioration du résultat concernant le niveau d'éclairage. À 9heures c'est la façade à dispositif ouvert à 60° qui assure un niveau d'éclairage minimale dans les normes. À 10 heures c'est la façade à dispositif d'ombrage ouvert à 45° qui assure un niveau d'éclairage maximale proche de la norme de 4%. À 11 heures les trois types de façade assure un niveau d'éclairage maximale ou minimale dans les normes mais la façade la plus proche de l'idéale c'est la façade a dispositif d'ombrage ouvert à 60° la façade intelligente joue le rôle positivement par l'amélioration de la quantité de la lumière à l'intérieur de la salle.

III. Interprétations des résultats de la distribution lumineuse :

La distribution lumineuse a une relation directe avec la qualité de lumière dans les espaces. Pour l'analyse de l'uniformité des zones d'éclairages il a été nécessaire de

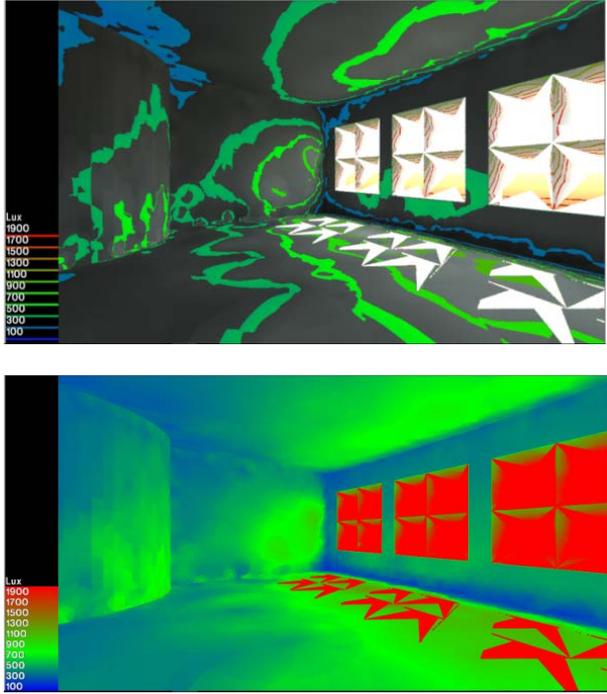
construire une échelle suivant le nombre de zones sur le plan de travail :une zone (distribution uniforme), deux zones (distribution moyennement uniforme) et trois zones (distribution non uniforme).

- La distribution lumineuse le 21 juin à 9 h

Tableau 15 : la distribution lumineuse le 21 juin à 9 h

Source : auteur.

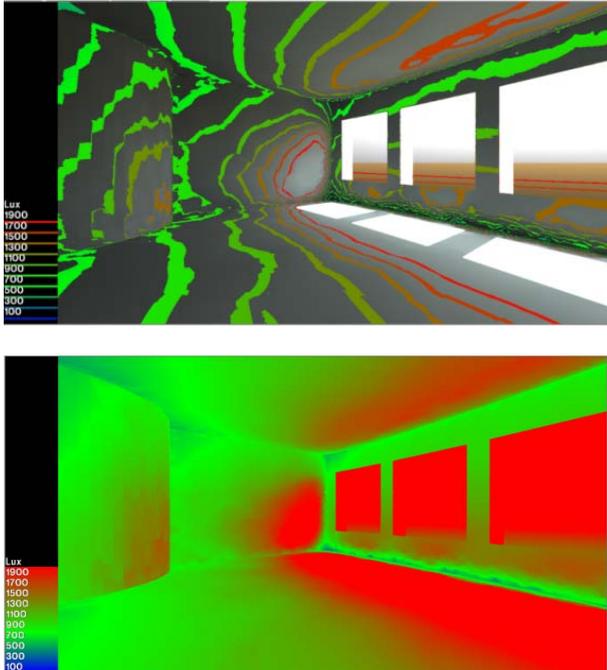
	Photo	Interprétation
Façade simple		<p>Le niveau d'éclairage est hors norme dans toutes les parties de la pièce ce qui la rend mal éclairé.</p> <p>Les taches solaires sont réparties sur la partie juste à côté de la fenêtre, le plafond, le mur en face et à côté de la fenêtre ce qui assure un niveau d'éclairage très élevé et qui peut causer de l'éblouissement.</p> <p>Distribution lumineuse uniforme hors norme.</p>
Façade à dispositif d'ombrage ouvert à 45°		<p>Ce type répartit l'espace en 2 zones</p> <p>0La zone près de la fenêtre : bien éclairé (avec norme).moyennement profonde</p> <p>0La zone loin de la fenêtre : sombre.</p> <p>Les taches solaires juste en bas de fenêtres restent mais elles sont contrôlées par rapport à la façade simple .il n'y a plus de taches solaires sur le plafond et le mur à côté.</p> <p>Distribution moyennement uniforme</p>

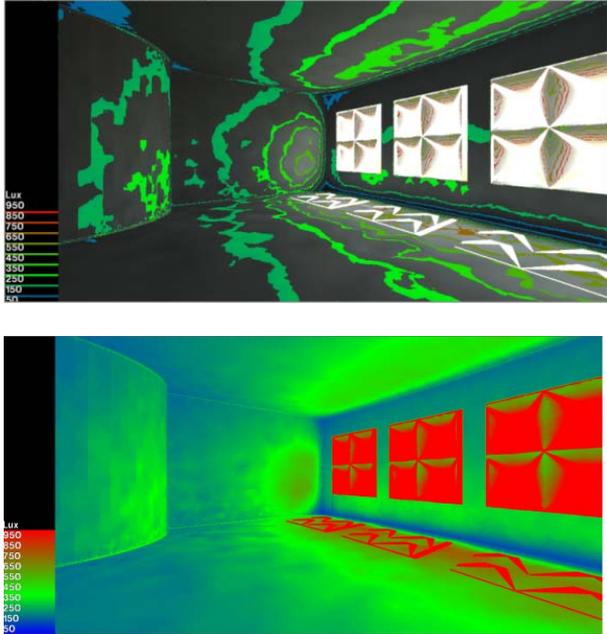
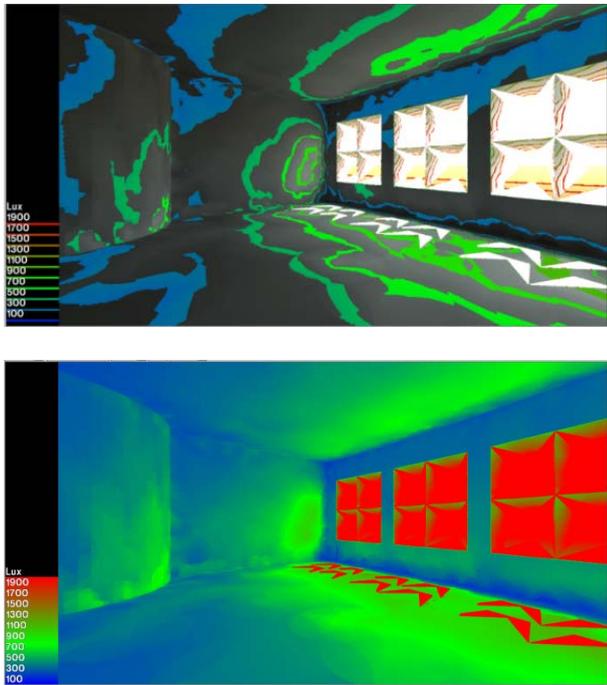
<p>Façade à dispositif d'ombrage ouvert à 60°</p>		<p>Ce type répartit l'espace en 3 zones</p> <p>0La zone près de la fenêtre : très éclairé .</p> <p>0La zone loin de la fenêtre : bien éclairé plus profonde que la façade précédente .</p> <p>-zones sombre dans les coins.</p> <p>-Absences des taches solaires.</p> <p>distribution non uniforme</p>
---	--	--

- La distribution lumineuse le 21 juin à 10 h :

Tableau 16: la distribution lumineuse le 21 juin à 10 h

Source : auteur.

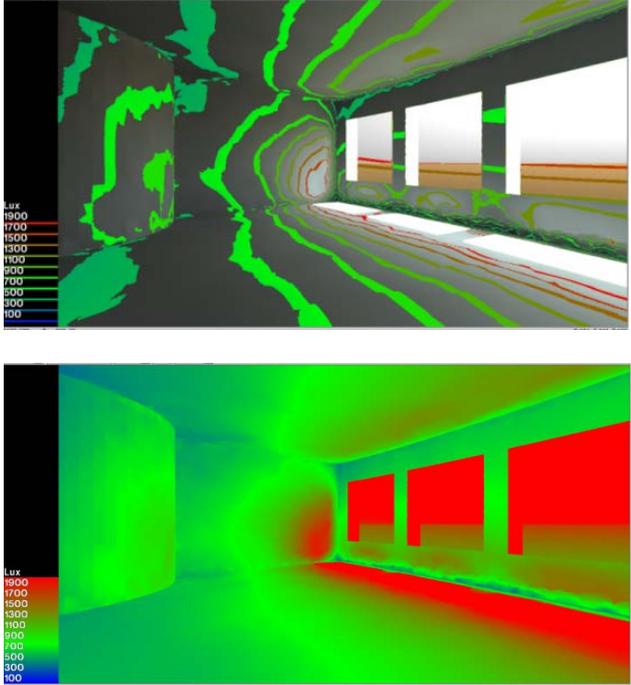
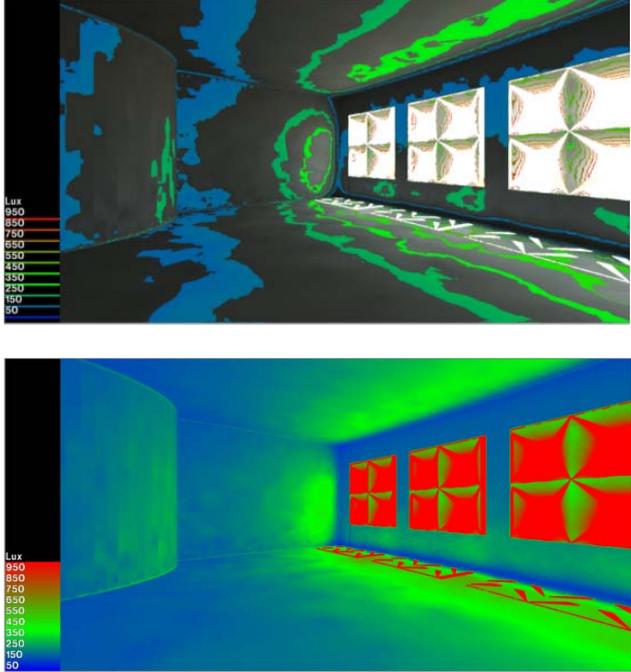
	Photo.	Interprétation.
<p>Façade simple</p>		<p>Le niveau d'éclairément est hors norme dans toutes les parties de la pièce ce qui la rend mal éclairé.</p> <p>- Les taches solaire diminue par rapport à 9 heures mais elle reflète un niveau d'éclairément très élevé .</p> <p>La distribution lumineuse est uniforme hors normes.</p>

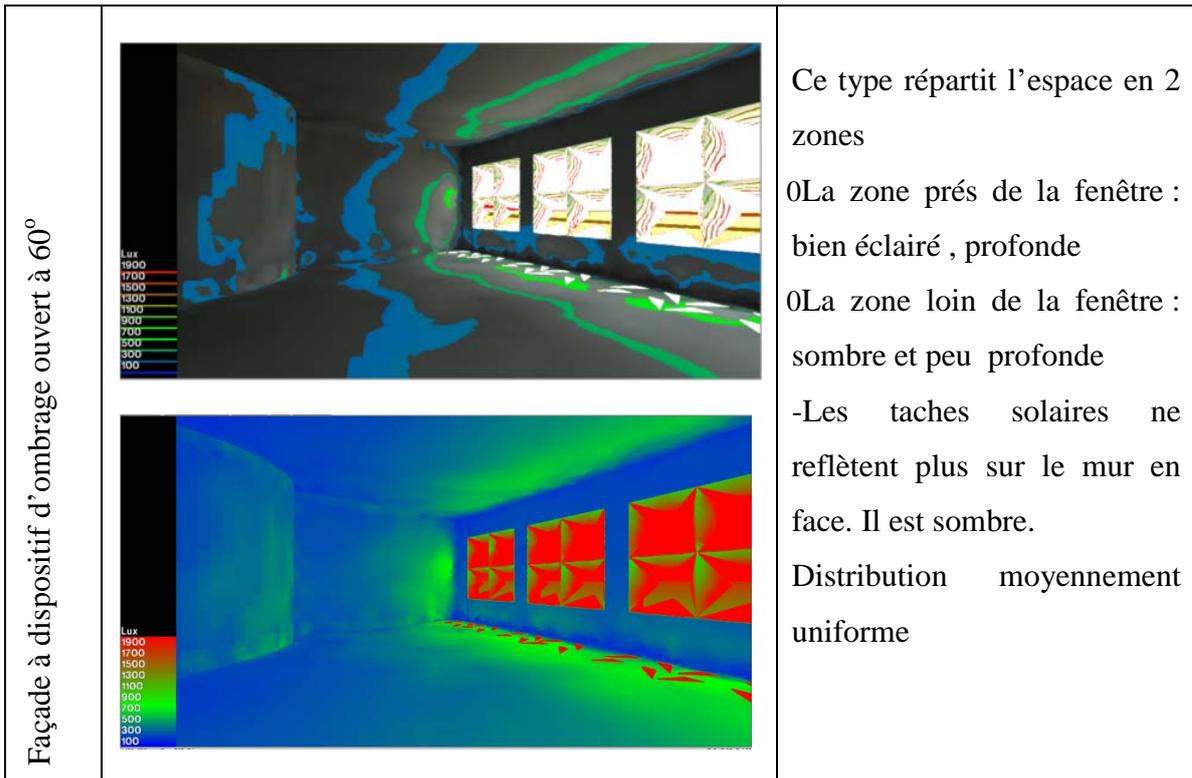
<p>Façade à dispositif d'ombrage ouvert à 45°</p>		<p>Ce type répartit l'espace en 2 zones</p> <ul style="list-style-type: none"> 0La zone près de la fenêtre : bien éclairé (avec norme). 0La zone loin de la fenêtre : sombre et profonde. <p>Les taches solaires sont contrôlées. le niveau de réflexion sur les murs diminue par rapport à 10 h heures.</p> <p>Distribution moyennement uniforme</p>
<p>Façade à dispositif d'ombrage ouvert à 60°</p>		<p>Elle répartit l'espace en 3 zones</p> <ul style="list-style-type: none"> 0La zone près de la fenêtre : très éclairée. 0La zone intermédiaire : bien éclairée et profonde . -la zone loin de la fenêtre : sombre peu profonde <p>Les taches solaires sont contrôlées. le niveau de réflexion sur les murs diminue par rapport à 10 h heures.</p> <p>distribution non uniforme</p>

La distribution lumineuse le 21 juin à 11 h :

Tableau 17: la distribution lumineuse le 21 juin à 11 h

Source : auteur.

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Façade simple</p>		<p>La pièce est répartit-en deux zones :</p> <p>Zone près de fenêtre : très éclairée profonde</p> <p>Zone loin de fenêtres : bien éclairée. moyennement profonde.</p> <p>- Lestaches solaire diminue par rapport à 9h et 10 h mais elle est toujours d'un éclairement élevé.</p> <p>Distribution moyennement uniforme</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Façade à dispositif d'ombrage ouvert à 45°</p>		<p>Ce type répartit l'espace en 2 zones</p> <p>0La zone près de la fenêtre : bien éclairé ,peu profonde</p> <p>0La zone loin de la fenêtre : sombre et plus profonde</p> <p>-Les taches solaires ne reflètent plus sur le mur en face. Il est sombre.</p> <p>Distribution moyennement uniforme</p>



Au vu des résultats de la distribution lumineuse on constate que à 9heures la façade simple est uniforme hors norme, la façade à dispositifs d'ombrage ouvert à 45 o est moyennement uniforme mais avec une zone bien éclairé peu profonde. La distribution lumineuse de la façade à dispositif ouvert à 60o est non uniforme mais c'est la façade doté de la plus profonde zone bien éclairée.

A 10 h la distribution lumineuse de la façade simple est toujours uniforme hors norme. Mais la façade à dispositifs ouvert à 45o est moyennement uniforme mais la zone sombre c'est la zone la plus profonde .la distribution lumineuse de la façade à dispositifs d'ombrage à 60 ° est non uniforme mais la plus profonde zone c'est la zone la bien éclairée.

A 11 h la distribution lumineuse des trois types est moyennement uniforme. Pour la façade simple la zone bien éclairée c'est la zone moyennement profonde. Pour les façades à dispositifs d'ombrage ouvert à 45° la zone la plus éclairée est la zone peu profonde. Pour les dispositifs d'ombrage ouvert à 60 ° c'est la zone bien éclairée qui est profonde.

En comparant les résultats on déduit :

Tableau 18: comparaison des résultats le 21 juin à 9 h

Source : auteur.

9h		Eclaircement	Distribution lumineuse	Profondeur de la zone bien éclairée
	Façade simple	Hors norme	Uniforme hors norme	/
	Façade à dispositifs	Hors norme	Moyennement	Peu profonde

CHAPITRE V : ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS.

	d'ombrage ouvert à 45		uniforme	
	Façade à dispositifs d'ombrage ouvert à 60	Selon les normes	Non uniforme.	Plus profonde

Tableau 19: comparaison des résultats le 21 juin à 10 h

Source : auteur.

10h		Eclairage	Distribution lumineuse	Profondeur de la zone bien éclairée
	Façade simple	Hors normes	Uniforme hors norme	/
	Façade à dispositifs d'ombrage ouvert à 45	Selon les normes	Moyennement uniforme	Peu profonde
	Façade à dispositifs d'ombrage ouvert à 60	Hors normes	Non uniforme	Plus profonde

Tableau 20: comparaison des résultats le 21 juin à 11 h

Source : auteur.

11h		Eclairage	Distribution lumineuse	Profondeur de la zone bien éclairée
	Façade simple	Selon les normes	Moyennement uniforme	Moyennement profonde
	Façade à dispositifs d'ombrage ouvert à 45	Selon les normes	Moyennement uniforme	Peu profonde
	Façade à dispositifs d'ombrage ouvert à 60	Selon les normes	Moyennement uniforme	Plus profonde

Conclusion :

La partie pratique a touché la salle de lecture de la bibliothèque de l'Institut de littérature et des Langues Étrangères centre universitaire de la wilaya de Mila, elle est basée sur une simulation numérique à l'aide des logiciels ECOTECH et RADIANCE, il s'agissait de simuler le cas d'étude avec une façade simple ordinaire puis avec des fenêtres dotées de motifs similaires au motif des façades intelligentes avec un angle de 45° et un autre de 60°. Le but réel, est de valider ou de négliger nos hypothèses.

La permanence et la succession de façade à dispositifs d'ombrage ouvert à 45° et 60° a approuvé l'hypothèse de la façade intelligente améliore la quantité de la lumière à l'intérieur des espaces mais la succession de ces dispositifs ne marque pas une amélioration dans l'uniformité de la distribution lumineuse et aussi elle n'assure pas la profondeur idéale. Pour

assurer la qualité de lumière on doit négliger la quantité et le vice versa .Après la lecture des résultats et l'approche théorique de la première partie on tente de proposer la solution d'adopter un éclairage zénithal pour assurer l'uniformité de la distribution lumineuse à l'intérieur de la salle de lecture ou ajouter des panneau réfléchissant au plafond .

•Utilisation de l'éclairage zénithal :

L'éclairage zénithal est connu par la bonne répartition lumineuse à l'intérieur de l'espace et il diminue la tombée directe de la lumière.



Figure 74 : Eclairage zénithal

Source :<https://www.maison.com/>.

•Utilisation des plafonds réfléchissants :

Les plafonds réfléchissant jouent un rôle important dans la distribution lumineuse au fonds des salles. Elle réfléchit la lumière vers les espaces éloignés des fenêtres.



Figure 75 : schéma d'un plafond réfléchissant

Source :<https://fr.gkd.de/>

• Utilisation des conduites de lumière pour les zones éloignées :

Les conduits de lumière sont utilisés pour transporter et distribuer de la lumière naturelle sans transmission de chaleur dans des pièces sombres éloignées des ouvertures traditionnelles¹ tout en réduisant au minimum la perte de lumière.

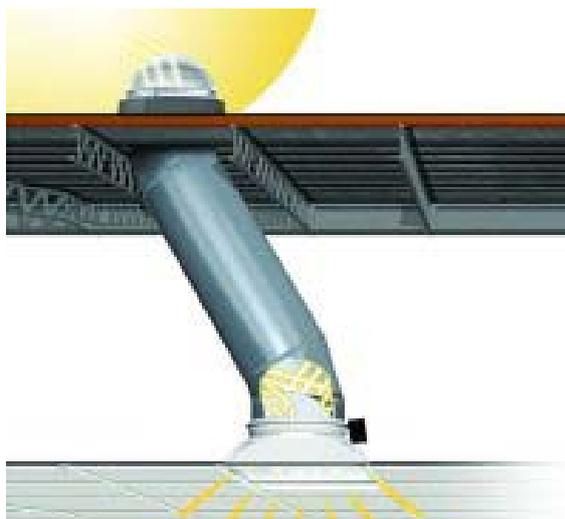


Figure 76 : conduites de lumière
Source : <http://www.batiweb.com>

Conclusion:

La façade intelligente qui est un concept architectural apparu au début des années quatre-vingt, n'est toujours pas usité dans notre pays car méconnu ou très peu connu par la corporation des architectes. Dans notre mémoire de fin d'études, nous avons tenté, au travers des recherches que nous avons effectuées, de le faire connaître tout en faisant apparaître son côté positif sur le confort visuel qu'il procure aux usagers des immeubles dotés de ce système mais aussi sur la qualité de leurs ambiances intérieures. Nous avons pu mettre en exergue, tout le long de notre travail de recherche, la nécessité de la mise en place d'un tel dispositif, compte tenu des avantages avérés qu'il procure sur le plan du confort intérieur.

Ainsi, contrairement à la façade traditionnelle, la façade intelligente présente des fonctions diverses toutes aussi riches les unes que les autres qui, selon les besoins de l'utilisateur, améliorent le confort en général et le confort visuel, en particulier. Les occupants peuvent, grâce à un contrôle manuel, gérer la façade selon leurs envies. L'adoption de ce type de façade nécessite beaucoup de moyens financiers et la présence permanente de toute l'équipe ayant participé à sa conception à l'instar des architectes, des informaticiens, des techniciens de maintenance et ce pour assurer le bon fonctionnement du système mis en place. Au vu des obstacles financiers que peut engendrer la conception d'une façade intelligente, un véritable défi s'impose aux concepteurs. Ces derniers devraient suivre des formations continues, se rencontrer, échanger leurs points de vue avec les acteurs nationaux et internationaux, mobiliser leurs efforts et disposer de fonds nécessaires pour l'application de ce concept architectural.

Selon les recherches menées, il s'avère que les façades intelligentes jouent un rôle primordial dans l'amélioration du confort visuel aussi bien sur le plan quantitatif que sur le plan qualitatif. La façade intelligente assure un niveau d'éclairage adaptable aux tâches et activités visées et intègre des fonctions selon les besoins. Par ailleurs les simulations numériques menées par nos soins à l'aide du logiciel ECOTECT et RADIANCE au niveau de la bibliothèque des lettres du centre universitaire Abdelhafid Boussouf de Mila nous ont permis d'appréhender l'impact de la façade intelligente sur le confort visuel, précisément, sur l'éclairage et la répartition lumineuse dans l'espace ou la cellule choisie et de conclure que la façade intelligente améliore la quantité de lumière à l'intérieur des espaces mais que la répartition lumineuse liée à la qualité de la lumière demeure insuffisante. Nous avons aussi, logiquement, déduit que le rôle des capteurs est primordial dans la collecte des données précises, heure par heure, selon la région, selon les stations météorologiques pour le bon

CONCLUSION GENERALE.

fonctionnement des dispositifs d'ombrage amovibles. Aussi on a proposé des solutions qui peuvent aider à l'amélioration du confort visuel tel que l'éclairage zénithal et les plafonds réfléchissants.

Ouvrages livres :

- **ARNOULD** Jules, « *Nouveaux éléments d'hygiène* », j.-b. Baillière ,1889 ; p 1174. [En ligne] :<https://books.google.com/>,[consulté le 05 avril 2018].
- **COMPAGNO**Andrea, « Intelligente Glasfassaden
- **COMPAGNO**, A., livre “*Intelligent glass façades: material, practice, design*”, Basel: Birkhäuser Verlag., 1999.
- **CRISINEL**, Michel,Glass & Interactive Building Envelopes IOS Press, 2007, 308 pages, p29.[en ligne] : <https://books.google.dz/> [consulté 18 avril 2018].
- **DAMELINCOURT** et al, *Éclairage d'intérieur et ambiances visuelles*, édition Lavoisier, Nov. 24, 2010, p115.
- **DAMELINCOURT**et al, livre « *éclairage d'intérieur et ambiances visuelles*, 2010, p212.
- **DE HERDE** André Sigrid REITER, *L'éclairage naturel des bâtiments* ; UCL presse universitaire de Louvain prix Roberval 2003, P 51.
- **FITZGERALD**, J., & Fitzgerald, A.F., “Fundamentals of systems analysis. Using structured analysis and design techniques”, edition (1st edition in 1973), New York, 1987. P 248
- **HARRISON** Andrew et al,Intelligent Buildings in South East Asia, édition Taylor & Francis, 5 octobre 2005,192p, p 31,[En ligne] :<https://books.google.com/>. [consulté le 2 avril 2018]..
- **KILLORY** Christine, Rene DAVIDS,*Details in Contemporary Architecture*, Princeton Architectural Press, Jul 2, 2013 - ARCHITECTURE - 208 pages , p 33.
- **KRONENBURG**Robert,*Flexible Architecture that respond to change*, édition Laurence King, 2007, p 213.
- **LIEBARD**Alain, André De Herde , « *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques - Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable* »,le moniteur éditions, paru le : 30/03/2006.
- **MARCHESI**Fabio, *les bienfaits de la lumière sur votre santé*, Éd. du Dauphin, 2008.
- **OBORN**Peter et al ,*Al Bahr Towers: The Abu Dhabi Investment Council Headquarters*, John Wiley & Sons, Nov 15, 2012 - Architecture - 208 pages,
- **RITTER**, Axel., "*Smart Materials in Architecture, Interior Architecture and Design*", Architectural Press, Berlin, 2007.p 101.
- **SHENGWEI** Wang, « *Intelligent Buildings and Building Automation* »,édition Routledge, 4déc 2009 ,p248.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

- **VON MEISS** Pierre , « *De la forme au lieu*, » pierre ,ppur presses polytechniques, 1993 - ,p187.
- **WIGGINTON** Michael, Jude **HARRIS** : *intelligent skin* , Edition Butterworth-Heinemann, 2002, p 20,[En ligne] : <https://disegnodiezunibe.files.wordpress.com/2011/05/intelligentskins.pdf>. [consulté 3 Avril 2018].

Article, revue et rapport :

- **ADDINGTON** M., Schodek, D: « *Smart materials and technologies in architecture* », edition :presse architecturale, 2005,Oxford,p 79, [en ligne] : <https://bintian.files.wordpress.com/2013/01/smart-materials-new-technologies-for-the-architecture-design-professions.pdf> ,[consulté 23 avril 2018].
- **BOUVIER**, F., (1981). « Eclairage naturel », *Technique de l'ingénieur*, Vol. C6, n° C 3 315, Paris
- **DAVIES**, M et al, “A translucent Louvre system: design concepts, modeling work and monitored data”, *Building Research & Information*, Volume 28, 2000.
- **DENEYERA**, *le confort visuel et la normalisation (norme et règlement)*, revue CSTC, 003/3, pp 33-43.
- **Durand** Éric Habitat Solaire et Maîtrise de l’Energie Revue Systèmes Solaire N°17/18 – oct. /nov. 1986 p10.
- **FLORU**.R. *Eclairage et vision*, rapport de recherche, *Notes scientifiques et techniques de l’INRS NS 149*, Institut National de Recherche et de Sécurité 1996, 135 p.p. 8.
- **KARANOUBA** Abdulmajid et Ethan **KERBERB**, « Innovations in dynamic architecture The Al-Bahr Towers Design and delivery of complex facades », 2015, *Journal of Facade Design and Engineering* p 185–221. [En ligne] : <https://content.iospress.com/>, [consulté 03 Mai 2018].
- **LITTLEFAIR**, P.J., “Innovative daylighting: Review of systems and evaluation methods”, *Lighting Research and Technology* **22**, 1990.
- **RICARD** Patricia, *Le biomimétisme : s’inspirer de la nature pour innover durablement*, présenté au nom de la section de l’environnement, journal officiel de la république française,p 49 ,[en ligne] : http://www.lecese.fr/sites/default/files/pdf/Avis/2015/2015_23_biomimetisme.pdf.
- **SENA**,R., *Renawable and sustainable energy review* pp 115-155

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

- **SKELLY.M.** , Essay competition: The individual and the intelligent facade,*building research and information* , volume 28 ,publié en ligne 18 oct 2010,pp 67-69 .[en ligne] :<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/096132100369118>.[consulté 22 Mars 2018].
- **TOMBAZIS, A.N.**, "*On skins and other preoccupations of architectural design*", Renewable Energy, Elsevier Science Ltd., 1996.p 53.

Conférence :

- **DEWIDAR, K.** et al , (2010), *The role of intelligent façades in energy conservation*, International Conference on Sustainability and the Future: Future Intermediate Sustainable Cities Egypt
- **MOSTEFA.M.S.Ahmed**, conférence « *developpement of intelligent façade based on outdoor environnement and indoor thermal comfort* »
- **SHERBINI, K & KROWCZYK, R.** conference: "*Overview of Intelligent Architecture*", la premiere conference internationale, E-Design in Architecture, Dhahran, Saudi Arabia, 2004.[en ligne]:<http://mypages.iit.edu/~krawczyk/ksascad04.pdf>.[consulté le 28 Mars 2018].
- **XUEREB Kornad**, *the al bahr towers – enhancing sustainability through innovation*, conference de institut de l'énergie durable, université de malte, 20 th march 2014,[en ligne] : https://www.um.edu.mt/library/oar/bitstream/handle/123456789/22981/2_1_xuereb.pdf?sequence=1&isallowed=y ,[consulté le 03 Mai 2018].

Mémoire et thèse :

- **AL THOBAITI, Mohammed M.**, "*Intelligent and Adaptive Façade System: The Impact of Intelligent and Adaptive Façade on The Performance and Energy Efficiency of Buildings*" (2014),université Miami Open Access Theses. 511. [en ligne] :http://scholarlyrepository.miami.edu/oa_theses/511. [consulté 29 Mars 2018].
- **Hovels JM** *The Open Modular Façade Concept* Master Thesis ,JoepHövels Juin 2007 faculté de l'architecture et technologie A. Borgart
- **JOSEManuel Camara et al**, *La ville inversée : urbanité suspendue*, soutenue a l'école nationale supérieure d'architecture de Grenoble, Juin 2013,p 90 . URL : <http://www.grenoble.archi.fr/pdf/etudes/m2-ambiances/la-ville-inversee-urbanite-suspendue.pdf>. [consulté le 8Avril 2018].

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

- **MEDDOUR** Samir. 2008. *impact de l'éclairage zénithal sur la présentation et la préservation des œuvres d'art dans les musées « Cas du musée Cirta de Constantine »*.248. Mémoire de magistère. Architecture Bioclimatique. Université Mentouri Constantine.
- **MODIN**, Hanna, Thèse Adaptive building envelopes pour obtention de Master en architecture à l'université de Chalmers a Göteborg Suède 2014 p23, [en ligne]: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/214574/214574.pdf>, [consulté 02 Mai 2018].
- **PICAUD** Serge, *Etude et optimisation d'un système d'éclairage efficace énergétiquement et adapté aux besoins de ses utilisateurs (santé, sécurité et qualité de vie*, présentée à l'université de Toulouse le 19 juin 2014.
- **WYCKMANS** Annemie, thèse de doctorat, « *Intelligent Building Enveloppes* », soutenue à l'université de Norvège ,2005
- **ZEMMOURICHEMSA MALIKA**, « *caractérisation et optimisation de la lumière naturelle en milieu urbain* », présentée pour l'obtention du diplôme de doctorat en sciences, université Ferhat Abbas-Sétif, p113.

Site internet :

- **Archdaily** : <https://www.archdaily.com/>
- **Architecte Behnisch** : <https://behnisch.com/work/projects/0104>
- **ASSTSAS**: <http://asstsas.qc.ca/>.
- **Association ARCHLINK**:<http://www.archilink.com/>.
- **Autodesk** :[http:// autodesk.fr](http://autodesk.fr).
- **BERTHOME GILLES**: <http://gilles.berthome.free.fr/>
- **Castorama** : <https://www.castorama.fr> .
- **CSTB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment** :<http://logiciels.cstb.fr/>
- **Energie +** :<https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=2>
- **Oragantion « institut de bio mimétisme »** :<https://biomimicry.org/>
- **Mon année au collège** : <https://www.monanneeaucollege.com/4.svt.chap12.htm>.
- **Société IsoLED**:(<http://www.isoled.fr/>).
- **Société EVERLITE** : <http://www.everliteconcept.com/>
- **Société WICONA** : <https://www.wicona.com/>.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

Annexe 1 : les systèmes d'intelligence artificielle :

Les systèmes experts : ou les systèmes basés sur la connaissance simulent l'expertise humaine dans un domaine spécifique, et comprend généralement deux éléments principaux : la base de connaissances et les mécanismes d'inférence. La base de connaissances contient la connaissance du domaine des experts humains, fournie avec des informations publiées et des résultats expérimentaux. Le mécanisme d'inférence manipule les connaissances stockées afin d'élaborer une réponse appropriée et des stratégies.

Un réseau de neurones artificiels : est composé d'un groupe de neurones artificiels interconnectés et interagissant, qui peut être formé pour produire une sortie désirée sur la base d'une entrée donnée concernant les performances passées du système. Pendant la formation, les poids des connexions entre les neurones sont ajustés afin de créer la bonne relation entre l'entrée et la sortie. De plus, ces caractéristiques permettent à un ANN de détecter des informations utiles, distinguer entre les données pertinentes et superflues, et même prédire l'évolution de paramètres tels que la charge d'énergie et les conditions météorologiques.

Le système flou : combine un raisonnement approximatif avec une base de connaissances d'experts, et sont, semblables à un réseau de neurones artificiels, inspirés par l'intuition humaine. La technique de raisonnement approximatif réduit les systèmes complexes à des règles faciles à comprendre. Cela permet à la base de connaissances d'experts d'être utilisée également lorsque des informations incomplètes ou vagues de l'environnement doivent être manipulées, ou de nouvelles situations occasionnelles.

Les algorithmes évolutionnaires (EA) sont inspirés par l'évolution biologique, et plus spécifiquement par les principes de la sélection naturelle et de la génétique des populations. Afin de créer des solutions souhaitables à un problème, une population de solutions potentielles est élaborée sur plusieurs générations par recombinaison et mutation. Chacune des solutions potentielles a un code génétique composé d'un certain nombre de paramètres pertinents pour le problème. Comme les jeux de paramètres sont codés, plusieurs types de variables peuvent être représentés dans une seule solution. Commencer avec des valeurs aléatoires, potentiellement combinées avec quelques bonnes solutions connues, ces codes génétiques sont ensuite recombinaisonnés et mutés en solutions qui sont plus aptes à résoudre le problème à portée de main. Plus une solution est efficace pour résoudre le problème, plus ses chances sont élevées de propager ses gènes à la génération suivante.

Le raisonnement par cas : résout une situation problématique en se référant à l'expérience passée. Chaque fois qu'un problème est rencontré, la base de connaissance extrait une situation à base des cas déjà stockés. Par conséquent, le raisonnement par cas est le plus utilement appliqué lorsque beaucoup d'informations sur les expériences passées est disponible. Si aucun cas pertinent ne peut être trouvé, l'intervention humaine est nécessaire pour étendre la base de connaissances.

Les techniques de l'intelligence artificielle

Source : Annemie WYCKMANS, «intelligent building envelopes»