

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 :
BELKHIR Hamza
BELHADJ Yahia

THEME :
LE VERRE COMME MATERIAU DURABLE POUR
L'AMELIORATION THERMIQUE DES BATIMENTS

Date de la Soutenance : 25/06/2018.

Composition du Jury :

Ibtissam HELLAL MAA, université Mohamed Seddik BENYAHIA - Jijel, Président du jury
Djenette LAOUAR MAA, université Mohamed Seddik BENYAHIA - Jijel, Directrice de mémoire
ouahid HALLOUFI MAA, université Mohamed Seddik BENYAHIA - Jijel, Membre du Jury

Année universitaire 2017-2018

Remerciements

« Louange à l'unique Dieu, Lumière des cieux et de la terre, qui aide et qui guide »

Tout d'abord, nous tenons à remercier « ALLAH » le tout puissant, notre créateur, de nous avoir donné la force, la volonté, la patience et le courage afin d'accomplir ce modeste travail ;

*Nos remerciements les plus cordiaux s'adressent à notre encadreur **Mme Djenette LAOUR** pour tous les efforts qu'il a consentis tout au long de l'élaboration de ce travail, ses encouragements, ses précieux conseils, ses critiques constructives, et la confiance qu'il nous a toujours témoignée ;*

Nous tenons également à remercier les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de siéger à notre soutenance :

*Nous souhaitons exprimer notre gratitude à : **Mme Ibtisseme Hellal**, et à **Mr Wahid Haloufi** pour avoir pris le temps d'examiner et d'évaluer ce mémoire. Nous les remercions pour l'intérêt et les précieux conseils et remarques qu'ils ont porté à ce travail ;*

Nous tenons aussi, à remercier l'ensemble des enseignants qui ont assuré notre formation durant le cursus de formation en architecture.

Nous tenons enfin, à remercier tous ceux qui ont participé de près ou de loin dans l'élaboration de ce travail.

Merci à tous....

Hamza, Fahia.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail:

*A ceux qui m'ont donné la vie, l'espoir et l'amour, à ceux
qui m'ont encouragé le long de mes études :*

Ma très chère mère et mon très cher père,

Que le dieu me les protège et me les garde;

A mes frères; Abd edjalil,amal ,akila,maha ,noha ,ziad

A toute ma famille;

A tous mes amis ;charaf eddine,amir,yaser,

A tous mes collègues du département

d'Architecture;

A tous les personnes qui m'ont aidé de proche

ou de loin pour réaliser ce travail.

Belkhir hamza



Dédicace

Je dédie ce modeste travail:

A ceux qui m'ont donné la vie, l'espoir et l'amour, à ceux

qui m'ont encouragé le long de mes études :

Ma très chère mère et mon très cher père,

Que le dieu me les protège et me les garde;

A mes frères; Adel, khadidja , Souad, Anis,

A toute ma famille;

A tous mes amis ; Charaf, Idris, Mohammed,

A tous mes collègues du département

d'Architecture;

A tous les personnes qui m'ont aidé de proche

Ou de loin pour réaliser ce travail.

BELHADJ yahia



Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur le verre

Figure.I.1: Verre en fusion est prélevé avec la canne.....	6
Figure.I.2 : Le verre vénitien	7
Figure.I.3: Cathédrale St-Vitus, à Prague, tchèque	7
Figure.I.4: Le Crystal Palace 1851.....	8
Figure.I.5: Utilisation de verre aujourd'hui	9
Figure.I.6: Sable de silice	9
Figure.I.7: Le verre trempé thermiquement.....	10
Figure.I.8: Schéma de casse d'un verre durci.....	11
Figure.I.9: Exemples de verre feuilleté.....	12
Figure.I.10: Dépôt de couches pyrolytiques à la sortie du four.....	13
Figure.I.11: Double vitrage : composants et numérotation des face.....	13
Figure.I.12: Fabrication et exemple de verre bombé	14
Figure.I.13: Verre bombé.....	14

Chapitre II : Le verre et l'amélioration thermique des bâtiments

Figure.II.1: Echanges thermiques.....	19
Figure.II.2: Schéma de cycle de vie du verre.....	21
Figure.II.3: Modes de transmission travers un vitrage.....	22
Figure.II.4: Comportement en présence d'un rayonnement.....	23
Figure.II.5: Fonctionnement de vitrage simple en présence d'un rayonnement.....	24
Figure.II.6: Principe d'effet de serre.....	25
Figure.II.7: Transmission de chaleur –simple vitrage	25
Figure.II.8: Pont thermique de fenêtre (coupe verticale).....	26
Figure.II.9: Exemple.coupe vitrage isolant.....	28
Figure.II.10: Composant d'un double vitrage.....	29
Figure.II.11: Fonctionnement d'un double vitrage haute rendement	30
Figure.II.12: Evolution de la température de la face intérieure du vitrage	31

Figure.II.13 : Triple vitrage .coupe transversale.....	32
Figure.II.14 : Composants de triple vitrage	32
Figure.II.15 : Comportement de triple vitrage.....	33
Figure.II.16 : Schéma d'une double-peau.....	34
Figure.II.17 : Schéma des types de circulation.....	36
Figure.II.18 : Fonctionnement de vitrage control solaire.....	37

Chapitre III : Le verre et la conception architecturale des bâtiments

Figure.III.1 : Maison la maison sur cascade.....	41
Figure.III.2 : Serre de dahlem. Allemagne.....	42
Figure.III.3 : Eglise notre dame du haut –intérieur	42
Figure.III.4 : Maison de verre-vue intérieur.....	43
Figure.III.5 : Maison de verre	43
Figure.III.6 : Fenêtre unique sur 11 mètre de long.....	45
Figure.III.7 : La basilique gothique de Saint-Denis,.....	45
Figure.III.8 : Galleria Vittorio Emanuele II ,. Milan 1876.....	46
Figure.III.9 : Crown Hall, à Illinois Chicago,1956.....	47
Figure.III.10: Le Seagram Building,1958,Park	48
Figure.III.11: L'hôtel industriel ,1990	48
Figure.III.12: Mur rideau en verre	49
Figure.III.13: Urbal sahraoui : projet les cascades - el achour- alger	50
Figure.III.14: Les façades rideaux à ossature « cadre »	51
Figure.III.15: Exemple de façade en panneau	51
Figure.III.16: Exemple d'un mur en verre	52
Figure.III.17: La maison de verre.....	52
Figure.III.18: La fransworth house	53
Figure.III.19: La pyramide suspendue du Louvres, paris 1993	53
Figure.III.20: Mode de fixation de panneau de verre.....	54
Figure.III.21: Relation entre types des espaces	55
Figure.III.22: Les baies et leur orientation.....	57
Figure.III.23: Les baies et leur orientation.....	57
Figure.III.24: Vitrage reflétant.....	59

Figure.III.25: Relation de positionnement de vitrage avec la luminosité.....	59
Figure.III.26: Comportement de verre feuilleté en cas de choc.....	60
Figure.III.27: Mur vitré	61
Figure.III.28: Cloison en verre.....	62
Figure.III.29: Désign escalier en verre	62
Figure.III.30: Exemples de verre décoratifs	62
Figure.III.31: Mur extérieur en verre feuilleté.....	63
Figure.III.32: Verre autonettoyant	64

Chapitre IV : La simulation numérique du cas d'etude

Figure IV.1: Localisation géographique de la région de Tassoust-Jijel.....	66
Figure IV.2: Diagramme de température de la wilaya de Jijel.....	67
Figure IV.3: Localisation géographique de la faculté des sciences à Tassoust-Jijel	68
Figure IV.4: Plan d'ensemble de bloc des sciences	69
Figure IV.5: Plan de cas d'étude et locaux avoisinants	70
Figure IV.6: Façade sud	70
Figure IV.7: L'enseillement dans la période hivernale	74
Figure IV.8: L'enseillement dans la période estivale.....	74
Figure IV.9: Les radiations solaire intérieur en été.....	75
Figure IV.10: Caractéristique du mur extérieur	76
Figure IV.11: Caractéristique du mur intérieur	76
Figure IV.12: Caractéristique du system de vitrage.....	77
Figure IV.13: Caractéristique du plancher toiture	77
Figure IV.14: Caractéristiques de vitrage type de double vitrage à lame d'argon	78
Figure IV.15: Types du vitrage double vitrage lame d'argon.....	78
Figure IV.16: Les propriétés thermiques de type de triple vitrage à faible émissivité	79
Figure IV.17: La courbe d'évolution temporelle de la température intérieure de la salle.....	80
Cas initial.	
Figure IV.18: La courbe d'évolution temporelle de la température intérieure de la salle	82
Cas initial.	
Figure IV.19: La courbe d'évolution temporelle de la température intérieure de la salle.....	82

Cas de double vitrage avec lame d'argon-21 Juillet.	
Figure IV.20: La courbe d'évolution temporelle de la température intérieure de la salle.....	83
Cas de double vitrage avec lame d'argon-21 Decembre.	
Figure IV.21: La courbe d'évolution temporelle de la température intérieure de la salle.....	83
Cas de triple vitrage avec lame d'argon-21 Juillet.	
Figure IV.22: La courbe d'évolution temporelle de la température intérieure de la salle.....	84
Cas de triple vitrage avec lame d'argon- 21 Decembre.	

Liste des tableaux

Chapitre I : Généralités sur le verre

Tableau.I.1 : Les différents produits verriers	10
Tableau.I.2 : Comparaison des résistances	15
Tableau.I.3 : Coefficient de conductibilité.....	15

Chapitre II : Le verre et l'amélioration thermique des bâtiments

Tableau.II.1: Les 14 cibles de HQE	20
Tableau.II.2: Les cibles de HQE concernés par le verre	20

Chapitre IV : La simulation numerique du cas d'etude

Tableau.IV.1: Description de la méthodologie suivie dans l'étude des besoins énergétiques.....	73
--	----

Liste des abréviations

Chapitre I : Généralités sur le verre

Tt : Température de transformation °C

Tc : Température de cristallisation °C

K⁺ : Les ions de potassium

KNO₃ : Nitrate de potassium

Na⁺ : Les ions de sodium

Å : Ångström, unité de longueur dans les labos

Chapitre II : Le verre et l'amélioration thermique des bâtiments

HQE : Haute Qualité Environnementale

SMO : Système de Management de l'Opération

OEB : Qualité Environnementale des Bâtiments

PVC : Appellation anglaise (polyvinyl chloride)

U_g : Coefficient de performance d'isolation thermique W/(m K)

R : La résistance thermique (m².K/W)

VIR : Vitrage à Isolation Renforcée

FDP : Façade double-peau

Introduction générale :

*«Dans les ouvertures de mes maison le verre occupe une place comparable à celle de la pierre précieuse parmi les autre matériaux...ce super matériau qu'est le verre et tel que nous l'utilisons actuellement, une pure merveille, air dans les airs, pour retenir l'air à l'intérieur ou le empêcher d'entrer, lui-même lumière dans la lumière, pour diffuser la lumière ou la refléter ».***Frank Lloyd Wright**

Avec l'avancée technologique de domaine de construction ces dernières années, le choix de matériau durable est de plus en plus important, Le verre comme matériau durable a pu acquérir une importance indéniable dans l'architecture contemporaine, en effet, son évolution qui passe de la simple vitre au vitrage possédant de multiples propriétés tel la résistance mécanique, sécurité, isolation thermique et acoustique, contrôle solaire et décoration. Aujourd'hui le verre envahit toutes nos façades en vainquant totalement l'opacité notamment dans les grands immeubles.

Les exigences du domaine de bâtiment au niveau de la consommation énergétique de la construction, ses résistances aux différents agents climatiques, son côté esthétique et la commodité de son entretien, nous pousse à bien choisir les bons matériaux pour la réaliser. Grace à ses qualités obtenues lors de sa transformation, le verre se voit un matériau de valeur qui pourra satisfaire aux exigences citées.

La sensation de confort intérieur optimal qui a toujours été l'objectif de l'homme dans chaque nouveau bâtiment. Harmoniser ces constructions aux facteurs climatiques, de réduire les émissions de gaz à effet de serre par une conjonction de différentes techniques de chauffage et rafraîchissement passifs tels que l'isolation,

En Algérie, le secteur résidentiel tertiaire est le plus gros consommateur d'énergie, avec 41% de l'énergie finale totale et 31% des émissions de gaz à effet de serre. Il s'avère donc que ce secteur représente non seulement un gisement important d'économie d'énergie, mais également une occasion de protéger l'environnement en réduisant les impacts des émissions de gaz à effet de serre.

De ce fait le choix de matériau de construction, peut limiter de manière non négligeable les émissions de gaz à effet de serre, par la diminution de la consommation d'énergie grâce à l'amélioration de l'isolation thermique des bâtiments par un choix judicieux des matériaux (éco-matériaux) plus adaptables et plus durables.

Parmi tous les matériaux de construction, le verre suscite au présent un intérêt inégal auprès des ingénieurs et les architectes, matériau qui va répondre aux exigences du domaine de bâtiment.

Bien que le verre soit connu depuis plusieurs millénaires comme l'un des matériaux façonné par l'homme, dans l'architecture, et pour longtemps il n'a été utilisé que pour obturer les ouvertures destinées à laisser passer la lumière, L'utilisation du verre dans la construction a augmenté de façon surprenante en raison des recherches continuelles sur les exigences d'amélioration des différents types de confort intérieur des bâtiments, il doit donc en assumer toutes les fonctions telle que la protection contre le froid, la chaleur, le bruit ,les rayonnements nocifs .

En définitive, le verre a évolué pour devenir un matériau d'architecture remplissant les exigences de durabilité, d'économie, en profitant d'un aspect esthétique fascinant sans compromettre le confort des usagers, ceci constitue l'armature principale de la présente recherche.

2-Problématique

On utilise de plus en plus le verre dans la construction, que ce soit pour habiller entièrement un bâtiment, ou pour créer de grandes ouvertures lumineuses, telles que baies vitrées ou verrières. Ce matériau, qui possède par ailleurs de nombreuses qualités, pose toutefois de sérieux problèmes énergétiques: en hiver, il provoque d'importantes pertes thermiques et en été, le rayonnement solaire réchauffe excessivement les pièces. Les fabricants s'emploient à perfectionner leurs produits. Malgré tout, une façade transparente ou translucide isole toujours beaucoup moins bien qu'un mur opaque.

Pour trouver des solutions, il est important d'abord de connaître les performances énergétiques exactes d'un vitrage. Si les déperditions thermiques se mesurent assez facilement à l'aide d'un capteur de flux, l'évaluation du taux de rayonnement solaire entrant dans un bâtiment (coefficient g) est nettement plus complexe. Au niveau mondial, une vingtaine de centres de recherche et de laboratoires possèdent des calorimètres solaires, mais ces équipements, généralement de grande taille, sont inamovibles.

Les voix qui s'élèvent contre l'architecture de verre ne fustigent pas uniquement les façades stéréotypées, mais soulignent également les gaspillages d'énergie, la conception façade entièrement vitré est remise en question et la fenêtre elle-même considérée comme un facteur de gaspillage, cette disgrâce de ses façons de construire oblige les ingénieurs de

l'industrie du verre et beaucoup plus les architectes à réagir pour trouver les solutions à la question soulevée et revaloriser l'utilisation de verre dans la conception architecturale sans toucher le confort de l'espace intérieur.

La question qui sera posée dans le long de ce travail de recherche est :

- A-t-on besoin d'un vitrage performant énergiquement afin de résoudre les problèmes des pertes thermiques ?

- Le verre comme matériau exceptionnel, Quel place occupe-t-il dans la conception architecturale ?

3-Hypothèses :

L'hypothèse qui structure la problématique précédente et les articulations de cette recherche est :

L'utilisation du verre en grandes surfaces sur façade par les architectes contemporains se fait dans un but purement esthétique négligeant tout aspect de confort thermique, on suggère le recours au double vitrage isolant avec lame d'air pour minimiser les pertes de chaleur et l'effet de condensation.

Le verre est un matériau composite qui ne peut pas se détacher de nos édifices, un élément de construction et de design.

4-l'objectif :

D'après cette recherche tracé on vise à :

- Assembler deux notions « la transparence des parois » et « le confort thermique » afin de sensibiliser nos concepteurs en bâtiment pour réorganiser leur manière d'employer les nouvelles technologies (l'emploi du verre en façade).

- Favoriser le confort thermique des locaux en optant pour les vitrages isolants.

- Assurer une maximum luminosité des espaces sans gêner l'équilibre de confort thermique et visuel.

- Intégrer le verre dans la conception architecturale pour le bien être de l'homme dans son espace de logement ou de travail.

4-Méthodologie de recherche:

Compte tenu la problématique de recherche soulevée précédemment nous avons établi des démarches et protocoles d'investigation qui repose sur les points suivants:

1-La recherche exploratoire : qui permet d'examiner avec soin le fond documentaire et la revue de la littérature pour mieux comprendre le rôle du verre dans la construction et leur importance dans le domaine de l'efficacité énergétique du bâtiment surtout au niveau des façades.

2-La recherche opérationnelle en cas d'étude : Elle est dédiée à la simulation 3D en utilisant le logiciel Ecotect pour quantifier l'efficacité énergétique dans un bâtiment public se situé à Jijel. On a abordé comme cas d'étude, une salle de TD dans le bloc de sciences de l'université de Tassoust. A cet effet, un modèle du bâtiment a été réalisé et examiné par ce logiciel afin de diagnostiquer son comportement énergétique. Ce diagnostic est complètement relatif aux types de fenêtre et les surfaces vitrées.

CHAPITRE I :

GENERALITE SUR LE VERRE

I.1. Introduction

Bien que le verre existe depuis plusieurs années, il n'a cependant été utilisé, pendant longtemps, que pour les baies destinées à laisser passer la lumière, et de se protéger des phénomènes naturels comme la pluie, le vent, chocs...etc. toutes ces actions sont considérées comme des paramètres influençant la caractéristique du verre.

Au fil des années, il s'est avéré de plus en plus important de tenir compte du rayonnement solaire dans le cadre du choix d'un vitrage ; le développement des techniques de dépôt de couches sur les vitrages a ainsi permis de contrôler la luminosité et les apports de chaleur, ainsi que d'accroître l'isolation thermique des vitrages.

Par ailleurs, les vitrages doivent dans de nombreux cas, également montrer d'autres caractéristiques, tel que la sécurité en cas de choc et la protection contre l'effraction, qui se voient maintenant améliorées par l'utilisation de vitrage trempés et feuilletés.

Quant à l'isolation acoustique des vitrages, des progrès ont été réalisés grâce à l'apparition des doubles vitrages avec gaz spéciaux ou verres feuilletés, bien utiles dans notre société générant de plus de bruit.

Outre ces différents aspects, l'esthétique d'une façade vitrée prend elle aussi une grande importance; l'homme se penche plus en plus dans ses constructions vers la transparence en cassant le rapport d'opacité, le verre est maintenant un élément constituant l'architecture contemporaine.

I.2. définition du verre

Plusieurs définitions peuvent être données pour un verre ; selon différents points de vue :

-Définition courante : solide obtenu par le figeage d'un liquide ;

-Définition structurale : un verre est un solide non cristallin.

-On peut aussi dire que le verre est formé par un assemblage tridimensionnel désordonné de groupements structuraux fondamentaux, semblables à ceux de l'état cristallin ;

-Définition thermodynamique : il s'agit d'un matériau hors d'équilibre, dont l'énergie est supérieure à celle des produits cristallisés correspondants et dont le retour à une situation plus stable.

La modalité de solidification d'un verre est très différente de celle de la silice cristalline ; lorsqu'on refroidit de la silice fondue, elle cristallise à une température donnée.

En revanche pour un verre, pendant un intervalle dit de transformation (entre T_t et T_c) ; on assiste à un passage progressif par des états de viscosité différents, de l'état liquide vers l'état vitreux. Dans cet intervalle, le verre se comporte comme un liquide surfondu.¹

¹ Le CSTC, le verre et les produits verriers-les fonctions des vitrages, édition 1999

I.3.Historique de verre



Figure.I.1. Verre en fusion est prélevé avec la canne
Source: Le verre, matériau de construction

Le verre est considéré comme l'un des plus anciens matériaux façonnés par l'homme. L'origine de la fabrication du verre demeure à nos jours une énigme. d'après les spécialistes, les objets en verre les plus anciens qui ont été découverts, comme les glaçures de céramiques, datent du VIII^e siècle av. J.-C.

On peut parler d'une véritable activité de production à partir de 3500 av. J.-C., sous la forme de perles de verre, puis de bagues et de petites figurines fabriquées à l'aide de moules.

La technique à base de sable fut développée vers 1500 av. J.-C. Cette technique consistait à plonger, dans la masse en fusion, un noyau céramique fixe sur une baguette comme forme négative, puis à le faire tourner autour de son axe jusqu'à ce que la masse de verre visqueuse y adhère fermement. La masse obtenue était alors roulée sur une plaque jusqu'à obtenir la forme souhaitée.

À l'époque de l'empire romain, la diffusion de ce savoir-faire de façonnage, la culture du verre a connu un premier âge d'or, avec la création de verreries en Italie,

Autour de l'an 540 apr. J.-C., le premier élément majeur de l'architecture sacrée, la Sainte-Sophie, fut doté de verres à vitre. À l'époque gothique (de l'an 1150 à 1500 environ), la valeur du verre était considérée comme extrêmement élevée dans l'architecture sacrée, elle dépassait même celle de l'or.

I.3.1.L'art vénitien de la verrerie

La qualité absolue en matière de fabrication du verre fut atteinte à Venise entre les XVe et XVIIe siècles. Le succès du verre vénitien s'appuie sur sa pureté et sa transparence exceptionnelles.

Les verriers vénitiens, qui étaient organisés en corporations depuis 1280, ont découvert un moyen de rendre le verre incolore en utilisant la cendre d'une plante maritime. En ayant recours à la menace de sanctions martiales, ils ont pu, pendant une longue période, conserver dans leur cercle ce secret de l'art supérieur de la verrerie, comme bien d'autres. Ces secrets sont non seulement à l'origine de leur gloire, mais aussi d'une importante richesse.



Figure.I.2.Le verre vénitien
Source: <https://www.2eme main.be>

I.3.2.Les débuts du verre en architecture

Au début, le verre est dans les constructions, mais les limites de la maçonnerie et des matériaux limitent son usage à des petites fenêtres. avec le développement du domaine de l'architecture, les changements interviennent dès l'époque médiévale.

Il commence à être utilisé comme élément décoratif et non seulement comme un matériau laissant passer la lumière. la tendance des églises gothiques de grande taille réalisées en pierres de tailles s'accompagne

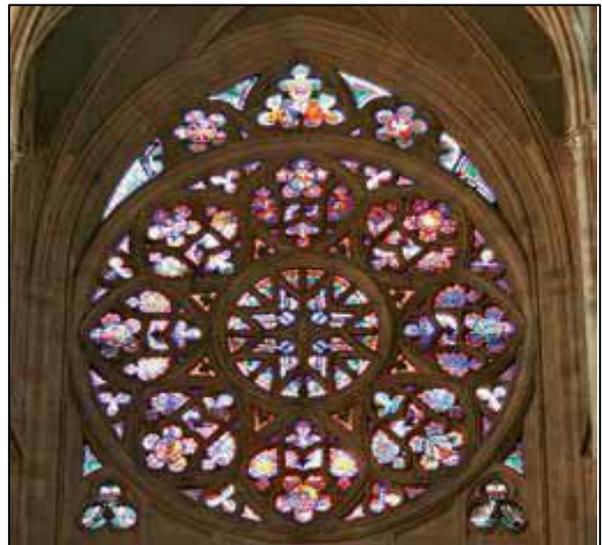


Figure.I.3.Cathédrale St-Vitus, à Prague, tchèque
Source: Le verre, matériau de construction

de l'utilisation complexe de fenêtres de verre composé de fragments de verre coloré représentant des scènes publiques. ces fenêtres évoquant des histoires tirées de la bible sont destinées à population plus intéressée par le religieux que les nouvelles tendances architecturale et la transparence du verre et sa luminosité, mais il se révèle un médium particulièrement adapté.

I.3.3. La prochaine grande étape en verre

Ce n'est qu'au 19^{ème} siècle que le verre en architecture prend une place réellement importante, avant cette époque, le procédé de fabrication lui-même restreint l'utilisation du verre à des surfaces de dimensions modestes, conjugué à l'utilisation du fer et d'autres matériaux, le verre commence à jouer un rôle déterminant dans l'architecture.

L'apparition de nouveaux matériaux pour le mettre en place ou le fixer, associée à une capacité à le produire de façon industrielle ouvre des perspectives variées à l'utilisation du verre dans la construction, cela devient presque illimité. Les architectes commencent à expérimenter des édifices audacieux, comme les murs de verre maintenus ensemble par des hautes voûtes en acier brossés.

Le Crystal Palace construit à Hyde Park à Londres en 1851 représente l'un des plus ambitieux projets architecturaux de verre de son temps – une construction composée de 300 000 feuilles de verre.



Figure.I.4. Le Crystal Palace 1851
Source : <http://over-blog.fr>

I.3.4. Le verre dans l'architecture d'aujourd'hui

Les innovations constantes du verre et des matériaux de construction continuent d'étendre les possibilités de son usage dans l'architecture, et donne lieu à quelques-uns des édifices les plus spectaculaires du vingt-unième siècle. lastique léger et solide, nouveaux revêtements, technologies de fixation ont permis d'expérimenter encore plus le verre par les architectes et dans l'environnement domestique.

Les gratte-ciels n'en sont pas les seules réalisations significatives. d'autres innovations ont permis au verre de devenir un des matériaux de construction les plus courants dans les foyers à travers le monde.

Le verre est maintenant plus résistant et plus sûre que jamais, on en installe partout dans les toits, les escaliers et les murs intérieurs.

I.4. La composition du verre

Le verre utilisé pour la confection de vitrages dans la construction est composé :

- _ De sable de silice servant de corps vitrifiant l'action éventuelle.
- _ D'oxyde de sodium (soude) utilisé comme fondant dans le but d'abaisser la température de fusion de la silice.
- _ De chaux qui joue le rôle de stabilisant conférant au verre sa résistance chimique.
- _ De divers oxydes métalliques servant à améliorer ses caractéristiques mécaniques et sa résistance aux agents atmosphériques, ainsi qu'à lui donner sa coloration éventuelle.¹



Figure.I.5. Utilisation de verre aujourd'hui
Source: Le verre, matériau de construction



Figure.I.6. Sable de silice
Source: <http://mp.sechim.fr>

¹ Le CSTC, «le verre et les produits verriers-les fonctions des vitrages», édition 1999, p8

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LE VERRE

I.5. Les différents types de verre et de vitrage

Pour obtenir le verre à l'état fini, on amène le mélange à son point de fusion (H 1500 °C), pour ensuite le refroidir et le transformer. plusieurs types de verre peuvent être fabriqués selon le procédé utilisé.

Parmi les produits verriers, on distingue :

- _ Les produits de base, c'est-à-dire les produits verriers silico-sodo-calciques obtenus à la sortie du four, sans traitement ultérieur
- _ Les produits de base spéciaux, c'est-à-dire les produits verriers (obtenus à la sortie du four sans traitement ultérieur) dont la composition diffère de celle du verre silico-sodo-calcique
- _ Les produits transformés, c'est-à-dire les produits obtenus par transformation, après fabrication, des produits de base ou produits de base spéciaux, aboutissant à de nouveaux produits aux qualités différentes.

Le tableau 1 reprend les différents produits de base et les produits résultants.¹

PRODUITS DE BASE	PRODUITS DE BASE SPÉCIAUX	PRODUITS TRANSFORMÉS
Float Verre imprimé Verre armé Verre profilé Verre étiré Verre moulé Verre soufflé	Verre borosilicate Vitrocéramiques Verre à haute teneur en plomb	Verre trempé thermiquement Verre durci Verre trempé chimiquement Verre feuilleté Verre à couches Double vitrage Verre bombé Miroir Verres de décoration Vitrages chromogènes

Tableau.1.1. Les différents produits verriers.
Source: CSTC.1999.pdf

¹ Le CSTC ,loc,cit

I.5.1. Le verre trempé thermiquement

Le verre trempé thermiquement (appelé ainsi par opposition au verre recuit) est un verre ayant subi un traitement thermique visant à augmenter sa résistance et à modifier sa fragmentation. le verre est d'abord chauffé jusqu'à environ 600-650 °C avant de subir un refroidissement brutal par jets d'air. de la sorte, la partie extérieure de la feuille de verre refroidit avant la partie intérieure.

Les verres trempés conservent les propriétés lumineuses et énergétiques des produits de base. Une fois trempés, ils ne peuvent plus être découpés ni façonnés.¹



Figure.I.7. Le verre trempé thermiquement
Source: <http://www.origer.lu>

I.5.2. Le verre durci

Il s'agit d'un verre qui a subi un traitement thermique semblable à la trempé thermique mais pour lequel le niveau de contraintes obtenu est inférieur à celui du verre trempé, car le refroidissement a été réalisé de manière plus lente.

En cas de bris, les vitrages semi-trempés se fragmentent en morceaux de plus grandes dimensions que le trempé thermique.²



Figure.I.8. Schéma de casse d'un verre durci.
Source: CSTC.1999.pdf

¹ Le CSTC, *Op,cit,p13*

² *Ibid.,p15*

I.5.3. Le verre trempé chimiquement

Le but est le même que pour le verre trempé thermiquement, mais la trempe s'obtient par un procédé chimique. La méthode consiste à immerger le verre dans un bain de sels fondus placés à une température d'environ 400 °C. Il y a alors échange chimique entre les ions K^+ du bain de sels fondus KNO_3 et les ions Na^+ présents dans le verre : les ions K^+ (de taille 2,66 Å) prennent la place des ions Na^+ (de taille 1,96 Å) ; les ions K^+ étant de taille supérieure, ils induisent une compression à la surface du verre, ce qui le rend plus résistant.

La durée d'immersion détermine le niveau de contraintes obtenu. la répartition des contraintes n'a pas la même allure que dans le cas du verre trempé thermiquement.¹

I.5.4. Le verre feuilleté

Le verre feuilleté est un ensemble constitué d'au moins deux feuilles de verre, assemblées sur toute leur surface par un intercalaire (figure.I.9). Il a pour fonction de coller les feuilles de verre tout en conférant des performances supplémentaires au produit fini.²

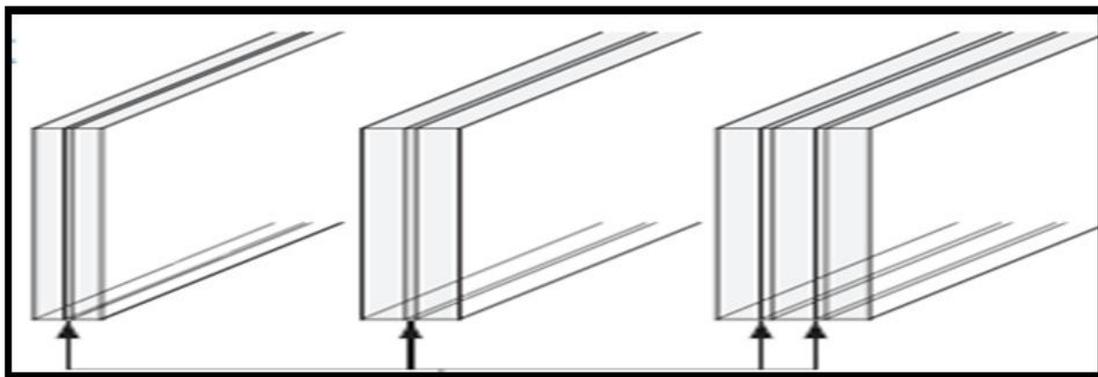


Figure.I.9. Exemples de verre feuilleté.
Source: CSTC.pdf .1999

¹ *Ibidem*,

² Le CSTS, *op. cit.*, p16

I.5.5. Les verres à couches

Un verre à couches est obtenu par dépôt d'une ou de plusieurs couches de matières inorganiques (le plus souvent sur une seule face du verre), afin d'en modifier les propriétés physiques (facteur solaire, coefficient de transmission thermique, couleur) et/ou optiques (transmission et réflexion lumineuses). Les verres à couches peuvent être classés selon trois critères :

- _ Le mode de fabrication de la couche (pyrolytique, sous vide ou au trempé)
- _ L'emplacement de la couche sur le vitrage lors de la mise en œuvre
- _ L'application réservée au vitrage.

Les verres à couches peuvent, pour la plupart, être trempés, durcis, feuilletés ou bombés.

Il existe trois modes de fabrication des verres à couches :

- _ Les dépôts pyrolytiques : il s'agit de couches d'oxyde ou de mélanges d'oxydes; ce type de dépôts est réalisé en continu à haute température (500 à 700 °C) pendant la fabrication du verre.

À la sortie du bain de métal en fusion (figure.I.10); ces couches se caractérisent par une bonne durabilité et sont dès lors appelées des couches dures.

- _ Les dépôts sous vide : ces couches peuvent être soit des oxydes, soit des métaux; les dépôts sont réalisés à température ambiante.¹

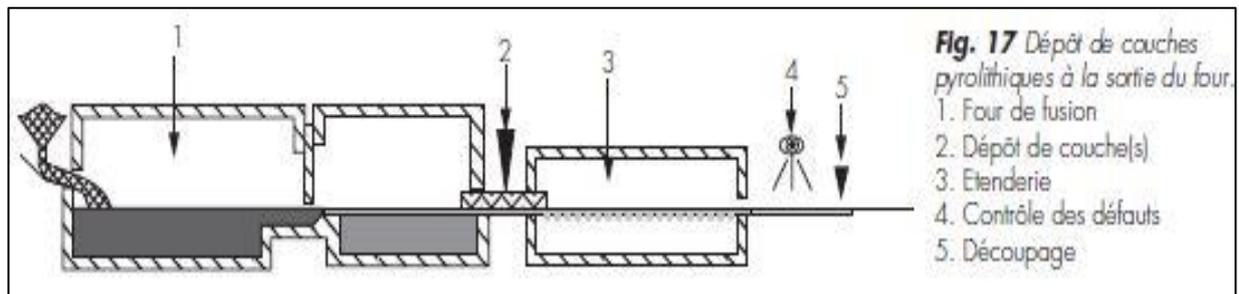


Figure.I.10. Dépôt de couches pyrolytiques à la sortie du four.
Source: CSTC.pdf. 1999

¹ Ibid.,p13

I.5.6. Le double vitrage

Il s'agit d'un ensemble de deux feuilles de verre assemblées et scellées en usine, et séparées par un espace hermétique clos renfermant de l'air ou un autre gaz déshydraté (figure. I.11). Le but premier de cet assemblage est de bénéficier du pouvoir isolant apporté par la lame d'air ou de gaz et de faire baisser de la sorte le coefficient de transmission thermique U du vitrage. Le pouvoir isolant du vitrage peut encore être augmenté de différentes manières (Couches à basse émissivité).

Les faces d'un double vitrage sont conventionnellement numérotées en "position" 1 à 4 de l'ambiance extérieure vers l'ambiance intérieure (figure. I.11).

Le double vitrage se compose des éléments suivants :

- _ Deux feuilles de verre
- _ Un espaceur servant à fixer la largeur de l'espace entre les feuilles de verre ¹

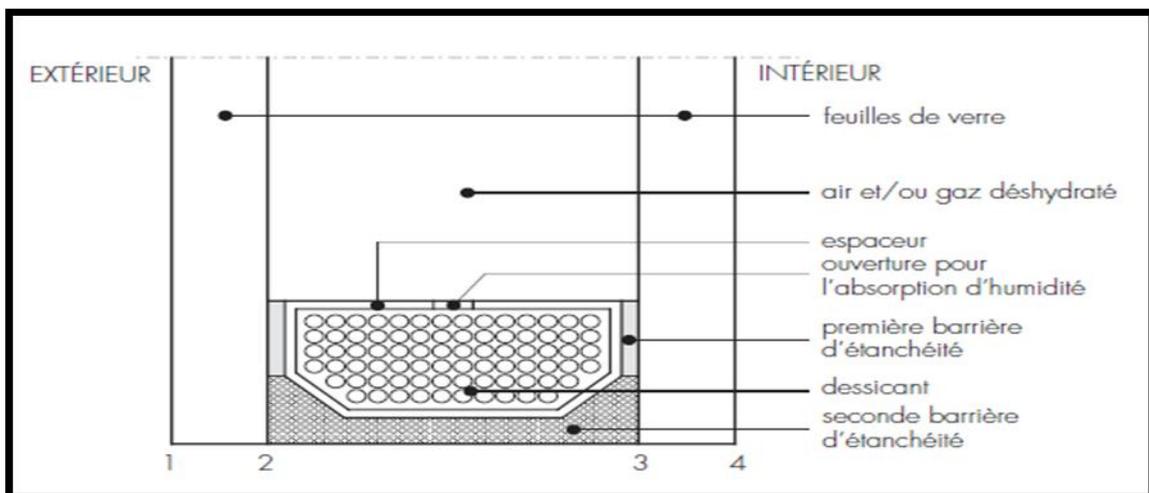


Figure.I.11. Double vitrage : composants et numérotation des faces
Source: CSTC.pdf. 1999

¹ Le CSTS, op. cit., p18

I.5.7. Le verre Bombé

Il s'agit de verre auquel on donne, par déformation à la température de ramollissement ($\approx 600\text{ }^{\circ}\text{C}$), la courbure du moule sur lequel il est déposé (figure.I.13). Ce procédé peut être combiné à la trempe, au feuilletage, au dépôt de couches et à la réalisation de doubles vitrages.

1

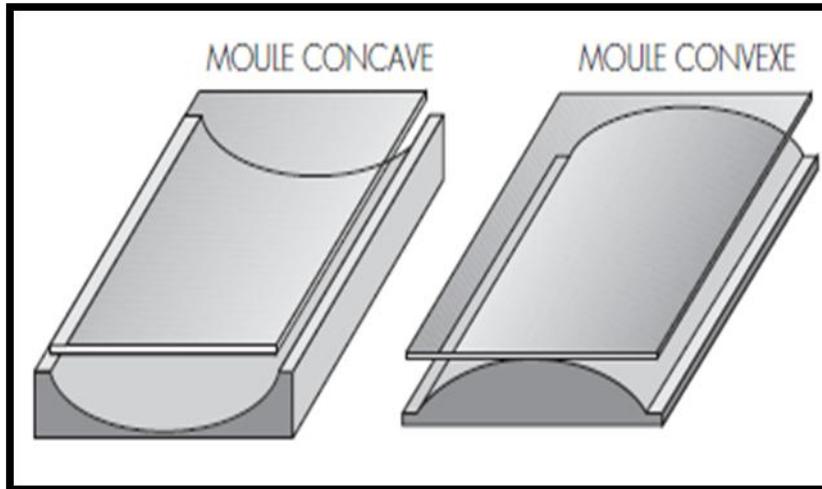


Figure.I.12. Fabrication et exemple de verre bombé.
Source: CSTC.pdf.1999



Figure.I.13. Verre bombé
Source CSTC.pdf.1999

I.5.8. Le miroir

Le miroir est du verre traité de manière à réfléchir les images, le procédé de fabrication des miroirs est appelé l'argenture.²

I.5.9. Le verre de décoration

De nombreuses techniques (sérigraphie, émaillage, matage, sablage, ...) peuvent être utilisées pour réaliser des verres de décoration.³

I.6. Propriétés de verre

I.6.1. La Résistance à la traction et résistance à la compression

Le verre tire sa dureté et sa résistance de sa base de silicate, mais également sa fragilité connue et indésirable. C'est une propriété à laquelle il faut dédier toute l'attention qui lui est due, quel que soit le type d'application.

Contrairement aux métaux, le verre n'a pas de plage plastique : il est élastique jusqu'à sa limite de rupture.

¹ Le CSTS, op. cit., p19

² Ibidem

³ Ibidem

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LE VERRE

La résistance à la compression du verre est très élevée et dépasse de loin celle des autres matériaux de construction, c'est pourquoi les problèmes sont rares lors du montage de vitrages sur un bâtiment. La résistance à la traction est un facteur déterminant, en particulier la résistance à la flexion. Il est connu que les fibres de verre présentent une très bonne résistance à la traction.¹

Comparaison des résistances de différents matériaux (valeurs approximatives)		
Matériau	Contrainte de flexion admissible	Résistance à la compression
Verre flotté / verre miroir	12 à 20 N/mm ²	400 N/mm ²
Verre de sécurité trempé en verre flotté	50 N/mm ²	400 N/mm ²
Aluminium	70 N/mm ²	70 N/mm ²
Acier de construction	180 N/mm ²	180 N/mm ²
Chêne	50 N/mm ²	30 N/mm ²
Hêtre	35 N/mm ²	25 N/mm ²

Tableau.I.2.Comparaison des résistances
Source : Le verre, matériau de construction.pdf

I.6.2. Conductibilité thermique

Par rapport aux métaux, la capacité du verre à transférer la chaleur est certes faible, mais elle est élevée par rapport aux matériaux d'isolation courants. Elle joue cependant un rôle peu significatif pour les applications pratiques dans les bâtiments, car l'exceptionnelle isolation thermique offerte par les verres isolants en particulier s'appuie sur l'effet des traitements isolants.²

Matériau	Coefficient de conductibilité thermique
Verre sodocalcique (verre flotté, verre à vitre, verre décoratif)	1,00 W/mK
Aluminium	210,00 W/mK
Acier	75,00 W/mK
Béton	1,00 W/mK
Bois (épicéa)	0,14 W/mK
Liège	0,05 W/mK
Polystyrène	0,04 W/mK

Tableau.I.3. Coefficient de conductibilité
Source : Le verre, matériau de construction.pdf

¹ Glas Trösch, «Le verre et ses applications », Bützbeg, 2013, p10

² Ibid, p28

I.6.3. Isolation acoustique

En raison de sa densité, le verre est particulièrement bien adapté pour l'isolation acoustique. Cependant, en règle générale, le verre est installé dans des épaisseurs très réduites par rapport aux autres matériaux de construction tels que la brique, le béton, le bois, etc.

Pour obtenir des caractéristiques d'isolation acoustique optimales, il convient d'utiliser des éléments en verre isolant ou en verre feuilleté de sécurité spécial, dont l'épaisseur reste très réduite par rapport aux autres matériaux¹.

I.7. Les fonctions des vitrages

Historiquement, la première fonction dévolue aux vitrages était de permettre l'apport de lumière tout en protégeant des précipitations et du vent. Les différentes fonctions qui doivent ou peuvent remplir les vitrages dans un ordre différent de leur apparition historique sont :

- Le contrôle de la luminosité et de la visibilité, et la maîtrise des apports énergétiques du rayonnement solaire.
- La protection contre les intempéries, l'isolation thermique.
- L'isolation acoustique.
- La sécurité des personnes, la protection contre l'effraction et la protection contre l'incendie.
- La décoration et architecture.
- Contrôle de la lumière et de l'énergie solaire.²

I.8. Les exigences essentielles de verre dans les bâtiments

Les matériaux et ouvrages de construction sont supposés répondre à 6 exigences essentielles. Les produits verriers sont donc concernés par ces exigences, doivent répondre à :

- **La résistance mécanique et la stabilité** : les vitrages utilisés en façade doivent être calculés en fonction des actions du vent dans certains cas, il faut en outre envisager le risque de casse thermique
- **la sécurité en cas d'incendie** : dans certains cas, les vitrages doivent présenter une résistance au feu
- **l'hygiène, la santé et l'environnement**: le verre n'émet pas de substances polluantes susceptibles de provoquer des effets néfastes sur la santé et n'absorbe pas ou ne laisse pas pénétrer l'humidité.

¹ Glas Trösch, *op.cit.*, p33

² Le CSTS, *op.cit.*, p33

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LE VERRE

- **La sécurité d'utilisation** : aux endroits où il pourrait présenter un risque pour la sécurité des telles qu'il évite les chutes par effacement de la protection (garde-corps) ou les blessures au contact d'arêtes vives et coupantes.
- **la protection contre le bruit** : les vitrages contribuent à l'isolation acoustique des bâtiments grâce à sa propriété physique
- **l'économie d'énergie et l'isolation thermique** : les vitrages doivent participer à l'isolation thermique des bâtiments et à l'économie d'énergie tant en hiver qu'en été.¹

-

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le verre comme matière, avec ses propriétés, physiques et chimiques, et comme matériau de construction avec ses différents types et fonctions dans les bâtiments.

Le verre est un composant essentiel des bâtiments, ses caractéristiques techniques et esthétiques font de lui le matériau performant idéal, il offre en effet une liberté inédite en matière d'expression architecturale.

Le développement rapide de l'industrie du verre est en grande partie responsable de l'évolution de l'architecture moderne, en permettant une large application de ce matériau dans le domaine de construction qui se penche plus en plus pour la quête de lumière.

¹ *Le CSTS, op. cit., p7*

CHAPITRE II :
LE VERRE ET L'AMELIORATION
THERMIQUE DES BATIMENTS

Chapitre II : Le verre et l'amélioration thermique des bâtiments

II.1. Introduction

Le maintien de l'équilibre thermique entre le corps humain et son environnement, est l'une des principales exigences pour la santé, le bien-être et le confort, ces dernières années, les verres ont pu acquérir de nouvelles propriétés mécaniques, physiques et chimiques, avec l'intérêt prépondérant de résoudre des contraintes liées au confort des usagers sur le plan thermique, acoustique ou bien même visuel. Chaque degré de confort peut avoir un impact sur la santé, le psychique, le spirituelle et la gestuelle de l'individu qui occupe un bâtiment ou un espace délimité.

En matière de satisfaction individuelle, le confort thermique est considéré comme l'élément le plus important pour l'impact qu'il peut porter sur les activités qui se déroulent au sein d'un quelconque édifice. Après l'habitat, les sièges administratifs représentent les lieux par excellence pour privilégier un certain niveau de confort évitant toute dissipation stérile des forces physiques.

II.2. Le confort thermique

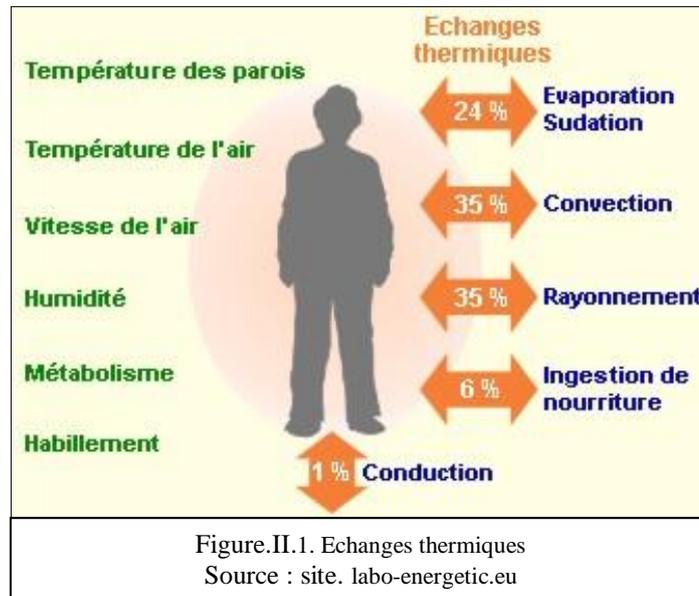
➤ définition :

La définition du confort thermique est très complexe en raison de l'interaction de plusieurs variables environnementales et personnelles.

Le confort thermique a été défini comme l'état de satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique établi par échange thermique entre le corps et son environnement. Il dépend de contexte et des caractéristiques individuelles, et conçu comme un processus adaptatif dynamique qui intègre les différents mécanismes physiques, physiologiques et psychologiques.¹

¹ ZOUZOU Abdelkrim,2015, «Solutions hybrides pour maintenir le Confort Thermique et Visuel»,mémoire master,p6

➤ Les paramètres du confort thermique :



II.2.1.L'apport de vitrage pour un bâtiment durable

La Performance énergétique, confort et respect de l'environnement, le verre est un atout de taille sur ces sujets au cœur des labels bâtiments tels que HQE.

La démarche HOE impose de respecter un référentiel technique qui comporte deux volets:

(SMO) : Il évalue le management mis en place dans la gestion et l'organisation du projet ;

(OEB) : Elle est mesurée à partir d'objectifs à atteindre, sur la base de 14 cibles qui définissent le profil d'environnement d'un bâtiment donné. ¹

II.2.2.Les 14 cibles

Les cibles HQE sont au cœur de la démarche, ces objectifs, au nombre de 14, sont déclinés en quatre catégories : éco-construction, éco-gestion, confort et santé.

¹ article consulté sur site: [https:// www.behqe.com](https://www.behqe.com).

Maîtriser les impacts sur l'environnement extérieur	
ECO-CONSTRUCTION	ECO-GESTION
1. Relation des bâtiments avec l'environnement immédiat	4. Gestion de l'énergie
2. Choix intégré des procédés et produits de construction	5. Gestion de l'eau
3. Chantier à faibles nuisances	6. Gestion des déchets d'activité
	7. Gestion de l'entretien et de la maintenance
Créer un environnement intérieur satisfaisant	
CONFORT	SANTE
8. Confort hygrothermique	12. Qualité sanitaire des espaces
9. Confort acoustique	13. Qualité sanitaire de l'air
10. Confort visuel	14. Qualité sanitaire de l'eau
11. Confort olfactif	

Tableau II.1. Les 14 cibles de HQE
Source : Mémento 2015. Saint-Gobain Glass France

II.2.3. Le vitrage dans les cibles HQE

Le vitrage est un atout pour 9 cibles de HQE. C'est-à-dire son rôle dans la performance globale d'un bâtiment. Il reprend la structure et les codes du Référentiel pour les 9 cibles pour lesquelles le vitrage est un atout.¹

Catégorie	Cibles concernées par le vitrage
ECO-CONSTRUCTION	1. Relation des bâtiments avec l'environnement immédiat
	2. Choix intégré des procédés et produits de construction
	3. Chantier à faibles nuisances
ECO-GESTION	4. Gestion de l'énergie
CONFORT	8. Confort hygrothermique
	9. Confort acoustique
	10. Confort visuel
SANTE	12. Qualité sanitaire des espaces
	13. Qualité sanitaire de l'air

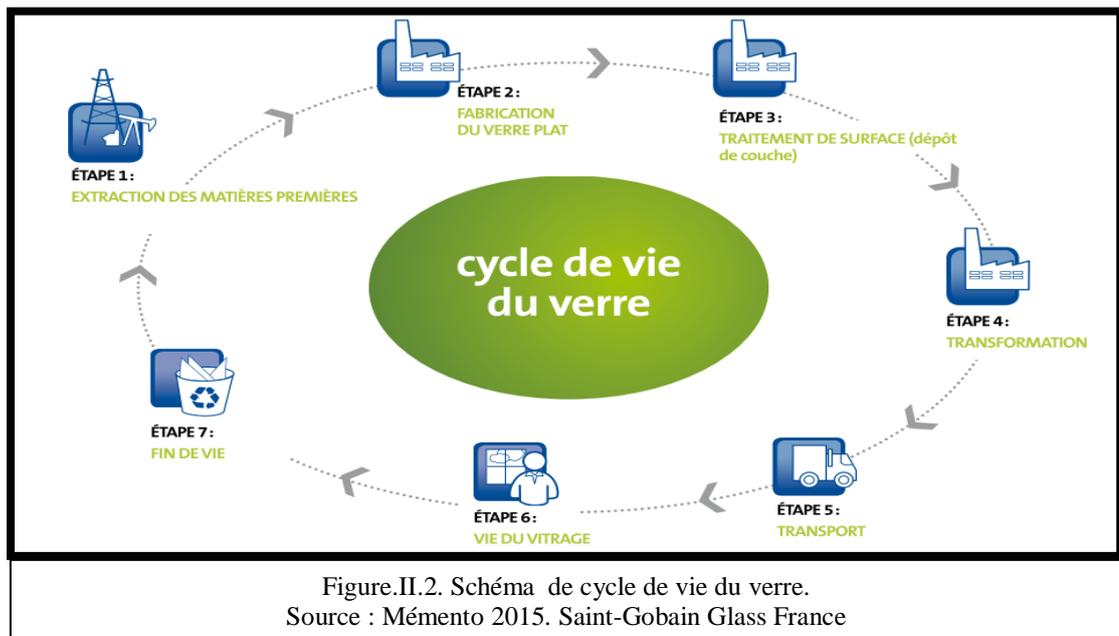
Tableau II.2. Les cibles de HQE concernés par le verre.
Source : Mémento 2015. Saint-Gobain Glass France

¹ SYLVAIN BREDIN, *Glassolution, Le vitrage, un atout majeur pour l'habitat durable*, France, 2012, p5

II.2.3.1. Cible 2 : Choix intégré des produits de construction

-Des produits recyclables en fin de vie :

Le verre étant un matériau 100 % recyclable, les vitrages peuvent être démontés et séparés de leur châssis quelle qu'en soit la composition (Alu, PVC, Bois ou mixte). Ils peuvent alors être pris en charge par les filières de collecte et de tri. en cours de mise en place, pour recycler le verre en fin de vie. ¹



II.2.3.2. Cible 4 : Gestion de l'énergie

➤ Des bâtiments peu énergivores

Des besoins énergétiques à la baisse, en toutes circonstances, avec les vitrages performants, l'architecte dispose d'une large palette de solutions aptes à améliorer les performances énergétiques d'un bâtiment, selon le climat, la localisation ou encore l'orientation des façades.

Les vitrages isolants des façades jouent ainsi un rôle essentiel dans la réduction des besoins de chauffage d'un bâtiment, leurs hautes performances en termes d'isolation thermique (U_g de 1,0 W/m².K pour un double vitrage ; jusqu'à 0,5 W/m².K pour un triple vitrage) ou de gain énergétique solaire (facteur solaire de 0,63 à 0,50), permettent de dégager un bilan annuel positif. ²

¹ SYLVAIN BREDIN, *op. cit.*, p12

² *Ibidem*,

II.2.4. Le comportement énergétique de verre du vitrage

On utilise de plus en plus le verre dans la construction, que ce soit pour habiller entièrement un bâtiment ou pour créer de grandes ouvertures lumineuses, telles que baies vitrées ou verrières. Ce matériau, qui possède par ailleurs de nombreuses qualités, pose toutefois de sérieux problèmes énergétiques.

En hiver, il provoque d'importantes pertes thermiques et en été, le rayonnement solaire réchauffe excessivement les pièces. Les fabricants s'emploient à perfectionner leurs produits. Malgré tout, une façade transparente ou translucide isole toujours beaucoup moins bien qu'un mur opaque.

Pour trouver des solutions, il importe d'abord de connaître les performances énergétiques exactes d'un vitrage.¹

II.2.4.1. Transmission au travers d'un vitrage

Dans le cas d'un vitrage simple (c'est-à-dire sans espace d'air ou de gaz) opaque, la transmission de chaleur entre les deux faces du verre se fait uniquement par conduction. Dans le cas d'un vitrage simple transparent, la transmission de chaleur se fait par conduction et rayonnement.

Dans le cas d'un double vitrage (Figure.II.3), la transmission a lieu dans le verre par conduction et rayonnement, dans l'espaceur par conduction et dans la lame de gaz par conduction, rayonnement et convection. Le but du double vitrage est de limiter les

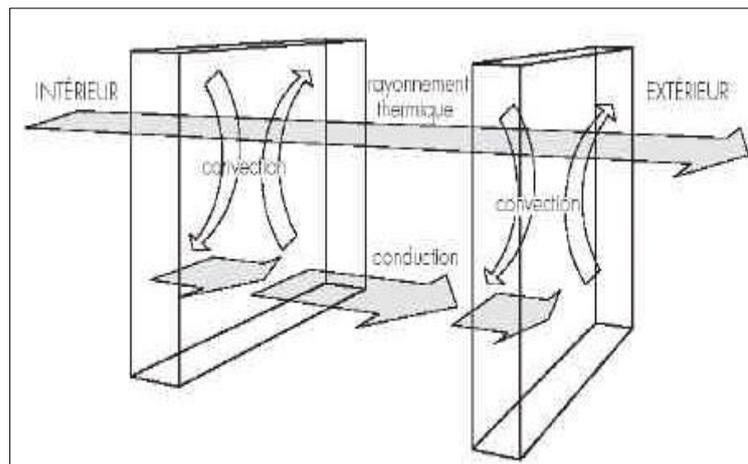


Figure.II.3. Modes de transmission à travers un vitrage
Source : Le verre et ses applications .Pdf

pertes de chaleur par conduction dans le verre en séparant les deux feuilles de verre par une lame d'air, dont le pouvoir isolant est supérieur à celui du verre.²

¹ GEBEUDE- Jane-Lise Schneeberger, sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie/OFEN, 2016

² GLAVEBEL, «Verre et isolation thermique», 2004, p4

II.2.4.2. La conductivité thermique

Est définie comme la quantité de chaleur traversant en une seconde un panneau de 1 m d'épaisseur et d'une surface de 1 m², lorsqu'il existe une différence de température de 1°C entre les deux surfaces de 1 m².

La conductivité thermique du verre vaut 1 W/(m K), il ne s'agit donc pas d'un matériau isolant, puisque sont considérés comme tels des matériaux dont la conductivité thermique est inférieure à 0,065 W/(m K).

Pour minimiser des déperditions d'énergie, et donc obtenir une isolation thermique maximale, il faut que le coefficient de transmission thermique U du vitrage ait une valeur aussi faible que possible (c'est-à-dire que la résistance thermique R du vitrage soit aussi grande que possible). Au fil des années, diverses solutions afin d'augmenter le pouvoir isolant des vitrages, et ce principalement depuis la crise de l'énergie des années 70.¹

II.2.4.3. Le rayonnement solaire

En matière de verres de protection solaire, trois termes correspondant à trois valeurs clés sont particulièrement importants.²

-**Réflexion** : Renvoi des rayons solaires, Effet miroir

-**Transmission** : Passage des rayons solaires

-**Absorption** : Retenue des rayons solaires

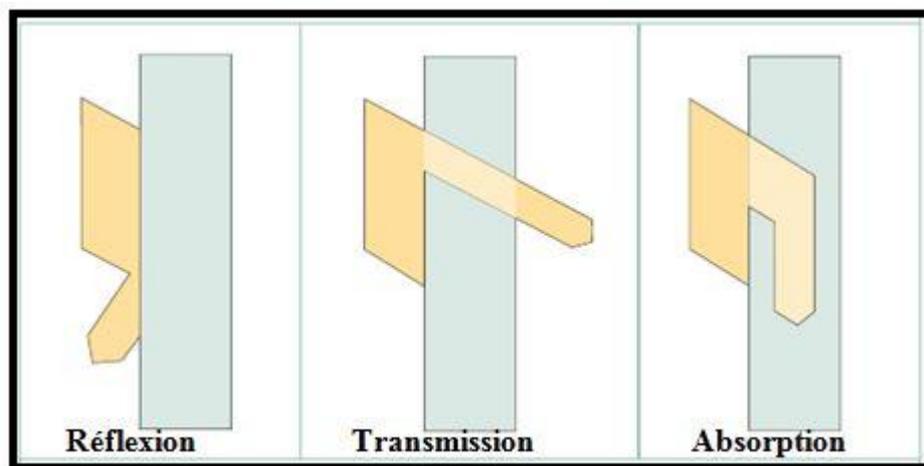


Figure.II.4. Comportement en présence d'un rayonnement
Source : Le verre et ses applications 4ème. Edition.2013

¹ GLAVEBEL, *op.cit.*, p5

² Glas Trösch Holding AG, Conseil, Bützberg, 2013, p.42

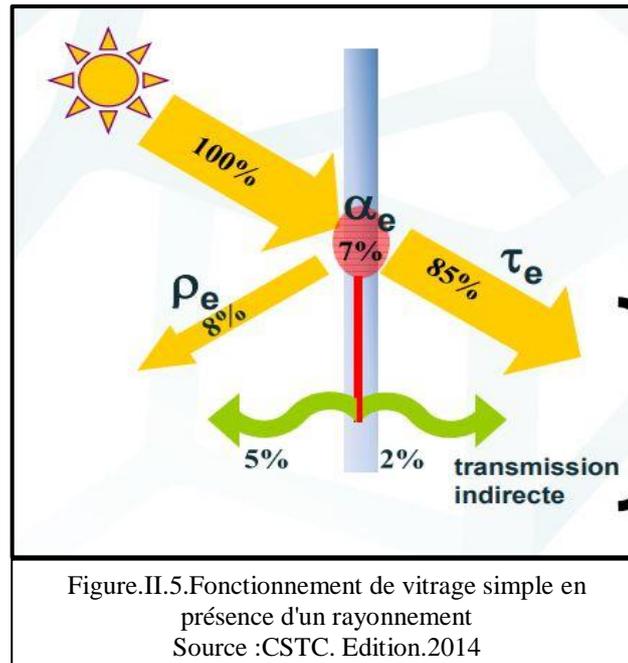


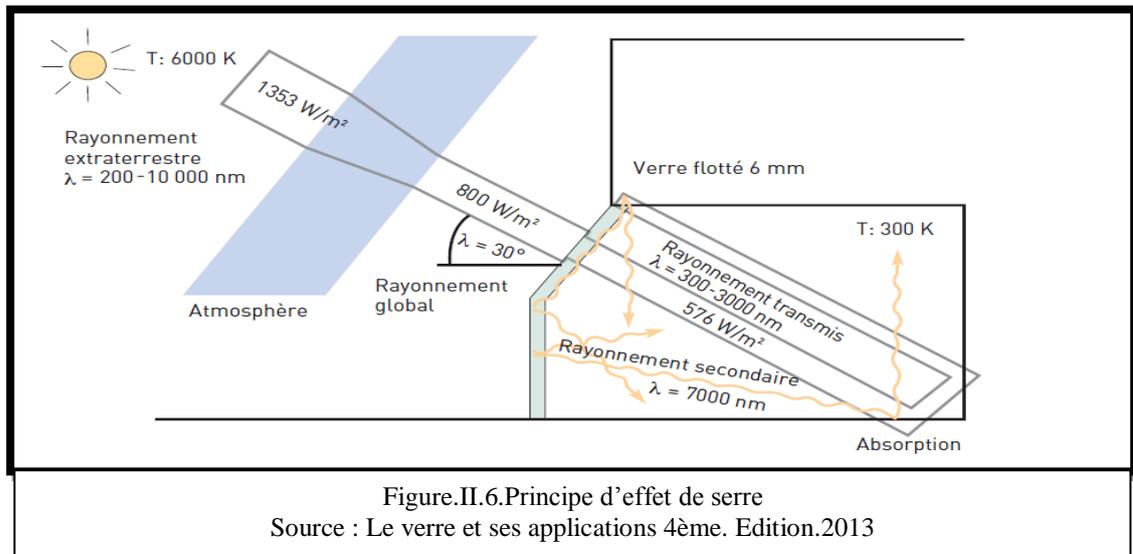
Figure.II.5.Fonctionnement de vitrage simple en présence d'un rayonnement
Source :CSTC. Edition.2014

II.2.4.4.L'effet de serre :

Le verre flotté se caractérise par une perméabilité (transmission) élevée du rayonnement solaire. Ainsi, la plus grande partie de l'énergie solaire arrivant sur le vitrage est transmise à l'intérieur par transmission directe. A l'intérieur, le rayonnement solaire est absorbé par les murs, le sol et les personnes sous forme de chaleur. Cette énergie absorbée est alors retransmise en tant que rayonnement infrarouge à ondes longues.

Comme le verre est pratiquement imperméable à ce genre de rayonnement, la température du local augmente, car l'énergie ne cesse de pénétrer depuis l'extérieur sans qu'il y ait une évacuation suffisante vers l'extérieur. Le principal facteur responsable de l'effet de serre est la différence de perméabilité (transmission) du verre flotté pour les rayonnements à ondes courtes et à ondes longues.¹

¹ Glas Trösch Holding AG, *loc.cit.*

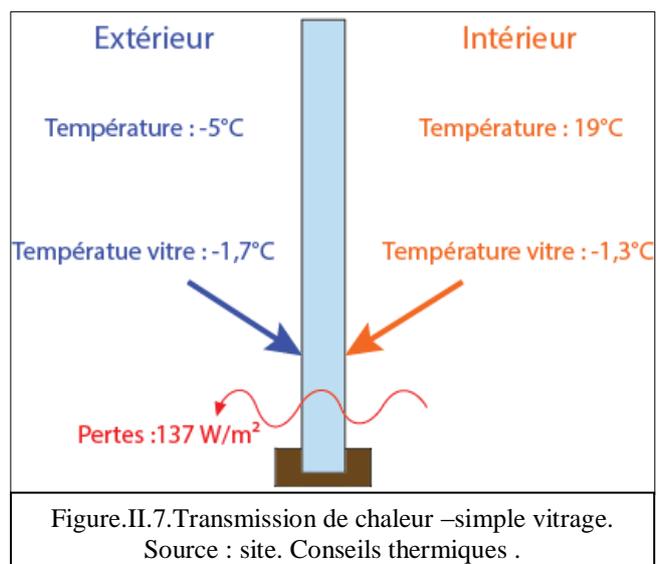


II.2.4.5. Les vitrages et les déperditions de chaleur

Le verre utilisé sur les parois qui forment le clos et le couvert de nos bâtiments est la plupart du temps mis en œuvre dans des menuiseries sous forme de vitres constituant des parois planes entre les atmosphères intérieures et extérieures. Les déperditions qu'elles engendrent sont déterminées de manière similaire à toute paroi.

Contrairement aux autres matériaux de construction, les vitres présentent des épaisseurs toujours très faibles, qui sont en général de quelques millimètres, souvent 4 à 6 mm, Cette dernière caractéristique est importante, car la faible épaisseur du matériau et sa forte conductivité conduisent à des résistances thermiques de parois très faibles et par conséquent à des déperditions de chaleur.¹

D'après la figure.II.4, avec une température extérieure de 5°C, la température de la vitre à l'intérieur ne dépasse à peine 1°C, ce qui provoquera un inconfort thermique important. De plus, cela représente 140W de déperditions (il faut donc au moins 140W de chauffage pour maintenir la chaleur dans le local en équilibre).



¹ site.[https:// www Conseils thermiques.com](https://www.Conseils_thermiques.com)

II.2.4.6. Le pont thermique

L'un des problèmes de déperdition de chaleur est Le pont thermique, est un phénomène connu des professionnels du bâtiment. Ces points froids peuvent entraîner un certain inconfort thermique dans l'habitat. Ils surviennent parfois au niveau de la structure d'une fenêtre mal posée.

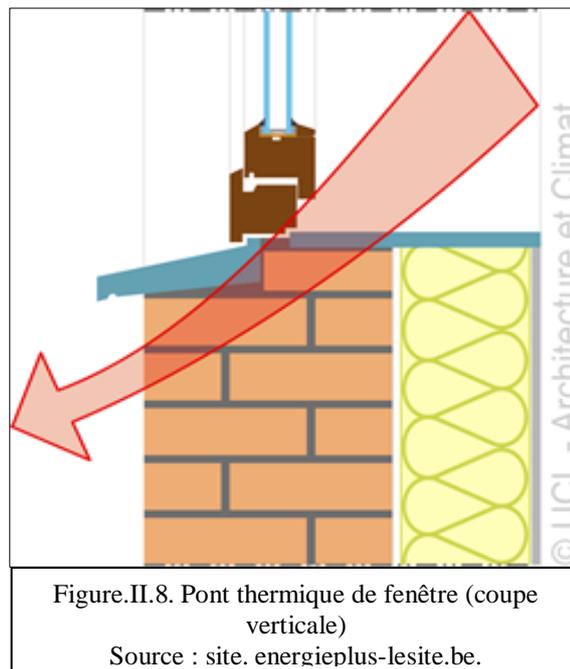
un pont thermique est une zone qui présente une variation de résistance thermique.

Le problème de ponts thermiques associé à une fenêtre est dit « structurel et ponctuel ». En effet, il s'agit d'un point où la barrière isolante est rompue. Le phénomène est alors lié à la technique de mise en œuvre de la structure de la fenêtre.

Il est possible de repérer les effets des ponts thermiques responsables d'importantes déperditions de chaleur dans le bâtiment. Une perte calorifique qui entraîne une surconsommation d'énergie afin de chauffer l'espace.¹

Le pont thermique peut ainsi être responsable :

- De problèmes d'humidité et de condensation : Les parois des vitres s'humidifient, pouvant même faire apparaître des moisissures et de mauvaises odeurs.



- D'une sensation de paroi froide : due à la différence de température entre l'air de la pièce et la fenêtre, au niveau du pont thermique. Ce qui provoque des sensations inconfortables de courant d'air froid.²

¹ Article consulté, site. <https://www.energieplus-lesite.be>

² *Ibidem*,

II.3. Techniques d'amélioration thermique des vitrages

La première fonction demandée historiquement au verre était d'assurer une protection contre la pluie, la neige et le vent tout en permettant l'apport de lumière et la vue vers l'extérieur. Jusqu'au début des années 70, l'utilisation du simple vitrage (épaisseur 4..19 mm) était la chose courante dans la plupart des habitations et bâtiments du secteur tertiaire. Un simple vitrage posé dans la menuiserie selon les règles de bonne pratique permet de satisfaire à ces exigences.

Par contre, en ce qui concerne l'isolation thermique, un simple vitrage n'est plus satisfaisant, actuellement, un simple vitrage, et même un double vitrage classique, constituent des points faibles dans l'isolation thermique d'une maison par rapport aux murs, façades et toitures; en moyenne, les vitrages représentent environ 35% des pertes thermiques dans une maison, de même, on se préoccupe de plus la conservation de l'environnement.

Pour cette raison, beaucoup de techniques d'amélioration thermiques de nos aires de vie et de travail sont développées tels que le survitrage, le vitrage anti-solaire, la façade double peau, la façade intelligente.¹

II.3.1. Le vitrage isolant :

Le verre est de plus en plus présent dans les constructions modernes, pour des raisons à la fois esthétiques et pratiques, il est plus populaire que jamais. Aujourd'hui cependant, les concepteurs, législateurs et tous les utilisateurs attendent en particulier, l'intérêt croissant pour l'efficacité énergétique et désavantages du verre, renforcent intensivement le besoin de vitrages thermiquement isolants, donc à faible émissivité.

Grâce aux avancées en matière de verre à faible émissivité, les fenêtres et les façades jouent désormais un rôle plus

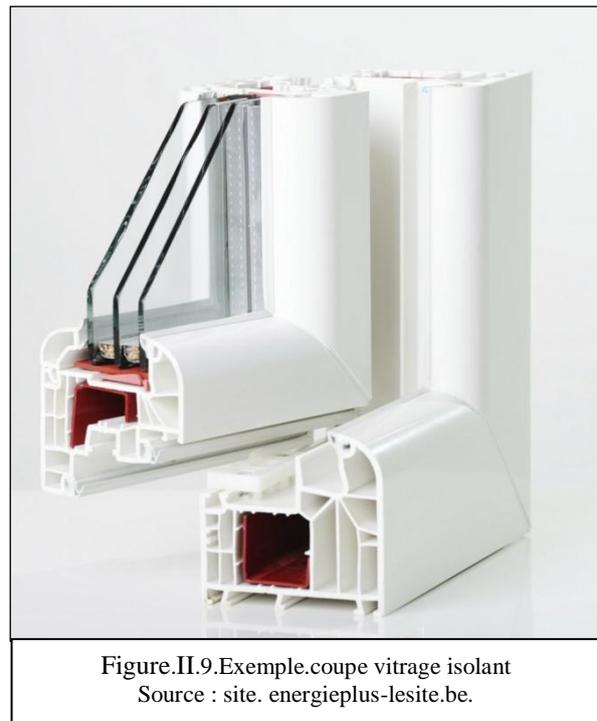


Figure.II.9.Exemple.coupe vitrage isolant
Source : site. energieplus-lesite.be.

¹ GLAVERBEL, *Op.cit.*, p2

important dans la conservation de l'énergie et le confort, en réduisant les pertes de chaleur et la condensation intérieure.¹

Le verre isolant est couramment fabriqué depuis environ 60 ans, le plus ancien brevet dans ce domaine date de 1865. Le vitrage isolant, double ou triple, se compose de volumes de verre plat (simple ou composite, dans le cas de verre feuilleté), généralement flotte.

Ces volumes sont assemblés de manière imperméable au gaz et à l'humidité par des barrières organiques d'étanchéité et par des cadres ou profilés intercalaires brasés ou soudés.

L'espace confiné entre les feuilles de verre contient de l'air sec ou des gazeux ; il n'est pas sous vide, comme on le suppose parfois à tort, ce qui serait physiquement impossible.²

II.3.2. Les différents types de vitrages isolants

Le simple vitrage n'est pas une solution performante du point de vue de l'isolation thermique. Diverses solutions sont apparues afin d'augmenter le pouvoir isolant des vitrages.

Le vitrage isolant se distingue comme étant la solution pour une consommation économique de l'énergie d'une maison ; aussi, son isolation acoustique assure une sérénité totale, ce qui lui ouvre le champ pour son utilisation dans des édifices spéciaux comme les hôpitaux, écoles...etc.³

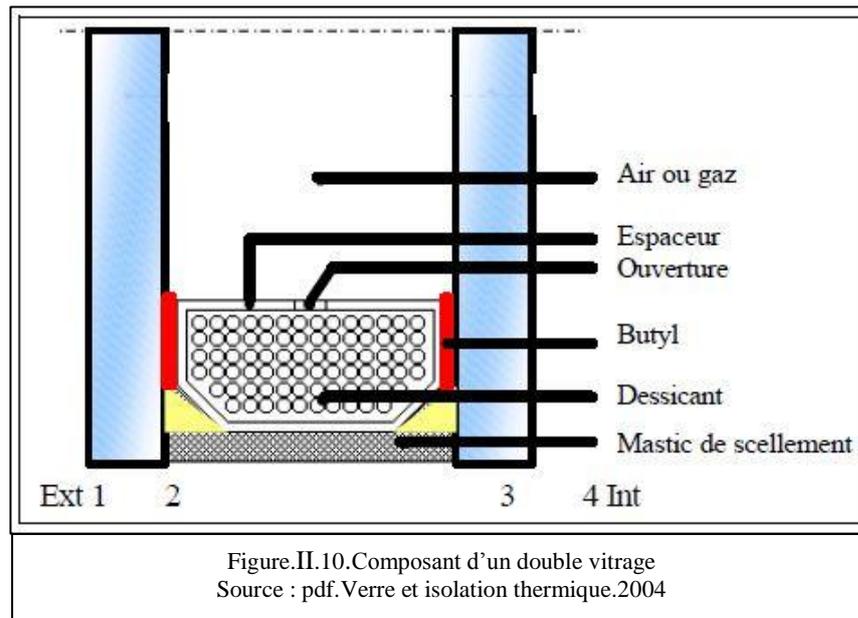
II.3.2.1. Les doubles vitrages

Le premier type de vitrage isolant thermiquement fut le double vitrage. Il s'agit de deux feuilles de verres séparées par un espaceur de manière à délimiter un espace d'air sec. La conductivité thermique de l'air valant 0,025 W/ (m.K) (à 10°C) pour 1 W/ (m.K) au verre, la couche d'air augmente le pouvoir isolant et diminue la valeur Ug du vitrage.

¹ GLASS HANDBOOK, france, 2018, p76

² Article consulté sur site, http://www.medglassindustry.com/prescription-fr-vitrage_isolant.html

³ *Ibidem*,



Dans le cas d'un double vitrage, la transmission a lieu dans le verre par conduction et rayonnement, dans l'espaceur par conduction et dans la lame de gaz par conduction, rayonnement et convection.¹

Le but du double vitrage est de limiter les pertes de chaleur par conduction dans le verre en séparant les deux feuilles de verre par une lame d'air, dont le pouvoir isolant est supérieur à celui du verre.²

- **Les gaz nobles :**

Une autre amélioration consiste à remplacer l'air par des gaz ayant à la fois une conductivité thermique plus faible afin de limiter la conduction et une masse volumique plus élevée afin de limiter la convection (mise en mouvement plus difficile).

Ces gaz permettent de diminuer la valeur U_g de l'ordre de 0,2 à 0,3 W (m².k) et ne sont utilisés que pour des vitrages isolants à couches.³

¹ GLAVERBEL, *Op.cit.*, p5

² *Ibid.*, p4

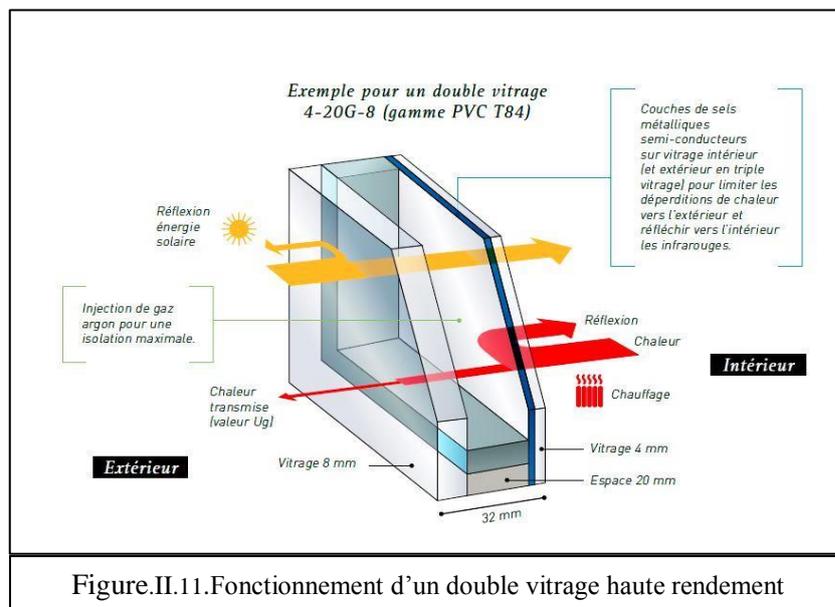
³ *Ibid.*, p6

II.4.2.2. Le vitrage à isolation renforcée (VIR)

Le double Vitrage à Isolation Renforcée (VIR) constitue la nouvelle génération de doubles vitrages. Une fine couche transparente peu émissive (généralement à base d'argent) est déposée sur une des faces du verre (côté lame d'air). Cette couche agit comme un bouclier invisible pour empêcher en hiver la chaleur intérieure de fuir à l'extérieur.

Le double Vitrage à Isolation Renforcée (VIR) a un pouvoir isolant deux à trois fois supérieur à celui d'un double vitrage ordinaire, et plus de quatre fois supérieur à celui d'un vitrage simple. Il peut permettre des économies de chauffage de l'ordre de 10 % et améliore fortement les conditions de confort. En effet, il fait disparaître l'effet de paroi froide. Associé à un système de gestion des apports solaires (occultation extérieure), il peut contribuer à limiter les effets de surchauffe en été.¹

La différence entre un double vitrage ordinaire et un VIR, est à peine visible à l'œil nu. Ils se composent tous deux de deux vitrages avec un espace vide entre les deux. Dans le cas du double vitrage ordinaire, l'espace intermédiaire est rempli d'air, tandis que le VIR contient un gaz noble. C'est cette différence entre les deux vitrages qui permet de réduire les pertes de chaleur de la maison et d'augmenter le confort thermique..²



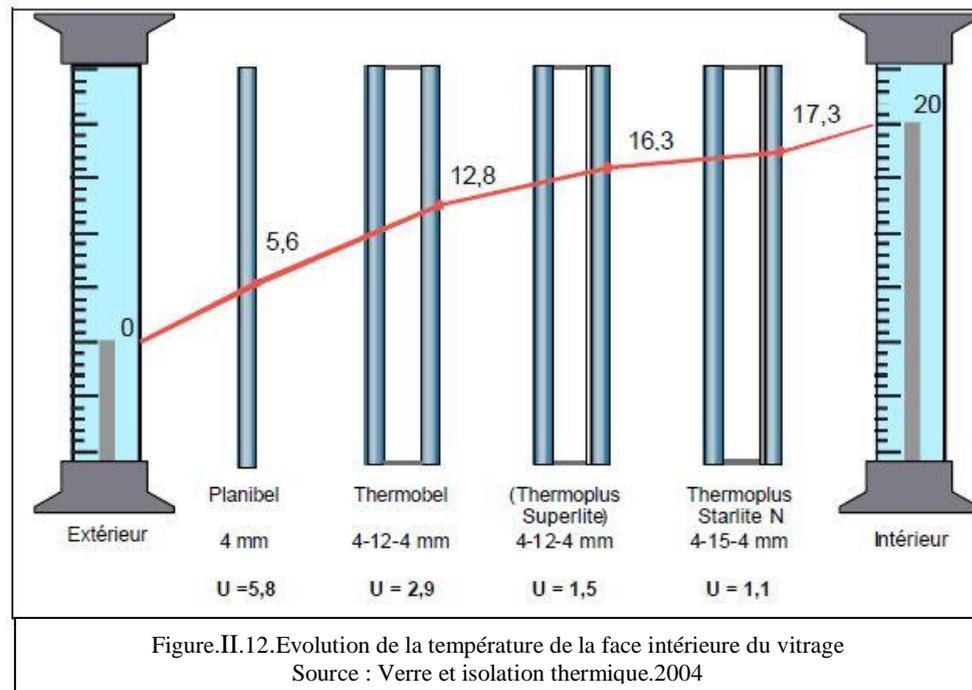
¹ Article consulté sur site, <http://www.medglassindustry.com>

² Article consulté sur site, <http://www.vanpellicom.be>

➤ température des vitrages et confort :

Le sentiment de confort dans un local ne dépend pas seulement de la température de l'air ambiant, mais également de la proximité éventuelle des surfaces froides.

La Figure.2.12 donne la température de la face intérieure d'un vitrage simple ou double pour des conditions de températures intérieures et extérieures respectivement de 0°C et 20°C (en régime stationnaire) et différents types de vitrages.¹



➤ Avantages de VIR

- Réduction de la consommation d'énergie:

- Ces fenêtres accroissent les gains solaires passifs et amoindrissent les problèmes liés à la surchauffe grâce à des vitrages sélectifs.
- Elles diminuent les pertes de chaleur par conduction et fuites d'air.
- Elles abaissent les frais de climatisation.

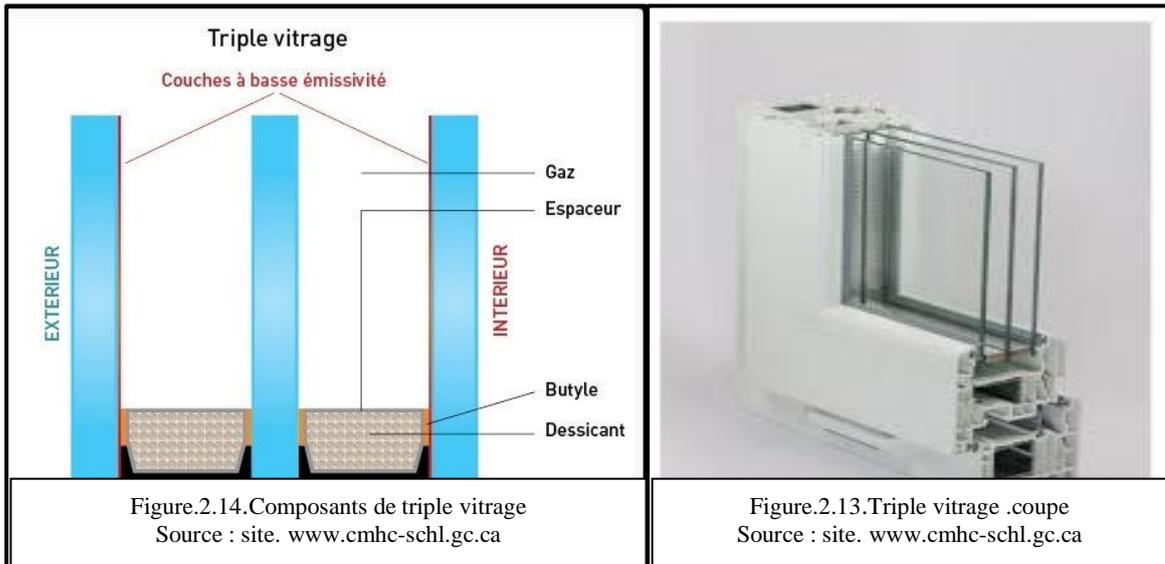
- Accroissement du niveau de confort:

- Elles réduisent les courants d'air et l'effet des surfaces froides sur le niveau de confort.
- Elles assourdissent les bruits provenant de l'extérieur.
- Elles réduisent au minimum les problèmes de condensation liés à l'humidité.

¹ GLAVERBEL, *Op.cit.*, p9

- Des cadres plus étroits peuvent accroître l'éclairage naturel.
- **Réduction des impacts sur l'environnement:**
- Ces fenêtres permettent de réduire les émissions produites par les appareils de chauffage à combustible.
- Elles diminuent la consommation des sources d'énergie non renouvelables.¹

II.4.2.3. Le triple vitrage

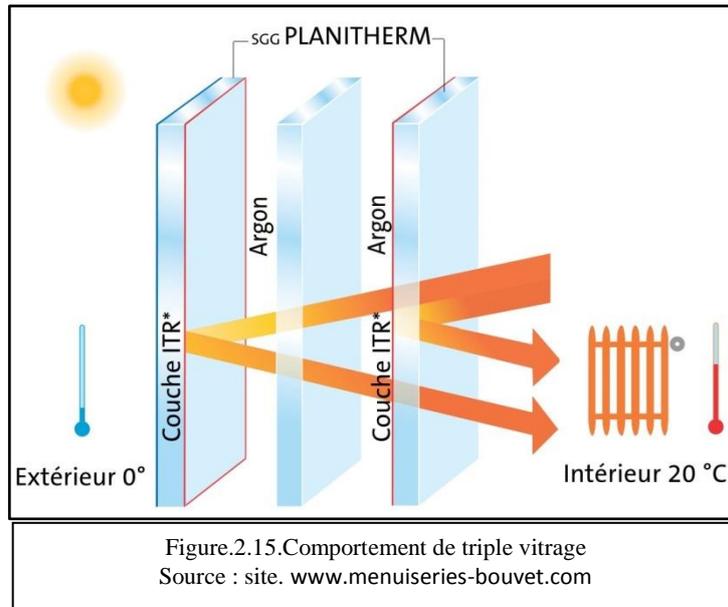


La présence de la lame d'air a fait augmenter l'isolation des vitrages, en allant à fabriquer des triples vitrages, c'est à-dire les vitrages formes de trois feuilles de verre séparant deux espaces,

Cette solution est utilisée dans les cas où l'on veut obtenir des valeurs U_g très basses, inférieures à $1 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$. Elle présente cependant des désavantages du point de vue de l'épaisseur et du poids des vitrages qui ne s'adaptent donc pas toujours aux menuiseries classiques. Ces solutions reviennent cependant d'actualité pour obtenir un très haut niveau d'isolation thermique.²

¹ Article consulté sur site, <http://www.cmhcschl.gc.ca>

² GLAVERBEL, *loc.cit.* p6



Tout d'abord, le triple vitrage apporte une meilleure isolation thermique. La valeur U du triple vitrage (la valeur U exprime la perte de chaleur par mètre carré par heure et par différence de température de 1°) est presque est Cinque fois moindre que celle du double vitrage (0,5 W/m²K vs. 2,9 W/m²K) et deux fois moindre de celle d'un vitrage à haut rendement (0,5 W/m²K vs. 1,1 W/m²K).

Le triple vitrage conserve la chaleur que le double vitrage, mais aussi que le vitrage à haut rendement, il est aussi plus performant en matière d'isolation phonique (l'isolation phonique du triple vitrage est jusqu'à six fois plus performante que celle d'un double vitrage).¹

Le triple vitrage est plus isolant que le double vitrage, mais cet avantage est à mettre en balance avec de nombreux inconvénients :

- Baisse des apports solaires passifs (20-25 %),
- Baisse de la luminosité (12%),
- Surcoût très important (60 à 80%),
- Poids supérieur de 50% (mise en œuvre difficile)
- Inadaptation à la rénovation.²

¹ Article consulté sur site, <http://www.vanpellicom.be>

² Article consulté sur site, <http://www.vanpellicom.be>

II.3.3. Les façades intelligentes

II.3.3.1. Définition :

« Une façade intelligente est un produit complexe qui s'auto-adapte par ses composants (actif ou passif) aux changements produits par son environnement ou à l'intérieur de la construction. » (Lee E et Al, 2002).

Une façade "intelligente" est une façade capable grâce à ses équipements dynamiques et éléments préfabriqués de s'adapter aux besoins de confort des occupants et d'anticiper les besoins énergétiques du bâtiment. Parmi les différents types de façades, les double-peaux permettent d'associer l'esthétique, la modernité et de bonnes performances énergétiques.

Une façade double-peau (FDP) est constituée de parois vitrées (en simple ou double vitrage) séparées par une lame d'air ventilée par deux ouvertures situées en partie basse et haute de la lame d'air et est équipée de protections solaires modulables. ¹

La "façade de type double-peau" est plus exactement une fenêtre ventilée donnant sur l'extérieur. Ces façades permettent à l'air de circuler entre les deux vitrages.

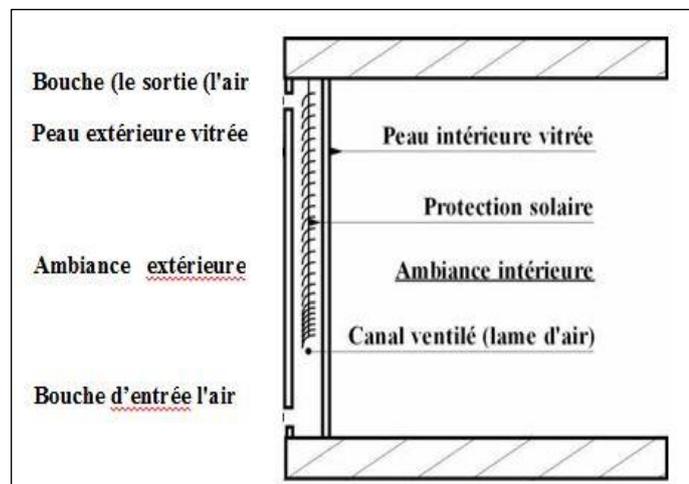


Figure.II.16.Schéma d'une double-peau.
Source : Croix et Bassil,2008-2009

L'intérêt de cette ventilation d'air est né du souci d'améliorer le rendement thermique des fenêtres et de pouvoir récupérer un maximum de gains énergétiques. ²

➤ La composition de la façade double peau en verre

La "façade de type double-peau" est constituée d'une peau intérieure et d'une autre extérieure. La peau intérieure est généralement un double vitrage isolant tandis que la peau extérieure est un simple vitrage. Ces deux peaux vitrées créent un canal, l'épaisseur de ce canal est différente d'une façade à une autre. Cette dernière varie entre 10cm et 2 m pour le cas des atriums. ³

¹ FRANZ.,Graf. «Doubles parois, verres, transparences». Journal d'architectures.1998,p20

² FRANZ.,Graf.op,cit.,p21

³ FRANZ.,Graf.op,cit.,p22

Le type du vitrage intérieur et du vitrage extérieur sont généralement différents. Cette différence est due essentiellement au type de ventilation. En effet, il en existe quatre possibilités en fonction de la destination et de l'arrivée de l'air à l'intérieur du canal. Comme le montre la (Figure.II.17), la position du double vitrage dépend essentiellement du type de ventilation. ¹

Etant donné que le double vitrage est meilleur isolant thermique que le simple vitrage, sa position influe d'une manière considérable sur le bilan thermique de la zone considérée (le coefficient de transmission d'un simple vitrage de 6 mm est de 5,7 W/m².K contre 2,5 W/m².K pour le double vitrage). Notons que le coefficient du double vitrage pourrait être plus faible à l'aide de traitement spécifique (le coefficient d'un double vitrage traité à l'argon est de 1,3 W/m².K).²

II.3.3.3.La stratégies de ventilation

La méthode de ventilation concernent l'origine et la destination de l'air du canal de la "façade de type double-peau" :

- Une ventilation extérieure : cette première stratégie est la plus utilisée. L'air circulant dans le canal de la façade vient de l'extérieur et repart vers l'extérieur. Cette stratégie est très utilisée dans les bâtiments ventilés naturellement. En effet, il permet, dans la plupart des cas, l'évacuation des quantités de chaleur emmagasinées par le canal en traversant le canal.

- Une ventilation intérieure : contrairement à la configuration précédente, l'air circulant dans le canal de la façade vient de l'intérieur et sera extrait vers l'intérieur du local. Dans ce cas, l'air traversant le canal de la façade va emmagasiner une quantité de chaleur due à l'effet de serre crée par les deux vitrages et aux flux absorbés par la protection solaire.

Cette configuration est intéressante en hiver puisqu'elle permet de diminuer les besoins en chauffage dans les locaux car l'énergie contenue dans l'air à sa sortie est injectée directement dans les locaux.³

¹ *Ibidem*

² *Ibidem*

³ FRANZ.,Graf.op.cit.,p23

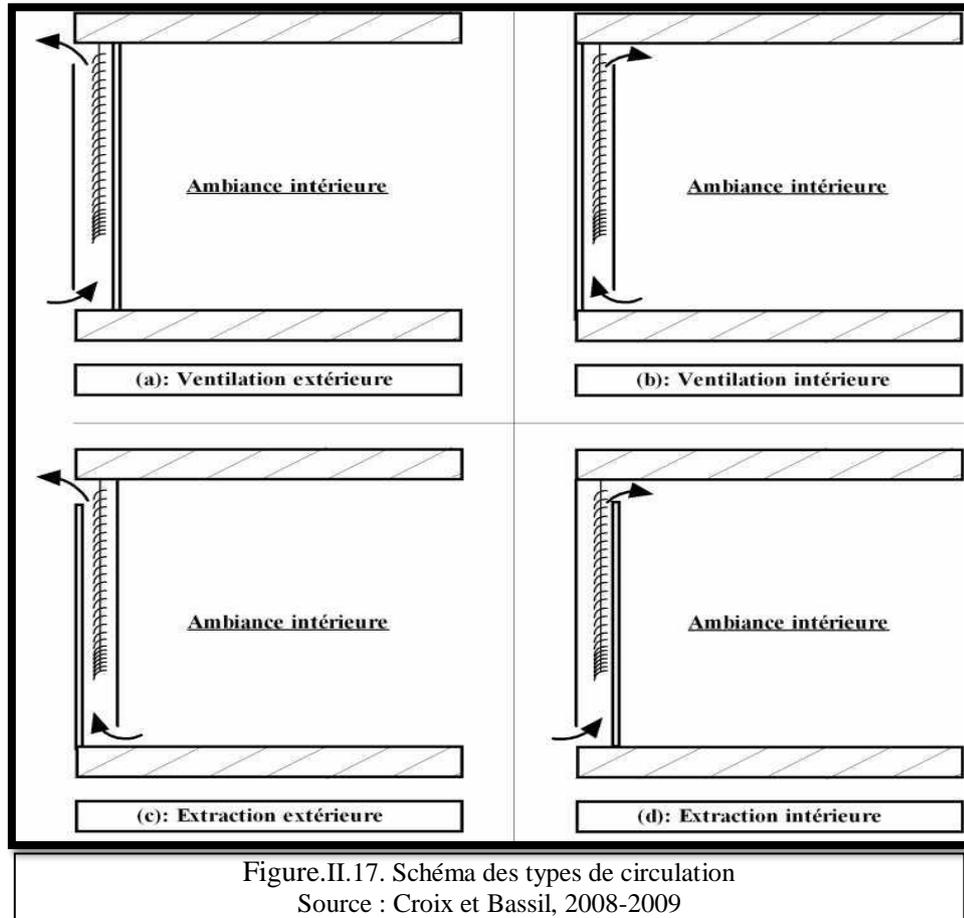


Figure.II.17. Schéma des types de circulation
Source : Croix et Bassil, 2008-2009

II.3.4. Contrôle solaire intégré au vitrage

L'accroissement des apports en lumière naturelle est donc une priorité, mais il doit aller de pair avec la maîtrise des apports d'énergie solaire afin de limiter la surchauffe des locaux.

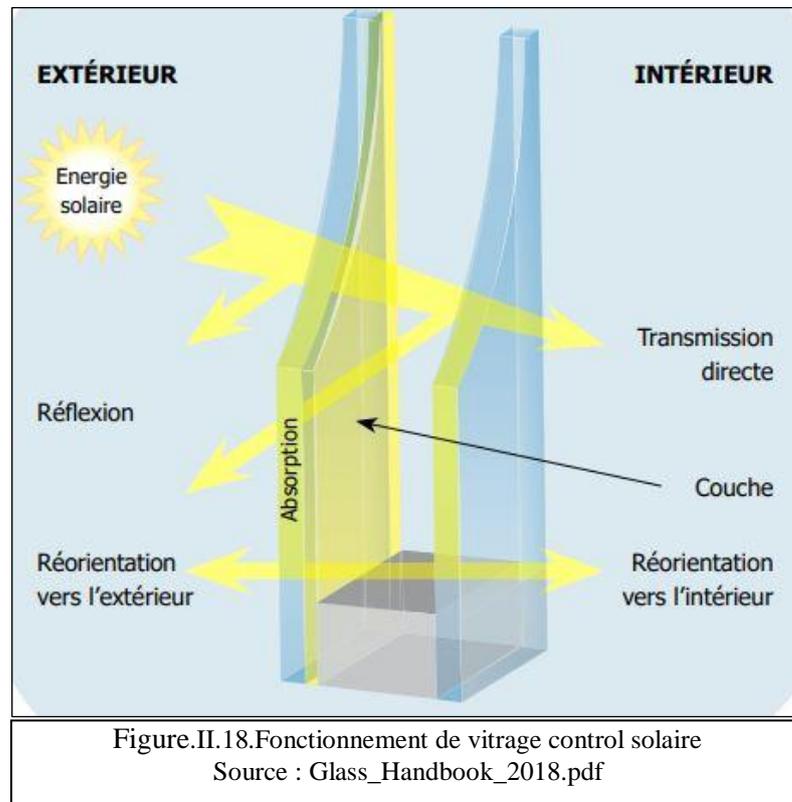
Les vitrages de contrôle solaires sont conçus pour répondre à cet objectif.

Dans des conditions de forte chaleur ou pour les bâtiments avec une charge interne importante, le verre de contrôle solaire permet de réduire le gain thermique solaire en rejetant le rayonnement solaire et en éliminant les reflets. Dans des conditions plus tempérées, il permet d'équilibrer le contrôle solaire grâce à des niveaux élevés de lumière naturelle.

La climatisation est devenue une préoccupation majeure pour les concepteurs de bâtiments et les architectes.

Le plus souvent, le fonctionnement des systèmes de climatisation pendant les mois d'été consomme plus d'énergie qu'il n'en faut pour chauffer le bâtiment en hiver, ce qui

contribue à augmenter l'empreinte carbone. Il est donc essentiel d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments en été comme en hiver.¹



➤ **Fonctionnement:**

Le verre contrôle le rayonnement de l'énergie solaire par réflexion, transmission et absorption. Dans le cas du contrôle solaire, ces éléments se définissent d'après les paramètres suivants :

- Réflexion : proportion du rayonnement solaire renvoyée dans l'atmosphère.
- Transmission directe : proportion du rayonnement solaire transmise directement à travers le verre.
- Absorption : proportion du rayonnement solaire absorbée par le verre.
- Transmission totale (g): proportion du rayonnement solaire total transmise à l'intérieur. Cette valeur se compose de la transmission directe et de celle qui est absorbée par le verre, puis réorientée vers l'intérieur.²

Le vitrage control solaire a :

- Une riche couleur bleue, fraîche et élégante, qui offre de nouvelles perspectives esthétiques.

¹ GLASS_HANDBOOK, *Op.cit.*, p16

² GLASS_HANDBOOK, *Op.cit.*, p21

- De très bonnes caractéristiques de contrôle solaire comparées à celles d'un verre traditionnel teinté dans la masse, sans pénaliser la transmission lumineuse.
- Une forte transparence qui procure à l'intérieur des bâtiments une vision naturelle sans déformation.
- Une faible réflexion extérieure qui rend d'un emploi idéal lorsqu'une forte réflexion lumineuse n'est pas souhaitée.
- Une faible transmission dans les ultraviolets qui évite la plupart des effets nocifs de ces rayonnements.¹

Conclusion :

L'isolation thermique des vitrages des bâtiments est un facteur important pour le confort des occupants, vu les déperditions de chaleur ou bien les rayonnements solaires qu'un vitrage infiltre.

Grâce au haut pouvoir isolant des vitrages que la technologie a atteint, non seulement on bénéficiera d'une douce chaleur en hiver tout en diminuant le degré de chauffage en utilisant le double vitrage, mais nous conserverons également la fraîcheur durant l'été à travers la façade double peau.

Toutes ces techniques offrent aux architectes les possibilités de pouvoir concevoir des façades à la fois transparentes, largement vitrées et efficaces d'un point de vue de confort thermique.

¹ *Ibid.*, p18

CHAPITRE III :
LE VERRE ET LA CONCEPTION
ARCHITECTURALE DES
BATIMENTS

III.1.Introduction

« Espérons que l'architecture de verre amènera également une amélioration de l'homme sur le plan moral. Je vois là pour ma part un des principaux avantages de ces grandioses parois de verre, étincelantes, multicolores et mystiques. Et cet avantage ne me paraît pas seulement être une illusion, mais une authentique vérité : un homme qui voit tous les jours autour de lui des splendeurs de verre ne peut plus avoir des mains sacrilèges. » **Paul Scheerbart (1914)**

Le verre est à l'origine d'un long processus d'évolution à l'issue duquel l'architecture a délaissé les murs massifs et aveugles au profil d'une peau transparente et translucide .

Ce matériau offre à l'homme la possibilité d'édifier des bâtiments en légèreté, transparent, et modifier le rapport entre l'intérieur et l'extérieur, ainsi que la relation de l'homme avec son habitat. Dans ce chapitre on met en lumière le rôle de verre dans la conception et la créativité architecturale, le recours à la transparence, en consolidant la recherche par des exemples.

III.2.Intégration de vitrage dans la conception

Au début de 20ème siècle, les architectes tentent de manière différente mais avec objectif commun, de créer une nouvelle architecture, qui doit trouver sa forme, sans les ornements plaqués de siècle précédent, libérée des contraintes de l'histoire de la construction et avec les nouvelles possibilités offertes par l'industrie, la technique et les nouveaux matériaux ils tentent de concevoir des logements qui offrent une réelle qualité de vie et une grande flexibilité, une architecture ouverte qui offre à l'homme la lumière, l'air et le soleil.

III.2.1.La transition entre l'intérieur et l'extérieur :

L'utilisation de fer, béton et verre dans les constructions de 19ème siècle a fait l'objet d'une grande étape vers l'architecture moderne. Frank Lloyd Wright parle de la destruction de la caisse, la frontière entre l'intérieur et l'extérieur, les murs massifs sont désormais remplacés par des larges ouvertures consolidant l'architecture organique à travers l'intégration dans le paysage en complétant la notion de plan libre.

Pour Wright il est particulièrement important d'utiliser des matériaux comme l'impose leur nature «*in the nature of materials* ».de la pierre de bois de verre ou de béton armé, de tous les matériaux qu'il utilise volontiers, c'est au verre que va sa préférence car il permet d'établir une toute autre relation entre l'homme et la nature.

Wright ne pose pas ses verres sans croisillon, au début ce sont de petits verres de couleur avec un cadre de plomb. Plus tard ils s'agrandissent mais conservent leur croisillon afin de rappeler la frontière de l'intérieur vers l'extérieur.

La maison d'habitation « maison sur cascade » en Pennsylvanie (1936) est un ouvrage clef de la fusion de la nature et l'architecture, où le verre a fait grand pari de la conception, les plafonds et surfaces vitrées créent une relation privilégiée avec la nature environnante.



Figure.3.1.Maison la maison sur cascade
Source : www.maison.com

III.2.2. Créer une vision avec le verre :

Les architectes de l'après-guerre s'orientent vers l'art pour créer des visions pleines de fantaisie d'un monde nouveau d'une communauté meilleure et de leurs symboles.

Le verre occupe ici une place centrale, Paul van scheerbart, l'un des pionniers de l'expressionnisme décrit un monde qui s'émancipe de la masse et de la compacité de la brique en faveur de la transparence et de luminosité du verre « *nous vivons le plus souvent dans des pièces closes. Elle compose le milieu duquel est issue notre culture...il nous faudra bon gré, mal gré réviser notre architecture, et cela ne sera possible que quand nous aurons ôtés toutes compacité aux pièces ou nous vivons. Seul l'avènement de verre peut nous ouvrir cette possibilité, car elle laisse pénétrer la lumière du soleil, de la lune, non pas par quelques fenêtres, mais par le plus grand nombre possible des murs intégralement en verre. Ce nouveau milieu que nous nous créerons nous apportera une nouvelle culture.* » **Paul van scheerbart**

Scheerbart fait en outre des propositions très concrètes visant une utilisation économiquement intelligente du verre, les serres de « Dahlem » et leur simple vitrage l'incitent à plaider pour un double vitrage qui permettrait d'engloutir moins de charbon, il écrit « *l'air étant que un des plus conducteurs thermiques, la double paroi de verre est inéluctable pour l'architecture de verre* ».

Pour les architectes qui gravitent autour de l'expressionnisme, le matériau verre trouve sa signification dans son potentiel d'économiser l'énergie ou dans la transparence qu'en tant que symbole pour la communication avec l'extérieur.



Figure.3.2.Serre de dahlem. Allemagne
Source : <https://structurae.info>

III.2.3.Verre et lumière :

Le rôle premier de l'architecture est d'abriter et de protéger l'homme, l'histoire de l'architecture témoigne d'une quête continue de lumière et de transparence. Associée à sa source principale, le soleil, la lumière est indissociable de la vie. Elle est aussi symbole de connaissance et associée visible et intelligible.

L'architecture de verre est caractérisée par des bâtiments habillés de verres transparents ou réfléchissants, un éclairage uniforme des pièces



Figure.3.3.Eglise notre dame du haut -intérieur
Source : <http://www.lavie-b-aile.com>

intérieures du à un vitrage généreux ne se traduit pas forcément par une perception plus intense de la lumière, on obtient des effets nettement plus saisissants en jouant sur le contraste entre la clarté et l'obscurité par les biais de petites fenêtres ou d'étroites fentes dans les murs dont la disposition et répartition ont une influence primordiale sur la qualité du volume, à titre d'exemple d'utilisation de vitrage dans la manipulation d'ambiance intérieure.

Le Corbusier dans son projet ; église « notre dame-du-haut » (figure.III.3) a réussi de créer un atmosphère mystique et pénétrante dans la travée volontairement obscure de

l'église, en fermant avec des verres de couleur des ouvertures de différentes tailles percés dans la façade sud.¹

III.2.4. Translucidité et réflexion :

L'utilisation créative du verre sur les façades ne se limite pas à dématérialiser l'enveloppe extérieure ou à la mettre en valeur avec du verre réfléchissant, comme le prouvent les esquisses et les déclarations. En 1931, pierre Chareau réalise sur la maison de verre une enveloppe remarquable de brique en briques qui permet d'obtenir une luminosité idéale à l'intérieur de la maison tout en préservant des regards.

On utilise ici de manière optimale les possibilités créatives des murs translucides qui laissent passer la lumière sans être transparent.

Cette recherche de la qualité dans la conception manque à nombre de bâtiments en verre des décennies suivantes dont les façades réfléchissantes ou teintées,

Depuis les années 80, on accorde la même importance à la transparence et à la translucidité, d'autres architectes utilisent le verre trempé chimiquement pour donner à leurs bâtiments un aspect léger et lumineux selon les conditions d'éclairage.



Figure.3.5.Maison de verre
Source : www.shelleysdavies.com

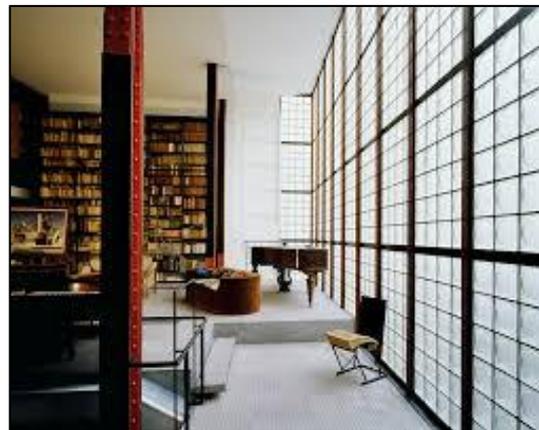


Figure.3.4.Maison de verre-vue intérieur
Source : www.shelleysdavies.com

¹ CHRISTIAN S, DIETER, B, «*construire en verre*», Presses polytechniques et universitaires romandes, 2001, p41

III.2.5. Architecture et transparence :

La première concrétisation effective d'un espace transparent fût sans doute avec l'avènement du gothique au 12^{ème} siècle. La cathédrale gothique de Saint-Denis, érigée par son l'abbé Suger (1081-1151) est la première démonstration d'approche conceptuelle de la lumière dans l'architecture.

La lumière diffusé qui pénètre à travers les vitraux, ses reflets dans l'édifice, sanctifient et embellissent l'espace. Le vitrail devient un filtre entre l'intérieur et l'extérieur, Cette relation de l'espace architectural, interfère sans cesse, et engage un dialogue aux combinaisons multiples, à travers toutes les périodes et les mouvements de l'histoire de l'architecture, jusqu'au moment où la lumière va devenir l'un des "matériaux" de base de toute conception architecturale, et dont la fenêtre ,la partie transparente d'un bâtiment et révélateur de la lumière, joue le rôle principal.¹

Le souci de la transparence est né à la fin du 19^e siècle. Jules Henrivaux, ingénieur chimiste publie dans la *Revue des deux mondes* un article intitulé « Une maison de verre » Dans lequel il décrit comment le verre et le fer seront les seuls matériaux des maisons futures.²

III.2.5.1. Définition du concept de la transparence :

« La transparence, c'est avant tout la façon d'imprégner une architecture du site environnant, de favoriser l'interférence de l'existant et du construit, d'intégrer tout le milieu ambiant comme composante à part entière de l'espace créé. Elle implique par nature de composer avec la variation de ce milieu, variation de lumière et de couleur... » Jean Nouvel(1985)

La transparence est un des concepts que l'architecture dite moderne (ou style international) a inventée pour se démarquer des styles architecturaux qui la précédèrent, Ce concept a introduit une façon nouvelle et unique pour le traitement de la relation extérieur intérieur. la transparence chez ces architectes constituent un dispositif architectural qui produit en dehors d'apport de lumière et soleil une interpénétration parfaite de l'espace intérieur et de l'espace extérieur. Elle est liée à trois dimensions fondamentales, la lumière naturelle, le soleil et la vue sur l'extérieur.³

¹ Mémoire de magister., université de Biskra, p9

² *Ibid*, p10

³ *Ibid*, p11

III.2.5.2.Apparition du concept de la transparence :

Depuis toujours et jusqu'à la fin du 18^{ème} siècle, l'homme a toujours été lié à la nature pour construire son abri. Son architecture est dépendante des matériaux qu'offre la nature. Les constructions sont en bois, en pierre, ou en terre.

La lumière naturelle a toujours constitué une partie importante durant toute l'évolution de l'architecture.

La relation entre le dedans et dehors d'une construction fut limitée par un mur lourd avec des petites ouvertures. Ces ouvertures représentent un point faible face au vent, intempéries, et les dangers extérieurs.¹

C'est dans les bâtiments cérémoniaux et religieux, comme la basilique gothique de Saint-Denis (Fig.3.7), érigée par son abbé Suger (1081-1151), que la première concrétisation effective d'un espace transparent.²

An 19^{ème} siècle de la révolution industrielle a introduit de nouveaux procédés de constructions, grâce à l'apparition de nouveaux matériaux, fer, verre, et acier.

Les techniques de fabrication du verre fait des grands progrès. L'alliance du fer et le verre oriente les concepteurs vers des solutions nouvelles dans les bâtiments publics (serres, marchés passages, Grands magasins, galeries, et gares ferroviaires).



Figure.3.6.Fenêtre unique sur 11 mètre de long, petite maison à Cordeaux, le Corbusier 1923 (Source : Auguste,2002)

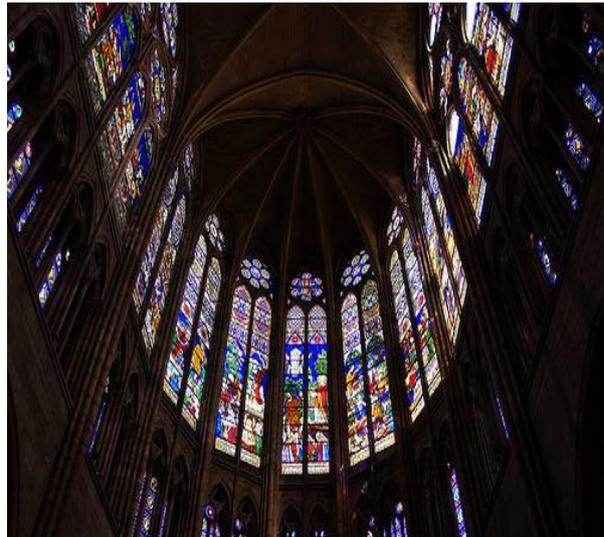


Figure 3.7.La basilique gothique de Saint-Denis, érigée par son abbé Suger (1081-1151) (Source : Alloa ,2008).

¹ Mémoire de magister.,loc,cit,p12

² *Ibidem*

En parlant des bâtiments transparents, Walter Benjamin note que : *" L'architecture de verre agit comme un égalisateur social en son sein ou les règles sont égales pour tous, le verre aura donc désormais moins pour but de laisser pénétrer la lumière de l'extérieur que d'en atténuer l'effet individuant et de ménager un espace de pure égalité "* (Benjamin, 1939).



Figure.3.8. Galleria Vittorio Emanuele II, Milan 1876
Source: http://fr.wikipedia.org/wiki/Galleria_

En Italie la galerie la plus célèbre est la Galerie Vittorio Emmanuèle II à Milan (Fig.3.8).

Ces passages sont également des lieux de consommation (boutiques, cafés, restaurants), lieux de rencontres, et de refuge pour les gens d'intempéries. Ces espaces sont couverts par une verrière offrant des endroits baignés de lumière au moyen d'un éclairage zénithal qui leur donne une lumière particulière. La verrière est un élément visuellement le plus important de la galerie ; elle clôt l'espace, sécurise physiquement et moralement le promeneur.¹

III.2.5.3. La transparence dans L'architecture moderne :

La période moderne en architecture, fut sans doute, le grand théâtre des réalisations remarquables et novatrices sur plusieurs plans, technique, formel et social. Les idées des architectes modernes correspondaient à une conception nouvelle de l'espace.

Cette espace qui était clos et fermé dans le passé sera fracasser et c'est l'une des tâches que se sont données les architectes modernes. De plus, les nouveaux matériaux tels que le béton armé, le fer et le verre, ont permis d'exprimer architecturalement ces nouvelles idées, en détruisant l'espace clos, l'architecture devient transparente.²

L' idée d'une architecture transparente a inspiré l'écrivain allemand, Paul Sheerbart, qui avait publié en 1914 son manifeste « Architecture de verre », décrivant comment l'homme nouveau habitera des maisons entièrement faites de verre, lumineuses, propres et pures, où la matière ne sera plus qu'une lumière.³

¹ Mémoire de magister, Université de Biskra, p13

² *Ibid*, 14

³ *Mémoire de magister, Op,cit*, p15

On cite quelques exemples d'application de la transparence du mouvement modern :

A. Le Crown Hall

Mies van der Rohe réalise, en 1950-56 le Crown Hall (Fig. III.9), à Illinois Chicago. Ce dernier est destiné à abriter, à la fois les écoles d'architecture, d'urbanisme et de design. Le bâtiment est un seul espace non interrompu de (36.6 x 67 m) d'une hauteur de (5.5 m), couvert par une structure spectaculaire. Les façades constituées de grands panneaux vitrés, une configuration totalement ouverte, comme celle adoptée pour la maison Farnsworth.¹



Figure III.9. Crown Hall, à Illinois Chicago, 1956,
Source: (http://www.bc.edu/bc_org)

B. Seagram Building :

Durant la même période ,1954-1958, Mies van der Rohe et Philip Johnson réalisent (Fig.III.10) le Seagram Building, à New York. Il s'agit d'un tour de bureaux de 39 étages en bronze et verre fumé. Ici, le verre n'avait pas été utilisé pour son effet de transparence mais, comme un matériau qui reflétait la lumière à l'instar d'un miroir et qui empêchait le regard de pénétrer dans l'espace intérieur. L'éclairage de l'espace intérieur était la priorité, de même que l'effet visuel des bâtiments et ses reflets lumineux.²

¹ *Ibidem*,

² *Ibid*,p16.



Figure III.10. Le Seagram Building, 1958, Park

Source: <http://ensanancy.typepad.com>

C. L'hôtel industriel

Dominique Perrault, réalise en 1990 l'hôtel industriel Berlier à Paris (Fig.III.11) en souhaitant "donner une image architecturale nouvelle à l'industrie". Les façades de l'Hôtel industriel Berlier sont toutes identiquement composées d'un mur-rideau transparent de haut en bas équipé de double-vitrage



Figure III.11. L'hôtel industriel ,1990

Source: <http://audience.cerma.archi.fr>

légèrement teinté doublé ; un bâtiment transparent où le verre laisse voir les câbles et les différents tuyaux techniques, de même que les activités industrielles qui se déroulent à l'intérieur. A l'intérieur est réalisée une structure de brise-soleil métalliques au-dessus et en dessous de laquelle passent aussi les gaines de chauffage et de climatisation à air pulsé. Les brise-soleil sont constitués de bandeaux horizontaux de 0,4 mètre de large réalisés en tôle galvanisée perforée et disposés tous les 0,3 mètre.¹

¹ Mémoire de magister, *Op,cit*, p17

III.2.6. La façade mur rideau

Le recours à la transparence en architecture dans notre siècle se traduit en murs rideaux en verre-métal sont de plus en plus répandus. ¹

Un mur-rideau est un revêtement extérieur léger qui est fixé à la charpente d'un bâtiment et s'étend généralement d'un étage à l'autre. Son aspect peut varier, mais il est caractérisé par des supports verticaux et horizontaux rapprochés entourant des panneaux de remplissage en verre ou en métal. Il fournit un revêtement extérieur fini et, le plus souvent, un revêtement intérieur semi-fini.

Les murs-rideaux s'adaptent aussi aux fléchissements de la charpente, s'opposent à la pluie

poussée par les vents et aux fuites d'air, minimisent les effets du rayonnement solaire et assurent une

bonne performance de longue durée sans entretien. De nombreux murs-rideaux actuels sont constitués d'aluminium, mais il en existe aussi en acier. ²

La façade rideau est une façade légère constituée d'une ou plusieurs parois passant entièrement en avant du nez de plancher. Deux types de façades rideau peuvent être réalisés :

- La façade rideau intégrale, ou le mur rideau, passe devant la structure porteuse du bâtiment, horizontale et verticale. Elle habille l'ensemble de l'ossature du bâtiment. Les liaisons avec celle-ci se trouvent à l'intérieur de l'enveloppe. De ce fait, les risques d'infiltrations, de perméabilités à l'air et les ponts thermiques sont moindres.

- La façade rideau verticale passe devant le nez des planchers ; elle est interrompue par la structure verticale, murs de refend ou poteaux. L'architecture est à dominante verticale. Les liaisons avec l'ossature horizontale sont à l'intérieur de l'enveloppe ; elles possèdent les mêmes caractéristiques que celles de la façade rideau intégrale. Les liaisons avec l'ossature verticale sont en dehors de l'enveloppe, elles ne sont pas protégées des intempéries. ³



Figure.III.12.Mur rideau en verre
Source : <https://www.wikipedia.org/>

¹ SCHALL,R.,«Les Murs Rideaux». Éditions Dunod,(1966).p16

² Ibidem,

³ Ibid,p20

III.2.6.1. Les façades rideaux à ossature « grille »

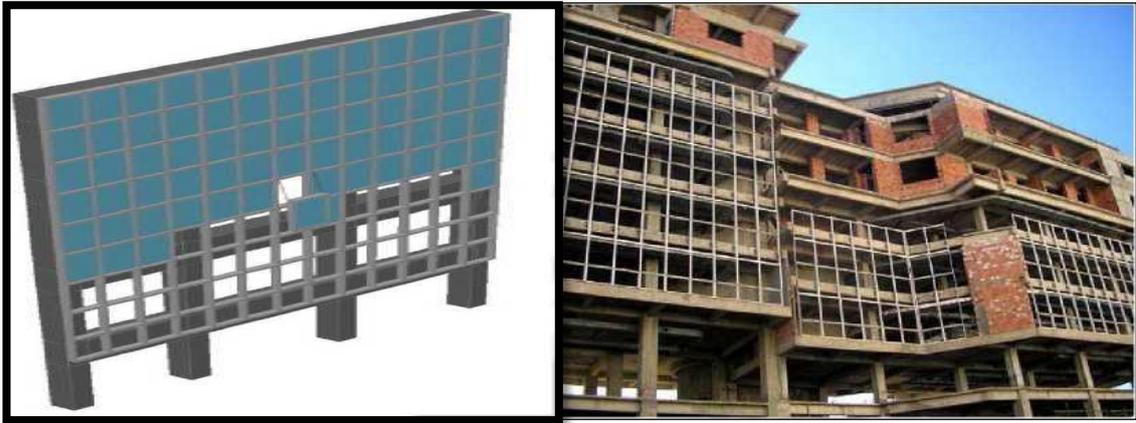


Figure.III.13.urbal sahraoui : projet les cascades - El Achour- Alger

Source : www.blogspot.com

Les façades rideaux sont constituées d'une ossature secondaire faite de montants filants et de traverses fixées de montant à montant. L'ensemble est fixé aux nez des planchers de chaque niveau. Cette ossature peut ainsi supporter des remplissages vitrés ou opaques. C'est une technique où les éléments sont préfabriqués et montés sur place. Chaque montant de l'ossature est accroché à la structure principale. Les traverses peuvent être encastrées ou emboîtées aux montants. Pour absorber les mouvements de la façade (dus aux efforts du vent, le poids des remplissages, la dilatation et les chocs prévus réglementaires), les montants et traverses sont liaisonnés par un système de manchons : les montants sont fixés comme une structure secondaire aux planchers avec des douilles ou des rails ancrés dans la dalle.

Les fenêtres sont fixées de trois manières différentes :

- Les vitrages fixes sont directement serrés contre la grille d'ossature.
- Les fenêtres (ouvrant et dormant) sont fixées entre les montants et les traverses C'est le cas le plus courant.
- Les montants peuvent être utilisés comme dormant de la fenêtre. ¹

¹ Ibid,p23

III.2.6.2. Les façades rideaux à ossature « cadre »

Elles sont composées de montants, de traverses et d'un remplissage vitré ou opaque, (qui, contrairement aux « grilles », sont pré-assemblés), puis fixés aux planchers de chaque niveau. Les cadres sont indépendants les uns des autres, ils sont accrochés au gros œuvre de manière à se dilater librement dans le sens horizontal et vertical.

Le cadre est fixé au plancher à l'aide d'accroches fixées aux angles.

Les attaches hautes sont fixes pour reprendre les charges verticales et celles du vent, et les attaches basses présentent un jeu pour permettre un mouvement de dilatation

: les joints entre cadres doivent faire l'objet d'une attention particulière. Les profilés en caoutchouc relient les cadres entre eux ou procèdent par recouvrement.¹



Figure.III.14. Les façades rideaux à ossature « cadre »

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

III.2.6.3. La façade panneau

La façade panneau, ou panneaux de façade, est une façade légère, composée d'une ou de plusieurs parois, insérée entre deux planchers directement superposés. Reposant sur le plancher, elle demande un très grand soin dans la réalisation de cet appui afin d'éviter les risques d'infiltration. Elle est réalisée à l'aide de panneaux de grande dimension, hauts d'un étage ou d'un demi-étage et fixés à l'ossature du bâtiment ou à une ossature secondaire.



Figure.III.15. Exemple de façade en panneau

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

Ils sont entièrement préfabriqués en usine, juxtaposés sur chantier et fixés généralement par une ou deux attaches par panneau.

¹ SCHALL, R., *op.cit*, p26

Les seuls éléments de construction sont ici les panneaux, qui assurent simultanément la fermeture, la transmission de leur propre poids et de la pression du vent à l'ossature ; ils sont autoportants.¹

Les panneaux sont essentiellement caractérisés par le fait que leur surface extérieure est fermée et dépourvue de joints. Lorsque la façade est équipée de fenêtres, elles sont ménagées dans la surface des panneaux.¹

III.2.6.4. Mur en verre structurel

Dans ce cas, la paroi est entièrement constituée par des lames de verre. La liaison entre les panneaux vitrés est assurée par un simple joint en silicone. Les déplacements relatifs des panneaux les uns par rapport aux autres doivent être infimes, sous peine d'ouvrir les joints ou de créer des contraintes tendant à briser l'élément vitré, C'est pourquoi les pièces en suspension et les assemblages sont conçus pour absorber tous les mouvements et les efforts entre le mur vitré et la structure porteuse.²



Figure.III.16.Exemple d'un mur en verre
Source : <https://www.wikipedia.org/>

¹ SCHALL,R.,*op.cit*,p28

² *Ibid*,p30

III.2.7.Exemple de construction en verre

III.2.7.1.La maison en verre

C'est des années 40, fut la construction de quelques maisons d'habitation privées en verre de la manière la plus radicale, de taille petite et de simple conception.

La farnsworth house conçue par mies à plano/Illinois est l'une des applications rationnel d'architecture en verre, son vaste vitrage fixé par de mince coins d'acier, assure la continuité de la pièce vers l'extérieur.



Figure.III.17. La farnsworth house
Source : <https://www.wikipedia.org/>

Le surélévement de plan par huit colonnes fait rappelle à la maison traditionnelle japonaise.¹

Philip Johnson, un ami et élève de mies, se réfère, mais avec une grande indépendance, à la farnsworth house pour construire 1949, la glass house, un exemple extrême de ce que peut être une maison d'une seul pièce.²



Figure.III.18. La maison de verre
Source : <https://www.wikipedia.org/>

¹ *Ibid*,p36

² CHRISTIAN,S ,*op.cit*,p188

III.2.7.2. La pyramide suspendue du Louvres, paris 1993

La pyramide suspendue du Louvres un exemple d'intégration du verre dans la conception des zénithal pour obtenir de la lumière et un excellent esthétique.

Tel un grand luminaire, la pyramide du Louvres est suspendue à l'envers, dans le passage commercial souterrain situé sous la cour du carrousel, ses facettes miroitantes projettent la lumière naturelle dans la pièce



Figure.III.19.La pyramide suspendue du Louvres, paris
Source : <https://www.wikipedia.org/>

et sa structure aussi claire que voyante matérialise le point de jonction de deux nouveaux et importants axes de passage.

Elle apparait en outre comme une œuvre à part entière dont la plastique sculpturale de verre reflète la lumière de manière fascinante et la décompose en couleurs spectrales.¹

Les facettes de la pyramide sont suspendues comme des rideaux à un chassé métallique inséré dans la construction de béton qui l'entoure. Chaque panneau de verre, qui porte le poids des panneaux suspendus directement en dessous de lui, et relié à ces voisins par un dispositif d'encrage en forme de croix à quatre point.

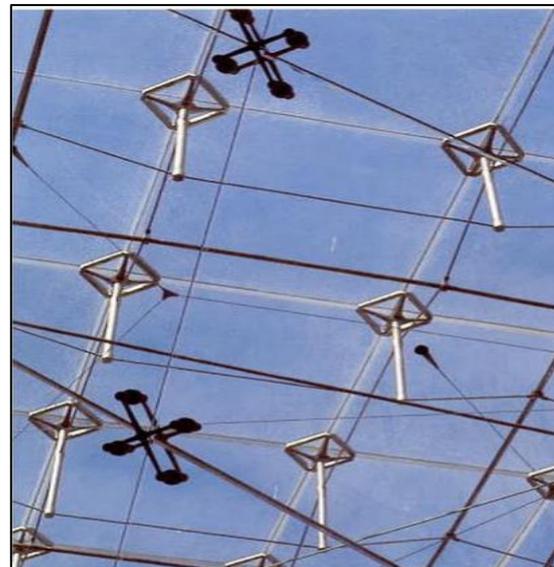


Figure.III.20.mode de fixation de panneau de verre.
Source : <https://www.wikipedia.org/>

L'inclinaison des surfaces est stabilisé par de fins câbles fixés au centre des panneaux de verre en losange est tendu par le poids de ces derniers. Ces câbles sont reliés au système de raidisseurs primaires qui

sont composés de huit bras oscillants et du câbles principaux, la pointe de pyramide est démontable pour permettre l'entretien et le nettoyage.²

¹.CHRISTIAN,S ,*Loc.cit,p188*

² *Ibidem,*

III.3. La conception du système de “baie”

III.3.1. Les baies dans l’enveloppe extérieure

Le rôle principal de l'enveloppe reste la fermeture d'un espace de vie privé par rapport à l'espace public.

Les baies en sont les ouïes. Capter, contrôler la lumière naturelle et la chaleur solaire, permettre les vues vers l'extérieur en protégeant l'intimité, tout en répondant aux mêmes performances que l'ensemble de l'enveloppe : tels sont les défis que le concepteur des baies doit relever.

L'architecture d'un bâtiment n'a de sens que dans la vie qu'il permet, qu'il offre : vie à l'intérieur de l'espace qu'il définit, vie à l'extérieur dans le site qu'il modifie en s'y implantant.¹

III.3.2. L’esquisse et les baies

L'embryon du bâtiment naît d'une première formulation spatiale d'une réponse au programme mis en situation et souvent d'une approche solaire passive.

- **Les zones de jour** : elles vont prendre naturellement une part primordiale vers le sud et vers les vues à privilégier, elles seront protégées du Nord par des espaces de services, des espaces de nuit qui serviront d'espaces tampons.
- **Les zones de services** : elles seront situées de préférence du côté opposé aux espaces de vie, de façon à les “protéger” des nuisances extérieures telles que, entre autres, le froid, le bruit.
- **Les zones de nuit** : elles serviront

d'espaces tampons. Dès ce premier instant de conception, l'utilisation des baies va jouer un rôle essentiel pour permettre la vie à l'intérieur en amenant lumière, soleil et vues, pour donner au concepteur des outils de composition des espaces et des élévations.²

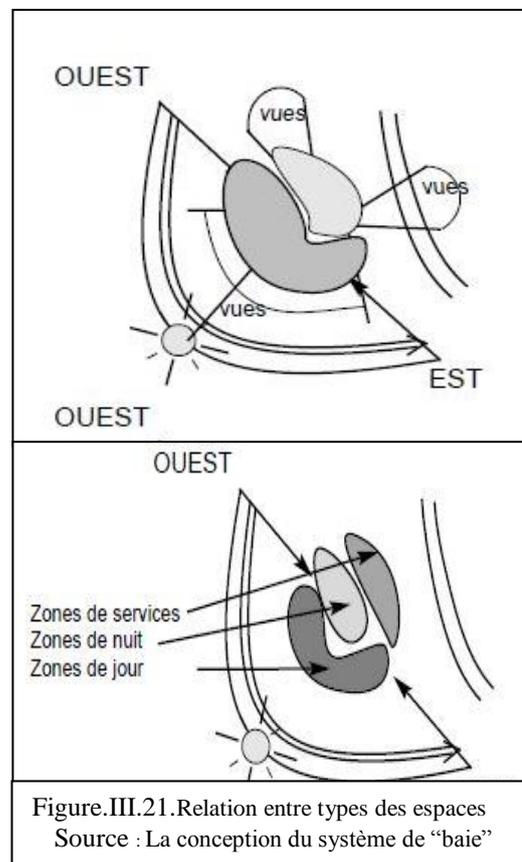


Figure.III.21. Relation entre types des espaces
Source : La conception du système de “baie”

¹ MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU SYSTÈME “BAIE” ,Guide pratique pour les architectes,p53.

² MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU SYSTÈME “BAIE” Op,cit,p54.

III.3.3. Les baies et leur orientation

- **Face sud :**

Larges ouvertures pour permettre l'effet de serre en période de chauffe, assurant une captation passive de l'énergie solaire. La protection des baies en face sud en été est aisée, vu l'azimut élevé de celui-ci.

- **Face Est et Ouest :**

Baies de dimensions moyennes. Cette orientation permet de capter le soleil en toute saison mais avec parcimonie. Les protections réglables sont à prévoir surtout à l'ouest dans les locaux de nuit pour éviter les surchauffes en été

- **Face Nord :**

Baies essentiellement porteuses de lumière diffusée et de vues. Leurs

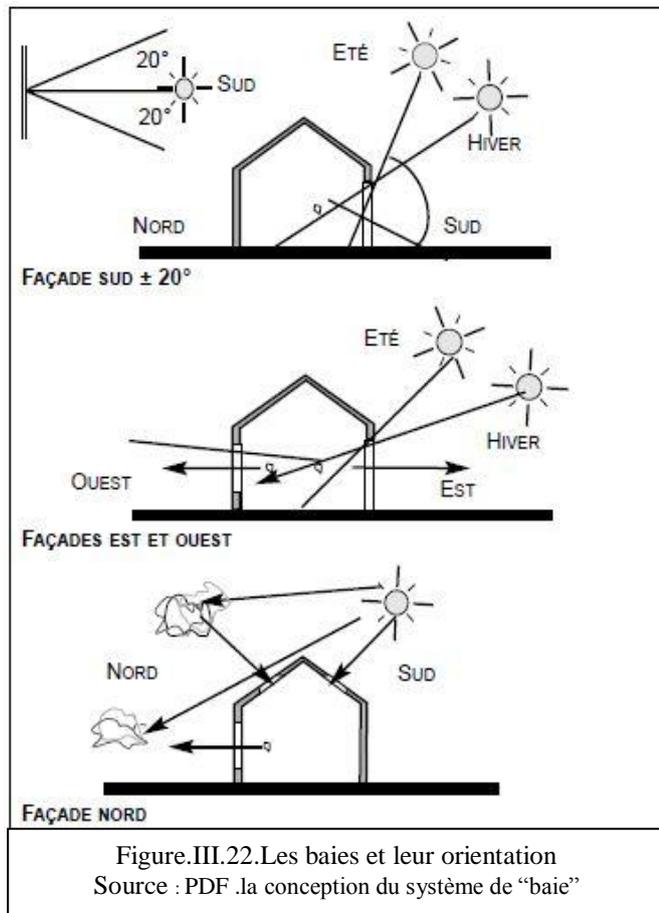
dimensions doivent rester limitées sinon il y a lieu de contrôler l'isolation thermique des lieux.

- **Faces zénithales :**

Suivant leurs orientations, les surfaces de baies zénithales seront plus ou moins proportionnées aux baies verticales, mais plus réduites car leur efficacité est plus grande.

- **Au Sud :** la pénétration du soleil sera plus puissante. Il faudra donc créer des baies de taille moyenne sous peine de créer des surchauffes. Elles seront à protéger par l'extérieur si possible.

- **Au Nord :** la lumière diffuse et un peu de soleil pourront pénétrer plus intensément.¹



¹ MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU SYSTÈME "BAIE", *Loc.cit*, p54.

III.3.4. Les baies et la thermocirculation

Les vitres vont s'échauffer et vont céder progressivement parois intérieures soumises aux rayonnements solaires une partie de la chaleur accumulée à l'air ambiant par convection.

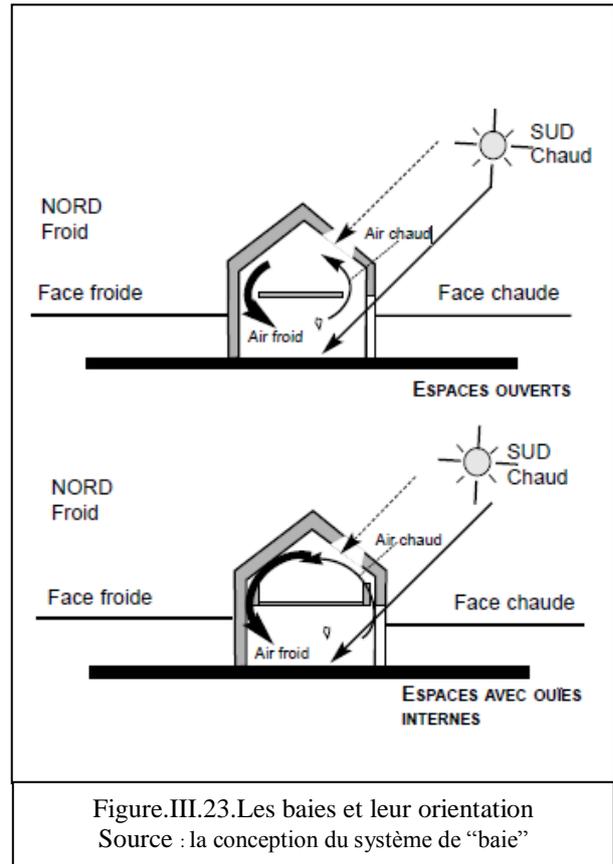
Bien gérer une thermocirculation permet d'atteindre un réel confort, grâce au transport optimal de l'air préchauffé d'un espace à un autre plus frais.

La mise en place et l'utilisation d'ouvertures mobiles et réglables entre l'espace fortement ensoleillé et le reste de l'habitation permettent la gestion de la circulation de l'air.

L'importance relative des baies définies lors de l'esquisse suivant les faces

du bâtiment va influencer en partie le choix de la technologie de la structure portante, des dispositifs d'isolation thermique mais aussi de certaines des fonctions volumétriques ou de détails de protection solaire à intégrer dans les formes essentielles de l'enveloppe extérieure. Le dimensionnement plus précis, le choix des types d'ouvrants et le positionnement exact des baies va être fixé à ce stade. Ces choix vont dépendre :

- des ambiances de vie.
- d'une vérification du respect de certaines impositions normatives et/ou urbanistiques.
- des dispositifs d'occultation ou de protections.¹



¹MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU SYSTÈME "BAIE", *op.cit*, p55

III.3.5. Le choix du vitrage

Le choix se fait :

➤ **Selon les sollicitations de l'environnement :**

Le niveau de performance requis peut varier suivant la localisation et l'orientation de la façade.

D'un point de vue énergétique, deux types de besoins :

- les besoins d'une isolation thermique performante : ce choix doit être réalisé en alliant esthétique du verre et confort : il s'agit de protéger les espaces intérieurs, d'une part d'un refroidissement excessif dû aux pertes de chaleur par les fenêtres et, d'autre part, de la surchauffe provoquée par l'exposition au rayonnement solaire. Ceci permet de diminuer le plus possible les coûts de fonctionnement ;
- les besoins d'une isolation acoustique performante : ce choix est influencé par la nature des principaux types de nuisances sonores environnantes.¹

➤ **Selon l'esthétique du matériau :**

L'esthétique du matériau "vitrage" est déterminée par :

- La teinte du verre.
- Le niveau de transmission lumineuse du verre.
- Le niveau de réflexion lumineuse.
- La couleur réfléchie et transmise.
- Réfléchissant pour "reproduire" l'environnement et procurer une façade s'animant avec l'évolution de la lumière, du ciel et des saisons.²

➤ **Selon le but visuel recherché :**

Dans le cas du vitrage, on peut privilégier :

- Une transmission lumineuse élevée qui assure un bon éclairage naturel à l'intérieur.
- Une protection lumineuse pour lutter contre l'éblouissement grâce à une transmission lumineuse plus faible.³
- Pour certain cas comme dans les musées, les vitrines, ou on cherche d'une clarté maximale, il faut un vitrage antireflet.

¹ MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU SYSTÈME "BAIE", *op.cit.*, p59

² *Ibidem.*

³ *Ibidem.*



Figure.III.24.vitrage reflétant
Source : <http://www.agc-glass.eu>

-Positionner les vitrages le plus haut possible : C'est la partie haute des vitrages qui permet d'éclairer le fond de la pièce.

La limite supérieure du vitrage doit être située à une hauteur au moins égale à la moitié de la profondeur du local. Dans le cas contraire, la partie arrière de l'espace devra faire appel à l'éclairage artificiel. Afin de ne pas réduire encore plus la clarté, on veillera à adapter les faux-plafonds s'il y en a pour avoir un maximum de lumière dans la pièce.¹

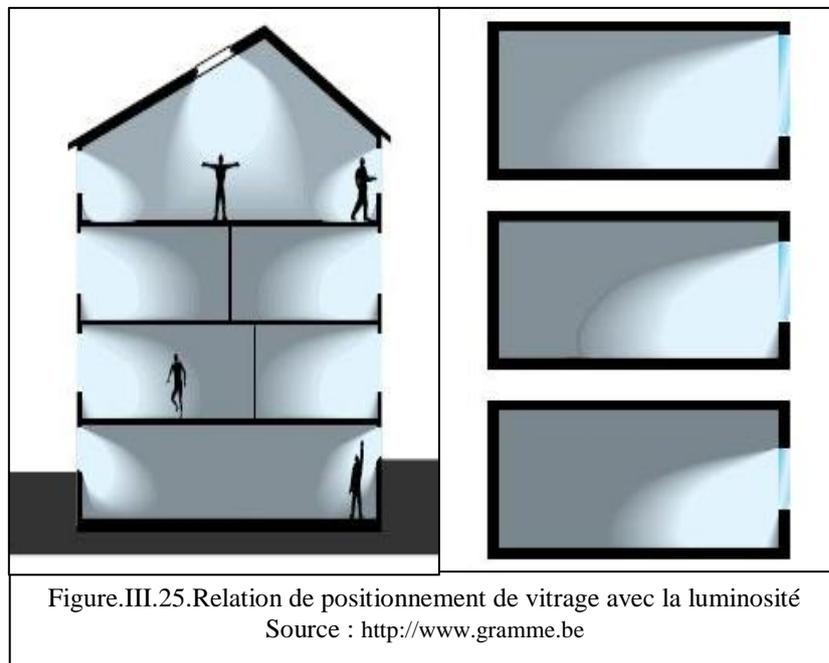


Figure.III.25.Relation de positionnement de vitrage avec la luminosité
Source : <http://www.gramme.be>

¹ Article consulté sur site: <http://www.agc-glass.eu>

➤ **Selon les besoins en termes de sécurité :**

Le choix du vitrage dépend de la nécessité et du type d'application. Il peut s'agir de la sécurité des personnes, de la sécurité à l'effraction, de la sécurité contre les agressions par armes à feu et explosifs.¹

- Protection contre les impacts : Les technologies de fabrication, de transformations et d'assemblage permettent de conférer aux vitrages d'excellentes capacités de réponse aux contraintes de sécurité qu'exige la construction actuelle, notamment en matière de résistance aux impacts.

Pour les vitrages "à risques", le verre feuilleté est le plus utilisé, Lors d'un choc avec un corps étranger, le verre se fendille, la fracture est localisée au point d'impact sans altérer la visibilité. L'intercalaire P.V.B. (polyvinyle butyrate) maintient les morceaux de verre en place, ce qui diminue le risque de coupure par éclats de verre. Il garde l'étanchéité de la paroi.

De plus, l'énergie résiduelle du corps est absorbée par cet intercalaire ; le vitrage empêche donc le passage du corps si l'impact n'est pas disproportionné.²



Figure.III.26.Comportement de verre feuilleté en cas de choc
Source: <http://www.gramme.be>

¹ MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU SYSTÈME "BAIE", *op. cit.*, p60

² Article consulté sur site: <http://www.gramme.be>

III.4. Le vitrage a service de design et de la décoration intérieure

Il n'y a pas mieux que le verre pour concevoir des espaces à la fois lumineux, confortables et sûrs. Architectes et décorateurs apprécient d'utiliser ce matériau lors de la conception de leurs projets pour des critères esthétiques mais aussi pour de nombreux autres avantages.

Le verre laisse la lumière naturelle pénétrer à l'intérieur des espaces. Ceci entraîne un impact positif sur la santé et une réduction des dépenses en éclairage artificiel. L'utilisation d'un vitrage translucide apporte en outre un équilibre idéal entre lumière et intimité.

III.4.1. Aménagement en verre :

Aujourd'hui grâce à la vaste variété de types de verre, on peut tout construire par ce matériau. Vue son air esthétique, le verre passe de l'écran de lumière à prendre maintenant la forme de cloison, plancher, escalier, portes, en faisant un matériau parfaitement adapté à la création d'espaces ouverts et ergonomiques qui encouragent la communication.

Par ailleurs, les miroirs trouveront aussi bien leur place comme revêtement mural ou en décoration afin de contribuer au confort visuel. Ils reflètent pratiquement toute la lumière qu'ils reçoivent et participent grandement à la clarté de la pièce. Les miroirs de grandes tailles ont aussi pour effet d'accroître la sensation d'espace. Il s'agit bien là d'une option de choix en matière de confort visuel.¹



Figure.III.27. Mur vitré
Source : <http://www.agc-glass.eu>

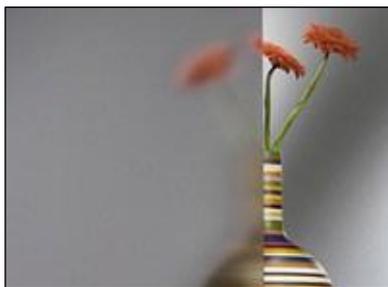
¹ Article consulté sur site: <http://www.verre-solutions.com/taxonomy/term/1>



Figure.III.29.Désign escalier en verre
Source : <http://www.archiexpo.cn>



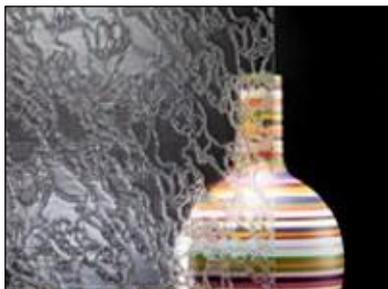
Figure.III.28.Cloison en verre
Source : <http://modernaatl.com>



float-bronze



Flute



delta



niagara

Figure.III.30.Exemples de verre décoratifs
Source : <http://www.fastral.be>

III.4.2. Au mur extérieur :

La résistance mécanique du verre permet de concevoir de grandes surfaces sur des structures élégantes, le tout dans un esprit de protection et de sécurité.¹

- Double vitrage pour baie vitrée sans menuiserie apparente

Le double vitrage permet aux architectes de concevoir de très grandes ouvertures vitrées sans menuiseries apparentes, avec une visibilité vers l'extérieur maximale, en accolant plusieurs panneaux vitrés les uns aux autres. Les baies d'angle peuvent bénéficier de ce type de vitrage, destiné aux chantiers d'exception et nécessitant un avis technique.

Il peut être assemblé au choix avec du verre trempé ou feuilleté. Son coefficient de transmission thermique élevé assure une bonne protection au froid (figure.III.31).²



Figure.III.31. Mur extérieur en verre feuilleté

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

III.4.3. Le verre Autonettoyant :

L'autonettoyage est une autre offre de verre, est un verre qui, de par un revêtement microscopique spécial, a la capacité de dégrader les salissures organiques et donc de rester propre plus longtemps qu'un verre ordinaire. Ce revêtement est en réalité une couche photocatalytique spéciale à base de dioxyde de titane (TiO₂) sur sa face extérieure.

Le principe de la photocatalyse entraîne la disparition des produits organiques de la vitre. L'eau tombant constitue progressivement un film qui est gravité oblige, finit par glisser le long du verre en le lavant. Ainsi, toute l'eau s'écoule, il n'y a pas évaporation et donc pas de traces.³

- Avantages :

¹ Article consulté sur site, <https://www.batiproduits.com>

² *Ibidem*

³ Article consulté sur site: <https://www.internorm.fr>

- Idéal pour les endroits difficilement accessibles
- Un entretien moins important qui vous permet d'économiser les produits d'entretien
- La condensation sur la face extérieure disparaît plus vite.

- **Inconvénients :**

Les revêtements photocatalytiques ne dégradent que les salissures organiques. C'est pourquoi les salissures minérales peuvent avoir tendance à recouvrir progressivement le revêtement

et risquent au bout d'un certain temps de le désactiver.¹



Figure.III.32.verre autonettoyant
Source : <https://www.batiproducts.com>

Conclusion

D'après les points abordés et explorés dans ce chapitre, il s'avère que le verre est jouit de nombreuses possibilités d'utilisations dans l'architecture, que ce soit en architecture intérieur ou en construction des façades et de toits.

Le verre n'est plus le matériau fragile posé dans de petites ouvertures aménagées dans une paroi afin de laisser pénétrer un peu de lumière naturelle dans les intérieurs.

Dans l'actuelle, le verre est devenu lui-même paroi, voire façade.il contribue à alléger les charges sur les éléments porteur, Il doit donc en assumer toutes les fonctions telles que la protection contre le froid, la chaleur, l'eau, le vent, l'excès de lumière, parfois la transparence, le bruit, le feu, les rayonnements nocifs, le vandalisme, l'effraction, etc. et ce de manière économique, durable et esthétique.

Lorsqu'il s'agit d'esthétique, de performance ou de fonction, L'utilisation du verre dans les bâtiments à usage commercial et résidentiel, à l'intérieur comme à l'extérieur, peut influencer sur le design, l'apparence, la sécurité, mais aussi sur le confort et la qualité de vie des occupants.

¹ Article consulté sur site: <https://www.internorm.fr>

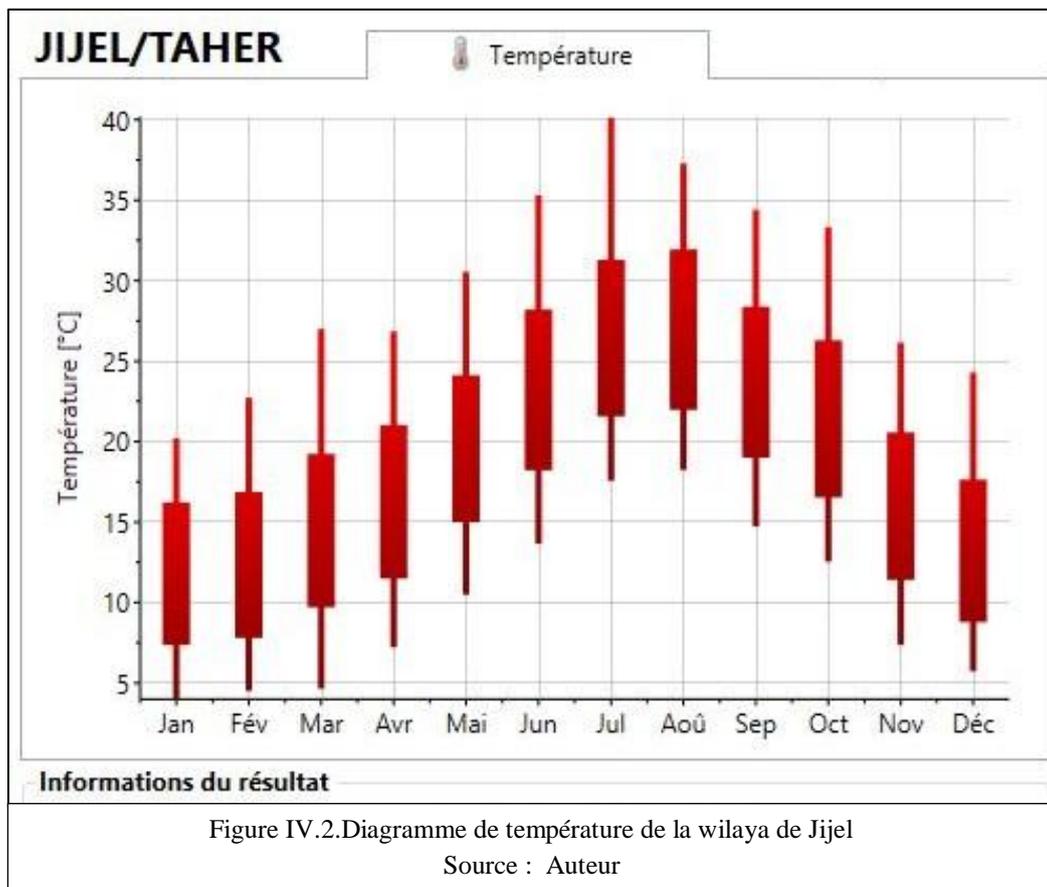
CHAPITRE IV :
SIMULATION NUMERIQUE DU CAS
D'ETUDE
(SALLE PEDAGOGIQUE DU POLE
UNIVERSITAIRE DE TASSOUST) .

IV.2.2. Analyse du climat

La région de TASSOUST s'intègre au climat de la zone Jijel- Taher qui est de type méditerranéen subhumide.

Le climat de la région est soumis à deux influences : celle de la mer méditerranéenne et celle du relief, donc cette influence se traduit par la création de deux types de climat on a :

- Un climat littoral : correspond aux plaines enclavées de la bordure maritime.
- Un climat de montagne : correspond à la zone tellienne.



IV.3. Présentation de cas d'étude

Dans le but de cerner les problèmes de surchauffement et les déperditions de chaleur d'un local, et pour examiner le comportement et l'influence de type de vitrage sur l'économie d'énergie, nous avons choisis comme cas d'étude une salle pédagogique dans la faculté des sciences sociologiques.

La salle cas d'étude se situe au 3ème étage de bloc, le choix a été fait en fonction de l'orientation de la salle. Donc, pour mieux avoir un rayonnement solaire et bien expérimenter l'influence du vitrage, nous avons choisi une salle d'orientation sud, celle se caractérise par une bande d'ouvertures de simple vitrage.

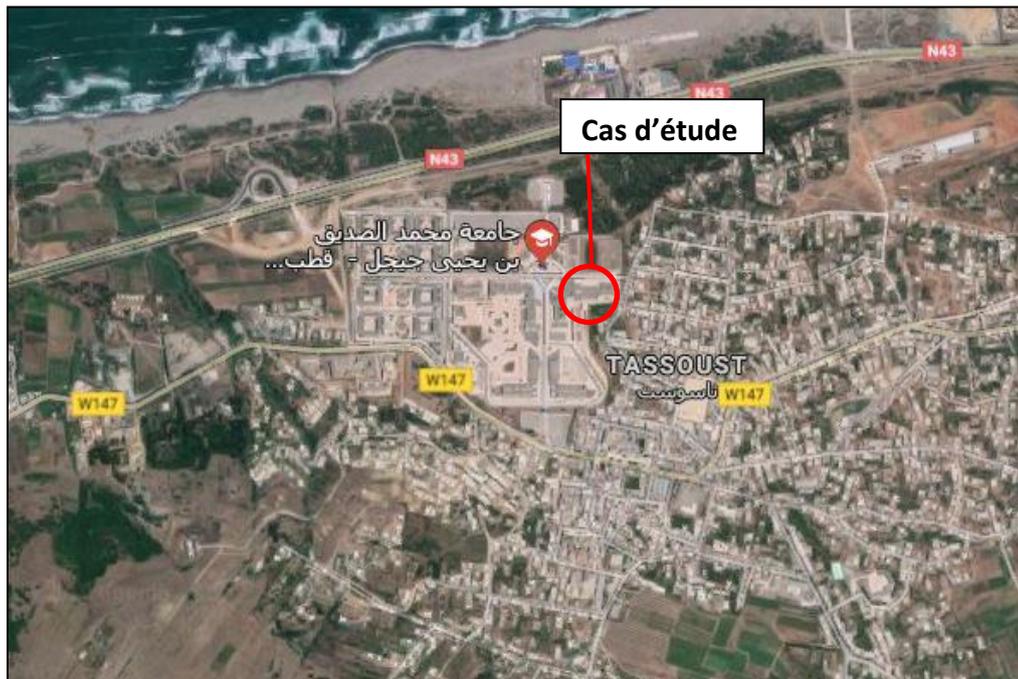
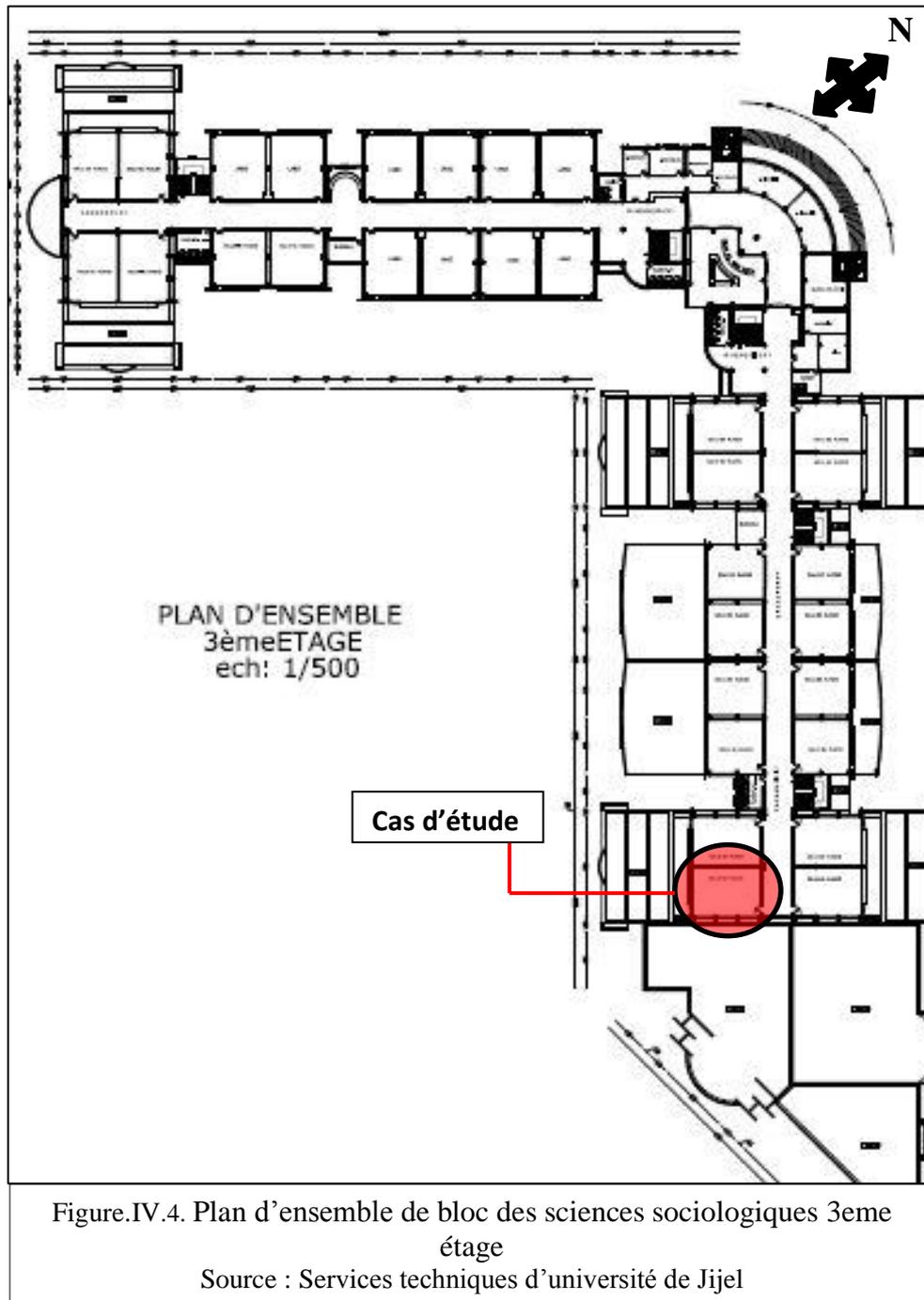
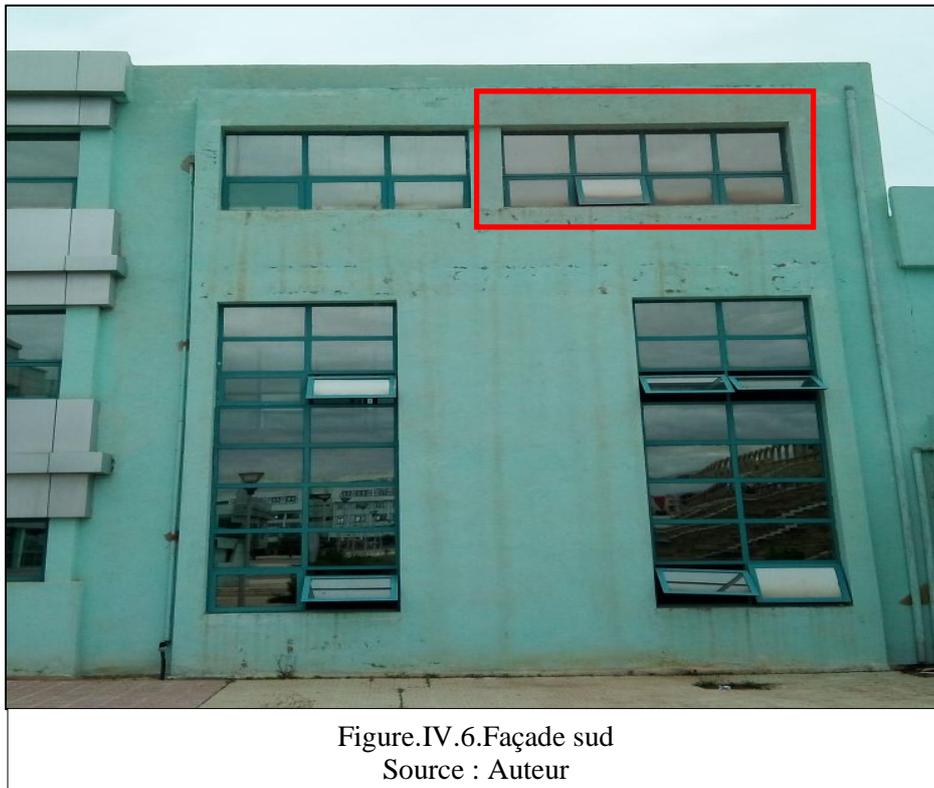
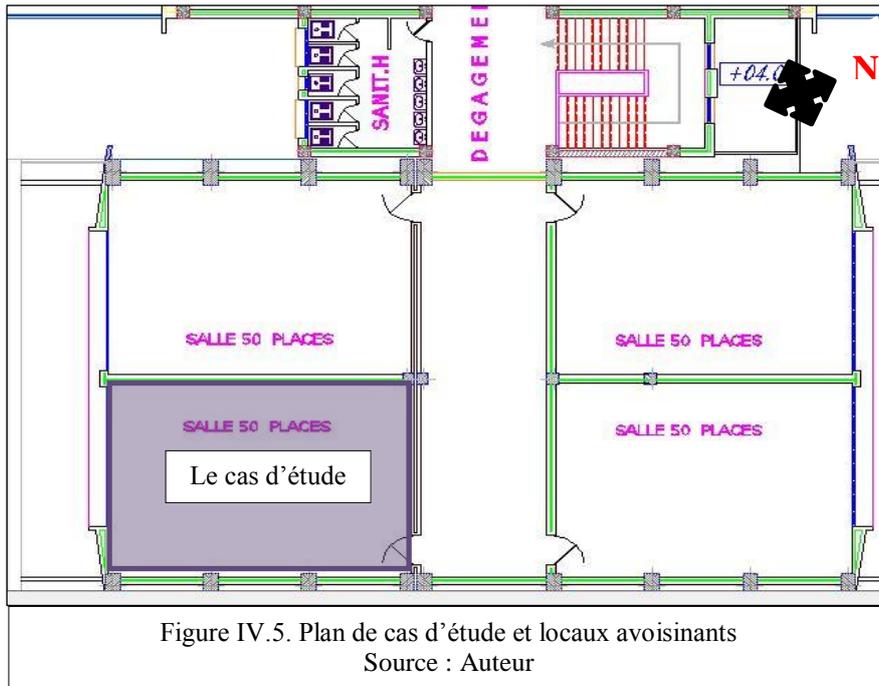


Figure IV.3. Localisation géographique de la faculté des sciences à Tassoust-Jijel
Source : Google earth.



➤ Détail du projet



La salle se trouve au dernier étage et ouverte en plein Sud, au niveau de la façade, le pourcentage des ouvertures qui fait 26% de surface de mur, sont dépourvues des éléments brises soleil, ce qui l'expose aux grandes quantités des rayonnements solaire notamment au période estivale.

IV.4.La présentation de la simulation et de la méthodologie d'étude

IV.4.1.Objectif de l'étude

L'objectif de la présente étude est d'évaluer l'évolution des températures en fonction des mesures d'efficacité énergétique, (les éléments entrants dans la détermination de l'efficacité énergétique), afin de refléter au plus près la réalité du bâtiment publique en Algérie:

1-L'évaluation des températures actuelles du cas d'étude, en fonction du changement du climat et des données temporaires, (selon les jours typiques).

2-L'évaluation des températures, (en mesure des paramètres variables...), à partir d'un teste des différentes réponses et solutions architecturales (alternatives) proposées.

IV.4.2.Le logiciel de simulation

Il existe un nombre important de logiciels dédiés à la simulation énergétique. Les logiciels existants se diffèrent entre eux par les algorithmes qu'ils utilisent, par leur interface utilisateur et finalement par leurs vocations et leurs domaines d'application. Nous avons optée pour le choix du logiciel ECOTECH ANALYSIS 2011,

Grâce à sa convenance avec notre méthodologie du travail : c'est un outil d'analyse environnementale qui offre un large éventail de fonctionnalités de simulation et d'analyse qui peut améliorer les performances énergétiques des bâtiments (calculer la consommation d'énergie, Performance thermique, consommation d'eau et évaluation des coûts, rayonnement solaire, éclairage naturel, ombres et réflexions...)

Il permet, aux concepteurs de travailler facilement en 3D, et appliquer tous les outils nécessaires en un temps efficace. Il compte d'une série d'outils d'analyse et de traitement de données qui simplifient plus d'un autre logiciel le travail des architectes.

Il appartient à la famille Autodesk, ce qui simplifie l'interaction avec les fichiers en 2D (DWG).

IV.4.3.Méthodologie de l'étude des besoins énergétiques

L'étude des besoins énergétiques du notre cas d'étude passe par plusieurs étapes à partir de la collecte des données nécessaires et les insérer dans l'ECOTECT passant par la phase de modélisation et venant à la réalisation de séries de simulations thermiques dynamiques :

- Premièrement, une simulation du cas d'étude, qui repose sur un modèle existant, de laquelle on déduit la consommation de ce dernier.
 - Deuxièmement, Des simulations des scénarios proposés pour projet, exploitants les mesures d'efficacité énergétique et de laquelle on déduit la consommation de ces cas.
- Enfin, faire des comparaisons entre les différents résultats afin de ressortir les renseignements finals de notre recherche et qui peuvent vérifier les hypothèses et les notions déjà notés dans la problématique et développés dans les différents chapitres de la partie théorique.

L'étape	L'explication
Paramétrage de logiciel avant la modélisation	<p>Introduire des "inputs" (Entrées) :</p> <p>1-La description du projet : son nom, son objectif, sa destination, etc.</p> <p>2-les fichiers météo sous format WEA: les températures, le régime des vents, l'humidité, l'ensoleillement, etc.</p> <p>3-L'orientation : qui a été considérée comme une donnée variable, notre projet est orientée Nord-sud dans le cas initiale.</p> <p>4-La nature du site : Nous avons opté pour une configuration de type urbain.</p>
Importation des plans	<p>Les plans du bâtiment cas d'étude, dessinés à l'aide de logiciel AUTOCAD, ont été importés vers ECOTECT sous format DXF.</p>
Modélisation du bâtiment	<p>1-Echelle architecturale: à cause de son complexité et les difficultés d'interaction avec les détails dans ECOTECT on a fait les modélisations nécessaires avec le logiciel 3DMAX qui est plus professionnel en termes de modélisation.</p> <p>2-Echelle urbain: modélisation dans ECOTECT car on a besoin d'une forme non complexe qui permet d'évaluer l'aspect extérieure (ensoleillement, ombrage...)</p>

CHAPITRE IV : LA SIMULATION NUMERIQUE DU CAS D'ETUDE

	<p>-la modélisation en ECOTECH obéit à la logique des zones thermiques telles que chaque zone a ses propres caractéristiques (température, humidité, la vitesse d'air, taux d'occupation, présence d'appareils de climatisation...) et composée de partitions (murs, fenêtre, plancher..) et pour chaque partition un matériau doit être affecté (une bibliothèque de matériaux assez riche et personnalisable est intégré dans le logiciel).</p>
<p>Le déroulement des Simulations.</p>	<p>1-L'évaluation de confort actuelle du cas d'étude en fonction du changement du climat et des données temporaires. 1-L'ensoleillement et l'impact de l'environnement immédiate. 2-L'impact des radiations solaires. 3-L'évaluation du confort.</p> <p>2- L'évaluation de confort thermique (en mesure des paramètres variables....) à partir de tester les différentes réponses (alternatives) proposées. 1-Les types des fenêtres. 2-Les surfaces vitrées. 3-L'orientation. 4- Matériaux de construction et isolation</p>
<p>Analyse et interprétation des données et des résultats finales.</p>	<p>-discussion des résultats initiaux du cas de base. -discussion des résultats d'après l'intégration des mesures variables afin d'étudier leur influence sur le comportement énergétique. Ce qui permet de choisir les solutions les plus efficaces pour chaque mesure et qui composent finalement notre cas optimisé.</p>

IV.5. Evaluation des performances énergétiques du cas d'étude et des cas optimisés

D'après la présentation du cas d'étude dans le chapitre précédent, on procédera dans le chapitre présent à des simulations qui nous permettront de vérifier cas par cas les performances de chaque type de vitrage en fonction de ses caractéristiques. Cela permettra d'obtenir les résultats du modèle de base relatives à l'ensoleillement en kWh/h, L'impact des radiations solaires, le confort thermique. On présente d'abord, les graphes de performances relatifs aux critères pris en considération puis on les analyse.

Deuxièmement, l'étude paramétrique consiste à étudier une-à-une l'impact des différentes solutions architecturales (alternatives) (matériaux d'isolation, protections solaires et types de vitrage) sur la mutation des température, afin de ressortir le cas optimisé qui sera la somme des cas optimaux de chaque mesure.

IV.5.1. Evaluation de la performance énergétique du cas d'étude

IV.5.2. L'ensoleillement et l'impact de l'environnement immédiate

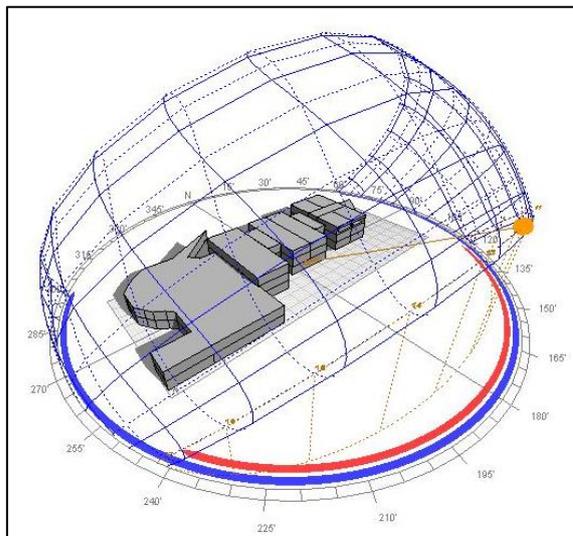


Figure.IV.7.L'ensoleillement dans la période hivernale,
Source: Auteur

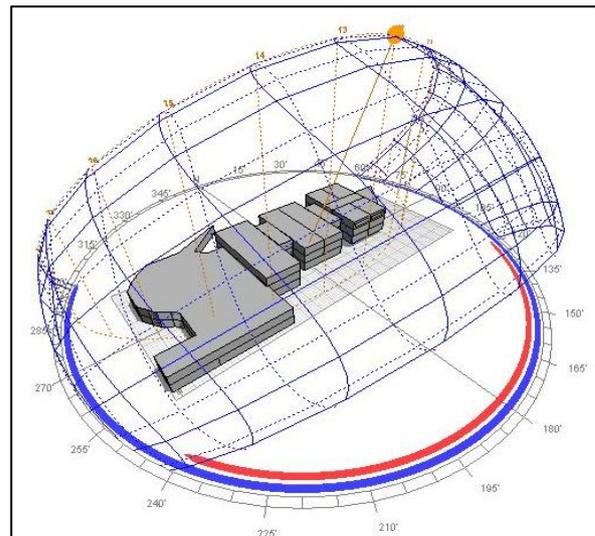


Figure.IV.8.L'ensoleillement dans la période estivale,
Source: Auteur

En tant que source d'énergie, l'ensoleillement est un facteur climatique dont on a intérêt à tirer parti (de manière passive, via les ouvertures vitrées, et/ou de manière active pour produire de l'énergie), mais il est par contre un source de surchauffement en été.

En modélisant l'ensoleillement du site, notre salle (cas d'étude) comme le montre le parcours solaire (figure.IV.9), est pleinement exposé au rayonnement solaire, avec

l'absence total de brise de soleil. En conséquence, Cela suscite un surchauffement d'espace intérieur en agaçant le confort des occupants.

IV.5.3.L'impact des radiations solaires

a- Les radiations solaires à l'intérieure

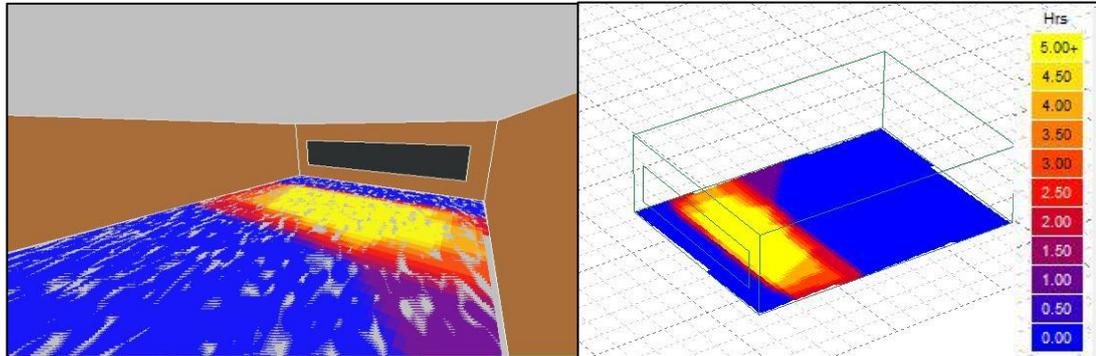


Figure.IV.9.Les radiations solaires à l'intérieure (en été),
Source: Auteur

La figure.IV.9 montre que :

-Il y'a un grand rapprochement entre les quantités des radiations à l'intérieure et à l'extérieure de l'enveloppe, ce qui s'explique :

- 1-Par la fragilité de système d'isolation.
- 2-La grande surface des façades exposées aux radiations directes.
- 3-L'orientation NORD-SUD contribue à augmenter ces radiations dans la façade sud.

IV.6. Modèle de construction prévue pour la simulation

IV.6.1. Composition des éléments constructifs de l'enveloppe du modèle cas d'étude (Scénario 1)

L'enveloppe du modèle cas d'étude est constitué de system de construction standard repandu en algerie, les murs sont constitués d'une double paroi de brique creuse séparée par une lame d'air.

Le mur intérieur se constitue d'une paroi de brique creuse de 10 cm, le revêtement est en enduit de ciment à l'extérieur, et de plâtre à l'intérieur.

Les fenêtres sont équipées d'un simple vitrage clair de 4 mm d'épaisseur, les portes sont en bois de 4cm d'épaisseur.

➤ Caractéristique du mur extérieur :

Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type
1. Enduit ciment	20.0	1900.0	864.000	0.800	35
2. Brique creuse	100.0	650.0	1008.000	0.390	85
3. lame d'air	50.0	1.0	1000.000	0.047	5
4. Brique creuse	150.0	650.0	1008.000	0.390	85
5. Enduit ciment	20.0	1900.0	864.000	0.800	35

Figure.IV.10.Caractéristique du mur extérieur

Source : Auteur

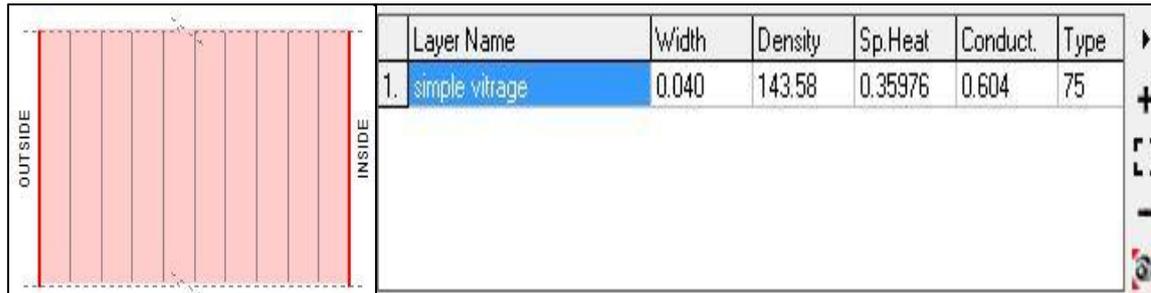
➤ Caractéristique du mur intérieur :

Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type
1. Enduit ciment	20.0	1900.0	864.000	0.800	35
2. Brique creuse	100.0	650.0	1008.000	0.390	85
3. Enduit ciment	20.0	1900.0	864.000	0.800	35
4. enduit platre	20.0	1150.0	1008.000	0.570	55

Figure.IV.11.Caractéristique du mur intérieur

Source :Auteur

➤ **Caractéristiques du system de vitrage:**

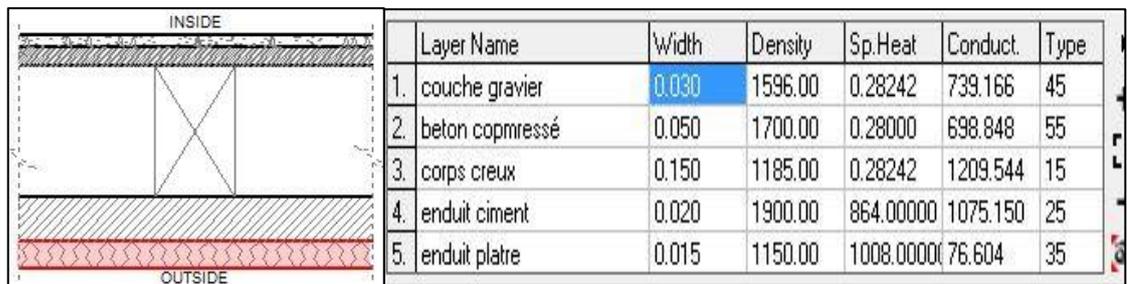


Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type
1. simple vitrage	0.040	143.58	0.35976	0.604	75

Figure.IV.12.Caractéristique du system de vitrage

Source :Auteur

➤ **Caractéristique du plancher toiture :**



Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type
1. couche gravier	0.030	1596.00	0.28242	739.166	45
2. beton copressé	0.050	1700.00	0.28000	698.848	55
3. corps creux	0.150	1185.00	0.28242	1209.544	15
4. enduit ciment	0.020	1900.00	864.00000	1075.150	25
5. enduit platre	0.015	1150.00	1008.00000	76.604	35

Figure.IV.13.Caractéristique du plancher toiture

Source :Auteur

IV.6.2.La composition de l'enveloppe de scénario 2 (cas optimisé)

Comme notre recherche se base sur le role de verre et le system de vitrage des baies pour l'amélioration thermique des batiments publiques, dans la composition de scénario 2.on va garder les memes caractéristiques constructives de cas d'étude,les murs et planchers, à l'exception le changement de system de vitrage,qui est cette fois, il sera substituer par system de double vitrage avec lame d'air d'argon, afin de pouvoir comparer les resultats deduits du simulation de scénério 1.

➤ **Caractéristiques du system double vitrage à lame d'air (scénario 2) :**

Les double vitrages sont des vitrages sur lesquels on a ajouté un film d'oxyde métallique afin de contenir le rayonnement infrarouge (chaleur) à l'intérieur du bâtiment. Pour encore renforcer l'isolation d'un double vitrage, on peut remplacer l'air entre les deux vitres par un gaz rare (argon) afin de diminuer la convection entre celles-ci. On peut ainsi obtenir en couplant ces techniques des vitrages très performants avec un $U_g = 1.6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°K}$.

U-Value (W/m2.K):	3.000	
Admittance (W/m2.K):	3.000	
Solar Heat Gain Coeff. (0-1):	0.81	
Visible Transmittance (0-1):	0.639	
Refractive Index of Glass:	1.74	
Alt Solar Gain (Heavywt):	0.42	
Alt Solar Gain (Lightwt):	0.56	
Thickness (m):	0.000	
Weight (kg):	0.000	

	Internal	External
Colour (Reflect.):	(T:0.639)	(T:0.639)
Emissivity:	0.78	0.78
Specularity:	0	0
Roughness:	0	0

Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type
1. Glass Standard	0.004	2300.0	836.800	1.046	75
2. Air Gap	0.012	1.3	1004.000	5.560	5
3. Glass Standard	0.004	2300.0	836.800	1.046	75

Figure.IV.14.Caractéristiques de type de double vitrage à lame d'argon.
Source :Auteur

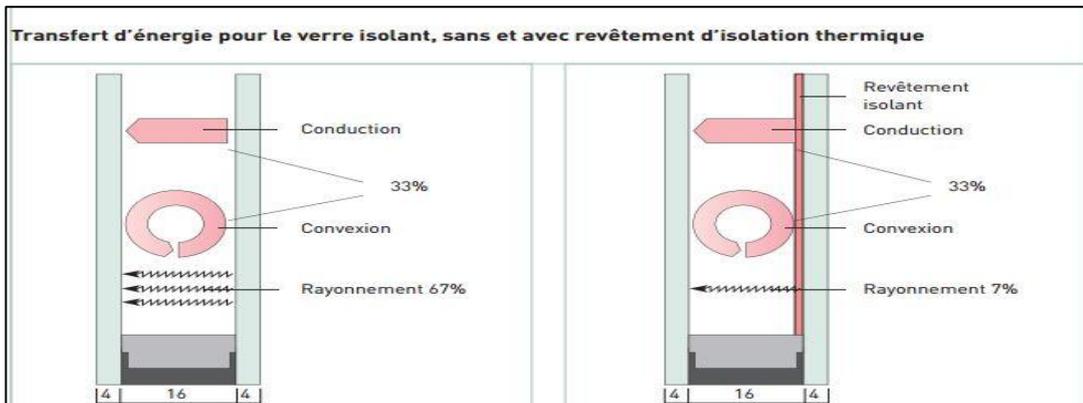


Figure.IV.15.Double vitrage lame d'argon
Source : <http://www.vgi-fiv.be>

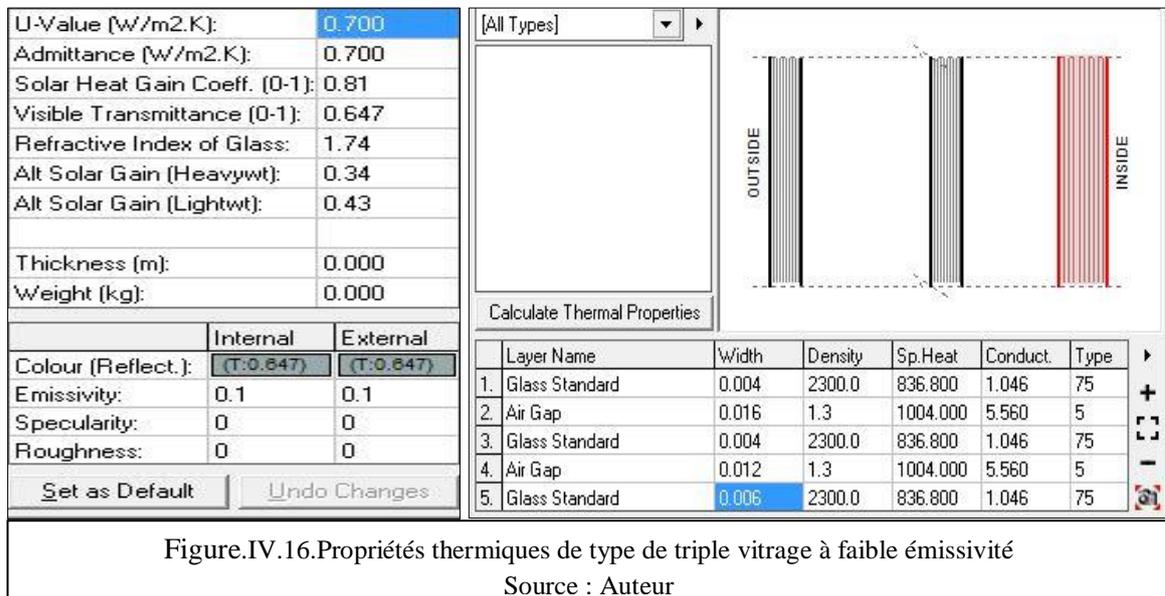
IV.6.3.La composition de l'enveloppe de scénario 3 (cas optimisé)

La meme chose pour ce scénario, on garde les caractéristiques constructives initiales de cas d'étude avec l'expérimentation d'un notre system de vitrage,dans ce cas, on utilise le system triple vitrage à faible émissivité.

➤ **Caractéristiques du system triple vitrage à faible emissivité :**

Les performances thermiques du triple vitrage due à un haut assemblage de gamme (il est composé de trois vitres espacées de lames remplies d'air, de gaz krypton ou d'argon).

Le triple vitrage offre une très bonne isolation thermique, la déperdition de chaleur est très faible ce qui entraine des réductions importantes de chauffage, il est recommandé en région froide sur des façades peu ensoleillé.



IV.3.4. Evaluation des résultats de simulation des trois scénarios

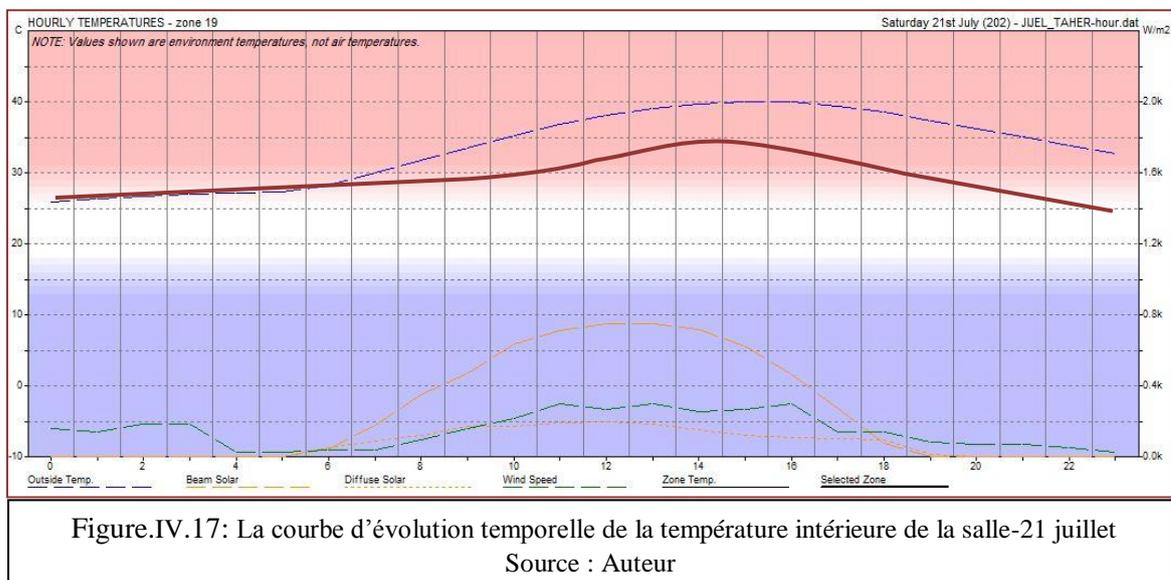
Les résultats de la simulation via ECOTECT 2011 se représentent en courbes d'évaluation de température, désignées en 3 zones qui se distinguent par couleur (le rouge est la zone d'inconfort avec sensation du chaud, le blanc au milieu désigne la bande optimale du confort, et le bleu, la zone d'inconfort avec sensation du froid).

L'étude s'effectuera pendant les journées spécifiques du 21 (décembre, et juillet).

La bande de confort est entre [18°C à 26°C].

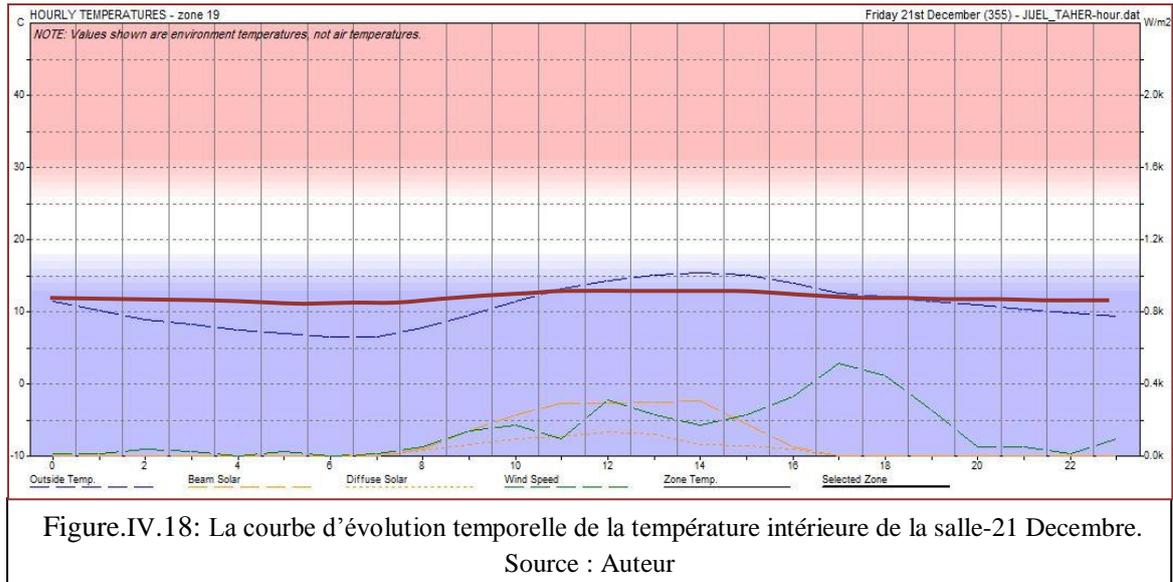
IV.3.4.1. Scénario 1 : Cas initial

- Période estivale : 21 juillet



On remarque, que les températures intérieures durant la journée du 21 juillet pour la salle se varient dans la zone d'inconfort, avec une température maximale d'environ 35°C atteint à 14h, qui crée également une sensation chaud pour les occupants.

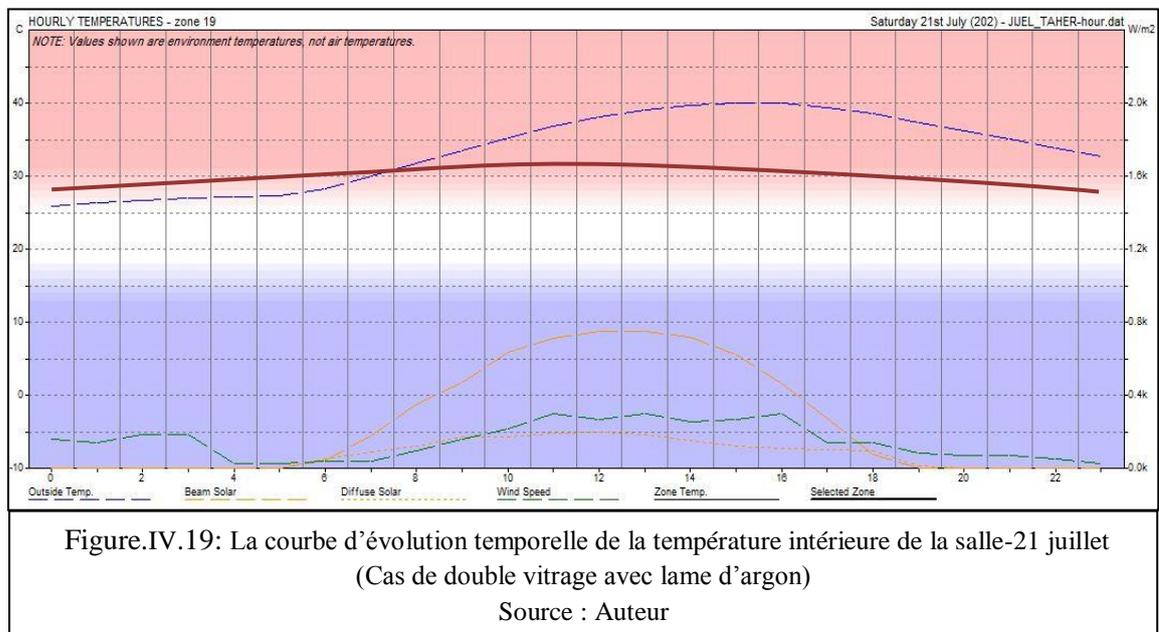
- Période hivernale : 21 Decembre



Durant la période hivernale, on remarque que les températures intérieures de la salle sont loin de la zone de confort pendant toute la journée, avec une degré maximale atteinte de 13°C à 13h ,cela va créer une sensation de froid pour les occupants.

IV.3.4.2.Scénario 2 :Cas de double vitrage avec lame d'argon

- Période estivale : 21 juillet



D'après le diagramme on remarque que l'évolution de température s'alterne dans les environs de la zone d'inconfort, mais avec une reduction moyenne de température par rapport au scénarion1, où on enregistre une degré maximale de 31°C à midi.

- Période hivernale : 21 Decembre

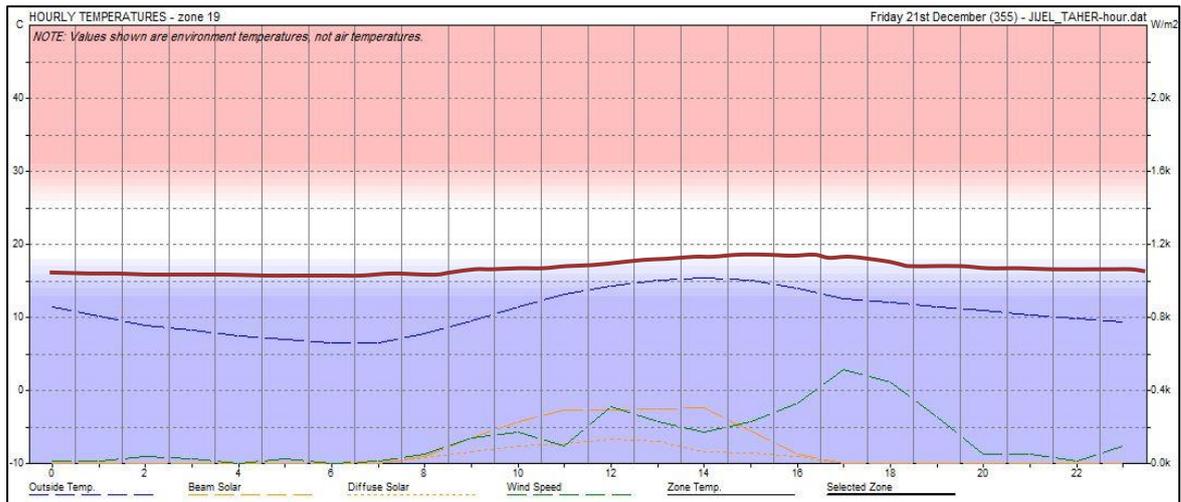


Figure.IV.20: La courbe d'évolution temporelle de la température intérieure de la salle-21 Decembre (Cas de double vitrage avec lame d'argon)
Source : Auteur

D'après le diagramme on remarque une augmentation moyenne de température intérieure de la salle par rapport au scénario1, où Les températures durant la journée se varient entre 16°C et 19°C.

IV.3.4.3.Scénario 3 : Cas de triple vitrage avec lame d'argon

- Période estivale : 21 juillet

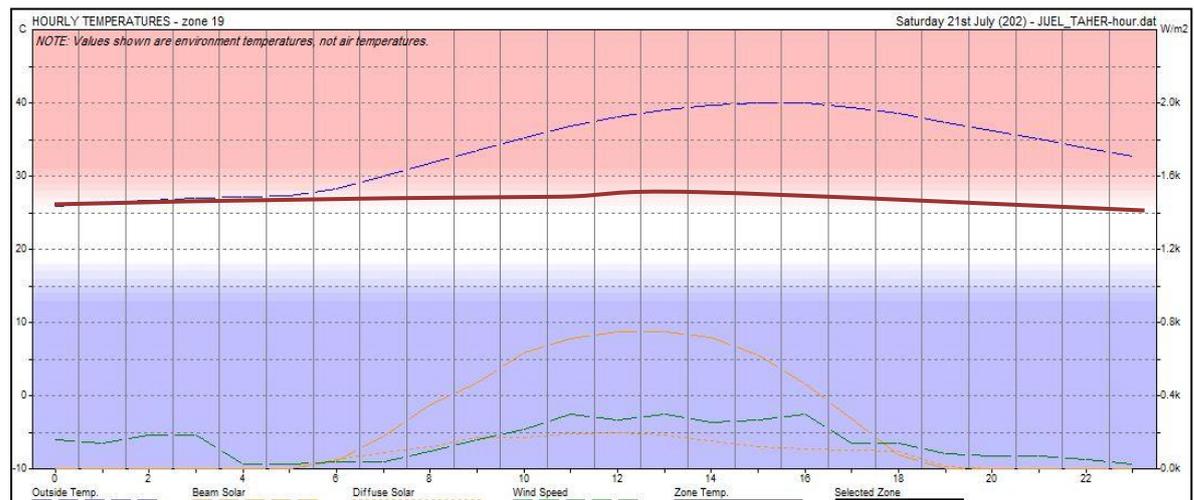


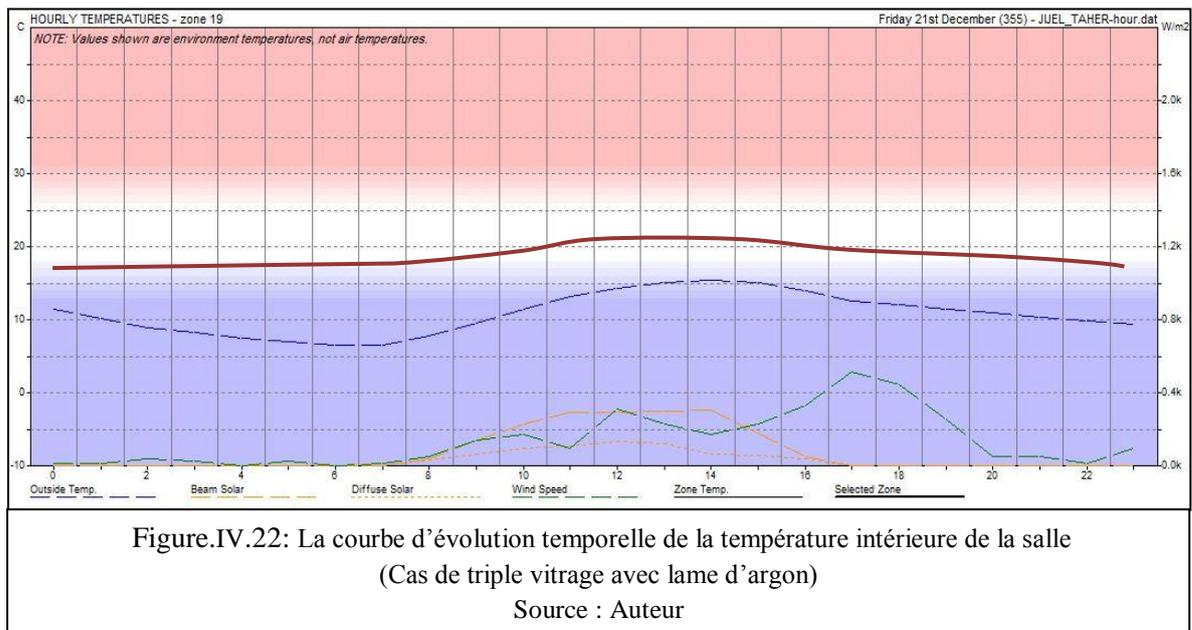
Figure.IV.21: La courbe d'évolution temporelle de la température intérieure de la salle (Cas de triple vitrage avec lame d'argon)
Source : Auteur

CHAPITRE IV : LA SIMULATION NUMERIQUE DU CAS D'ETUDE

Dans le cas de triple vitrage avec lame d'argon, on remarque une abaissement de température intérieur de la salle qui evolue dans la zone de confort pendant toute la journée, avec des degrés de température entre 25°C et 28°C, la température extérieure se varient entre 26°C et 40°C,

D'après la bande de température de confort, on enregistre une sensation de confort.

- Période hivernale : 21 Decembre



Le diagramme montre une amélioration agréable de température intérieure de la salle.

Durant toute la journée on remarque que les températures intérieures sont à la zone de confort entre 18°C et 26°C.

IV.4.Synthèse

Les résultats obtenus dans cette simulation, ont montré que l'amélioration thermique de local s'augmente au fur et à mesure que l'isolation de vitrage s'augmente, ce qui influe directement sur la température ambiante à l'intérieur du bâtiment.

Et ce qu'il faut bien retenir d'après cette comparaison, que l'enveloppe le mieux isolé importe le meilleur sommet de confort et que l'isolation thermique des vitrages prouve sa contribution dans l'amélioration thermique.

IV.5.Conclusion

La simulation élaborée à l'aide de l'outil Ecotect2011, est une étape importante de notre étude. Elle permet de bien comprendre le comportement thermique des enveloppes à travers une étude comparative concrétisée sur le système de vitrage.

Dans ce chapitre consacré aux mesures des températures à l'intérieur d'une salle de classe, nous avons noté les résultats de trois types différents de vitrage, cela résume que, Pour obtenir une enveloppe thermiquement performante, il faudrait incorporer dans cette enveloppe un dispositif d'isolation thermique performant, de façon à réduire sa conductivité thermique et par conséquent sa diffusivité thermique.

CONCLUSION GENERALE

Le verre occupe depuis toujours une place à part dans l'architecture grâce aux possibilités uniques qu'il offre pour la construction de bâtiments légers, ouverts et lumineux, mais les formidables développements dont il a récemment fait l'objet, ont suscité un tel engouement de la part des ingénieurs et architectes, qu'il est devenu le matériau favorable des constructions d'aujourd'hui.

En satisfaisant aux exigences de sécurité ou en donnant la possibilité de construire des façades aux transparences modulables, le verre a démontré qu'il pouvait s'adapter aux besoins modernes et faire preuve de remarquables capacités d'innovation.

En matière d'isolation thermique, le point sur lequel on a basé essentiellement dans notre recherche, le maintien d'une ambiance intérieure confortable est difficile, en particulier lorsque les températures fluctuent en fonction du jour, et de la saison. Les éléments vitrés (fenêtres, porte-fenêtre) sont un des principaux points sensibles de l'enveloppe d'un bâtiment. Ils doivent répondre à des objectifs multiples de confort : apports de chaleur et de lumière naturelle, vue sur l'extérieur, aération, isolation thermique, protection contre le climat, le bruit. Le double et triple vitrage isolant sont les moyens les plus pertinents pour améliorer l'efficacité énergétique des fenêtres et faire ainsi de notre espace de vie ou de travail un endroit plus confortable toute l'année.

Une meilleure isolation thermique se traduit par une réduction du nombre des ponts thermiques et de courants d'air. La condensation, elle aussi, s'en trouve diminuée : la surface intérieure du verre reste plus chaude, ce qui limite la condensation intérieure et prolonge la durée de vie du verre, l'efficacité énergétique renforce le besoin de vitrages thermiquement isolants, donc à faible émissivité. Grâce aux avancées en matière de verre à faible émissivité, les fenêtres et les façades jouent désormais un rôle plus important dans la conservation de l'énergie et le maintien de confort, en réduisant les pertes de chaleur.

Dans la phase d'avant-projet, La simulation d'efficacité énergétique est un outil nécessaire pour le choix de vitrage ainsi que sa surface, qui s'adaptera avec les données climatiques environnantes, en minimisant les trois consommations d'énergie (chauffage, climatisation et l'éclairage).

Sur le côté esthétique, des façades ou bien le design intérieur des bâtiments, les ingénieurs et les architectes font recours plus en plus vers l'utilisation de verre pour revêtir l'enveloppe extérieure, grâce à ses avantages et ses différents types qu'il offre, pour alléger les charges des murs massifs de construction et assurer une belle apparence du bâtiment.

Répondant donc sur la problématique soulevée au début, en tant qu'élément de style dans l'architecture, le verre peut répondre aux besoins humains en termes de confort thermique, les résultats obtenus de la simulation numérique pour l'optimisation de cas d'étude, prouve la contribution positive du verre de vitrage pour l'amélioration thermique des locaux, à travers la multiplication des couches.

Cette évolution industriel de verre ouvre également de larges possibilités aux concepteurs d'augmenter l'utilisation de ce matériau en grandes surfaces tout en respectant les conditions de confort et bien être à l'intérieur.

Références bibliographiques

- [1]- **CHRISTIAN S, DIETER, B.** «*Construire en verre*». Lausanne. Presses polytechniques et universitaires romandes. 2001, 327 p.
- [2]- **CSTC**, « Le verre et les produits verriers – les fonctions des vitrages » . Bruxelles, 1999, 110 p.
- [3]- **CROIX JEAN-Charles., BASSIL Charles.** «*Gestion et performances des façades active de type double peau*». Ecole des mines douai. 2008.
- [4]- **Docomomo**, Groupe de travail pour la documentation et la conservation des bâtiments, Québec, « *Verre et lumière dans l'architecture moderne* » , édition 2010, 60p.
- [5]- **ELISABETH., Gratia.** «*Thermique des immeubles de bureaux*», presses de l'université catholique de Louvain. 2006, 313p.
- [6]- **FRANZ. Graf. (1998).** «*Doubles parois, verres, transparences*». Journal d'architectures. FACES n°45. 1998., 88p.
- [7]- **FRANÇOIS ALAIN FREDERIC**, thèse doctorat «*caractérisation et modélisation d'une fenêtre parietodynamique à trois vitrage* », Université d'Artois, France, 2014.
- [8]- **GLAVEBEL**, «*Verre et isolation thermique* », 2004, 10p.
- [9]- **GERARD., Karsenty.** «*La fabrication du bâtiment*», Le second œuvre. Edition Eyrolles, 1997, 579P.
- [10]- **GLASTRÖSCH.** «*Le verre et ses applications* ». 4^e édition. Glas Trösch Holding AG, Conseil, Bützberg, 2013. 385 p.
- [11]- **GLASSOLUTIONS**, La démarche HQE, «*Le vitrage, un atout majeur pour l'habitat durable*», France, 2015, 35p.
- [12]- **GLASS HANDBOOK**, document de référence des produits verriers pour le bâtiment France, 2018, 250p.
- [13]- **MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU SYSTÈME “BAIE”** « La fenêtre et la gestion de l'énergie » - Guide pratique pour les architectes, 72p.
- [14]- **MARIE., Moignot.** «*De la façade à l'enveloppe* » : typologies & pathologies. Mémoire I.S.A. Saint-Luc Bxl. 1998.
- [15]- **MONIKA., Woloszyn**, « Vers un Régulateur de Façade Intelligente : double peau équipée de protections solaires modulables », thèse de doctorat. 2007.
- [16]- **NASSIM. Safer.**, Thèse en Génie Civil «*Modélisation des façades de type double-peau équipées de protections solaires* » Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2006

[17]- ODILE BESEME, « *Architecture et lumière* », 2009, 102p.

[18]- R. Schall. « *Les Murs Rideaux* », Éditions Dunod, 1966, 248 p.

[19]- ZOUZOU Abdelkrim, «*Solutions hybrides pour maintenir le Confort Thermique et Visuel*»,mémoire master academique,Université de ouargla, 2015.

Site internet :

- <https://fr.saint-gobain-building-glass.com>
- [https:// www.behq.com.](https://www.behq.com)
- <https://www.energieplus.com>
- <http://www.medglassindustry.com>
- <http://www.vanpellicom.be>
- <http://www.cmhcschl.gc.ca>
- <http://www.agc-glass.eu>

Résumé

En Algérie, un grand nombre de logements ne semblent pas répondre aux exigences du confort thermique, face à cette situation énergétique, le fort taux d'accroissement des aires urbaines, l'inadaptation des techniques de construction, le choix des matériaux et le climat offrent une grande Problématique de l'habitat, notamment sur le plan énergétique qui est faiblement exploré dans ce pays,

La notion de confort thermique dans les bâtiments, est liée fortement avec le choix optimal des matériaux pour réaliser des bâtiments qui rassemblent à la fois les qualités esthétiques et thermiques tout en offrant un cadre de vie plus confortable en étant consommateur de très peu d'énergie.

Ce travail de recherche que nous avons élaboré, se accentue sur le rôle de verre de vitrage constituant l'enveloppe extérieur du bâtiment pour le bien être thermique des occupants. À l'aide du logiciel de simulation Ecotect Analysis2011, nous avons entrepris un cas d'étude, pour en déduire l'influence du type de system des vitrages sur l'apport calorifique d'un bâtiment, et faire ressortir en conséquence les recommandations à prendre en compte.

Les mots clés : verre - isolant thermique - confort thermique.

ملخص :

في الجزائر, عدد كبير من السكنات لا تلبي حاجيات الرفاهية الحرارية الوضعية الطاقوية امام هذه الوضعية الطاقوية و قوة النمو العمراني بالإضافة إلى عدم فعالية مواد البناء المستعملة و تكيفها مع نوعية المناخ تطرح اشكالية إستهلاك الطاقة في السكنات و هو موضوع قلما يهتم به من طرف السلطات. إن مفهوم الرفاهية الحرارية في السكنات مرتبط بقوة بالاختيار الامثل لمواد البناء التي تجمع بين جانب العزل الحراري والجانب الجمالي بحيث توفر فضاء حيواتي مريح باقل كمية طاقوية مستهلكة. في هذا البحث المطروح سنركز على مادة الزجاج المستخدم لفتوحات الغطاء الخارجي للبنىات, باستخدام برنامج Ecotect Analysis2011 تناولنا نموذج محقق فالواقع كحالة لدراسة تأثير نوعية نظام زجاج النوافذ على الايرادات الحرارية والاشعاعات الصادرة من خلاله الى الداخل, من اجل الخروج بنيجة نبني من خلالها المتطلبات الواجب أخذها في الحسبان عند التشييد.

Abstract :

In Algeria, a large number of dwellings do not seem to meet the requirements of thermal comfort, faced with this energy situation, the high rate of growth of urban areas, the unsuitability of construction techniques, the choice of materials and the climate offer a big problem of the habitat, in particular on the energy plan which is weakly explored in this country,

The concept of thermal comfort in buildings is closely linked to the optimal choice of materials to create buildings that combine both aesthetic and thermal qualities while providing a more comfortable living environment by being a consumer of very little energy.

This research work that we have elaborated, focuses on the role of glazing glass constituting the outer envelope of the building for the thermal well being of the occupants. Using the Ecotect Analysis2011 simulation software, we have undertaken a case study, to deduce the influence of the glazing system type on the heat input of a building, and to highlight accordingly the recommendations to take into account.

Key words: glass - thermal insulation - thermal comfort.