



Université Mohamed Khider de Biskra.  
Faculté des sciences et de la technologie.  
Département d'Architecture.

# MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Technologies.  
Filière : Architecture et Urbanisme.  
Spécialité : ARCHITECTURE ET ENVIRONNEMENT.  
Réf. : .....

---

Présenté et soutenu par :  
**FELIACHI Amira**

Le : Samedi 20 juillet 2019.

**Le Thème :**

**L'effet de la double façade ventilée dans l'enveloppe architecturale sur le confort thermique.**

**Le Projet :**

**Centre commercial à Biskra.**

---

**Jury**

Mme MELIOUH Fouzia	MAA	Université de Biskra	Président
Mme GOUIZI Yamina	MAA	Université de Biskra	Rapporteur
Dr. DAKHIA Azzedine	MAA	Université de Biskra	Examineur

**Année universitaire : 2018 – 2019.**

## ***Dédicaces.***

*Du profond de mon cœur, je dédie ce modeste travail à :*

*Mes chers parents.*

*Les mots me manquent pour exprimer ma profonde reconnaissance à mon cher père et ma chère mère dont l'amour, la patience et le sacrifice s'inscrivent à chaque page de ce document, car aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de leur juste valeur pour leur exprimer ma gratitude pour l'amour dont ils ne cessent de me combler, et pour tous les efforts qu'ils fournissent pour moi. Que Dieu les procure bonne santé et longue vie.*

*Ma chère sœur « Nassima ».*

*Mon soutien moral, source de joie et de bonheur, celle qui s'est toujours sacrifiée pour me voir réussir. En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je te souhaite une vie pleine de bonheur et de succès. Que Dieu, le Tout Puissant, vous protège et vous garde.*

*Mon cher neveu « Sami ».*

*A qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite.*

*A la mémoire de ma chère grande mère « Paulette » et mon cher oncle « Fouad ». Que Dieu leurs accorde Sa sainte miséricorde et les accueille en Son vaste paradis.*

*A ma famille.*

*A mes Amis.*

*A tous ceux qui me sont chers.*

*Amira FELIACHI.*



## **Remerciements.**

*Je m'adresse à Dieu, le Tout Puissant pour le remercier de m'avoir donné le courage, le soutien et la patience pour mener à terme ce travail.*

*Je commencerais par remercier Mme GOUIZI Yamina, en tant qu'encadreur et directrice de ce mémoire, qui s'est toujours montrée à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce travail, ainsi que pour l'aide et le temps qu'elle a bien voulu me consacrer et sans qui, ce mémoire n'aurait pas vu le jour.*

*Mes remerciements s'adressent également aux membres du jury, de l'honneur que nous a fait Mme MELIOUH Fouzia en étant que présidente du jury et du Dr DAKHIA Azzedine d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Mes remerciements les plus vifs vont à tous mes enseignants pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.*

*Mes profonds remerciements vont à mon père, ma mère, ma sœur, mon neveu et toute ma famille.*

*Enfin, j'adresse mes remerciements à tous mes proches et amis, qui m'ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.*

*Amira FELIACHI.*

## Résumé.

Le choix d'une enveloppe performante thermiquement et esthétiquement constitue une décision importante dans le processus de la conception architecturale au vu de la complexité de ses aspects hyper interférés. Le concepteur est appelé à tenir compte et lier cette enveloppe à tous les aspects qui relèvent du fonctionnement, de l'économie, de l'environnement mais aussi de l'aspect esthétique et de la performance thermique et énergétique.

La maîtrise de l'ambiance thermique des bâtiments, à travers la façade, tout en minimisant la consommation énergétique est considérée comme un défi pour les concepteurs face à la performance énergétique. Parmi les recherches qui s'inscrivent dans l'optique thématique des enveloppes du bâtiment à haute performance, du point de vue énergétique et du confort thermique, la double façade ventilée répond au mieux à cet impératif car elle constitue le rôle de création d'une ventilation naturelle, le préchauffage de l'air introduit dans le bâtiment, l'optimisation du facteur de lumière du jour, l'amélioration du confort d'été et l'isolation thermique dont elle ne cesse de capter l'intérêt des études dans ce domaine.

Le but de cette étude est de démontrer le rôle de la double façade ventilée dans une enveloppe architecturale et son effet positif sur le confort thermique à l'intérieur du bâtiment tertiaire et sur la performance énergétique dont particulièrement dans les zones arides et semi arides telle que la ville de Biskra. Ceci est censé être réalisable à travers l'analyse de plusieurs projets qui ont utilisé ce dispositif architectural de la double façade ventilée et l'analyse des articles scientifiques qui parlent de ce sujet. Ces outils nous ont permis de vérifier les hypothèses et en déterminer les caractéristiques propres à cette façade afin d'améliorer les conditions du confort thermique qui devrait être assuré par le bâtiment. A travers ce modeste travail, nous avons essayé de déterminer les recommandations et les qualités sur le plan aussi bien thermique qu'esthétique de la double façade ventilée dans les zones arides et semi arides telle que Biskra.

**Mots clés :** La double façade ventilée, l'enveloppe architecturale, le confort thermique, le climat, les zones arides et semi arides.

## **Abstract.**

The choice of a thermally and aesthetically efficient envelope is an important decision in the process of architectural design in view of the complexity of its highly interfered aspects. The designer is called to take into account and link this envelope to all aspects that relate to the operation, the economy, the environment but also the aesthetic aspect and the thermal and energy performance.

Controlling the thermal environment of buildings, through the facade, while minimizing energy consumption, is considered as a challenge for designers in the face of energy performance. Among the research that is part of the thematic approach of high-performance building envelopes, from the energy point of view and thermal comfort, the ventilated double skin facade best meets this imperative because it constitutes the role of creation of a natural ventilation, the preheating of the air introduced into the building, the optimization of the daylight factor, the improvement of the summer comfort and the thermal insulation of which it does not cease to capture the interest of the studies in this field.

The purpose of this study is to demonstrate the role of the ventilated double skin facade in an architectural envelope and its positive effect on the thermal comfort inside the tertiary building and on the energy performance especially in the arid and semi-arid zones such as the city of Biskra. This is supposed to be feasible through the analysis of several projects that have used this architectural feature of the ventilated double skin facade and the analysis of scientific articles that speak of this subject. These tools enabled us to verify the hypotheses and to determine the characteristics specific to this façade in order to improve the thermal comfort conditions that should be ensured by the building. Through this modest work, we have tried to determine the recommendations and the qualities in terms of the thermal and aesthetic aspects of the double ventilated facade in arid and semi-arid zones such as Biskra.

**Keywords :** The ventilated double skin facade, the architectural envelope, the thermal comfort, the climat, arid and semi-aride zones .

## Table des matières.

<b>CHAPITRE INTRODUCTIF. ....</b>	<b>1</b>
1. Introduction. ....	1
2. Problématique. ....	2
3. Hypothèse. ....	2
4. Objectifs de la recherche. ....	2
5. Le choix de la méthodologie de la recherche. ....	3
6. La structure du mémoire. ....	3
<b>Chapitre I : CLIMAT ET CONFORT THERMIQUE. ....</b>	<b>4</b>
1. Le climat. ....	4
1.1. Le climat et les données climatiques. ....	4
1.1.1. Le climat. ....	4
1.1.2. Les facteurs du climat. ....	4
1.1.3. Les éléments du climat. ....	4
1.1.4. La classification du climat mondial. ....	5
1.1.5. Climat chaud et aride. ....	7
1.1.5.1. Signification de l'aridité. ....	7
1.1.5.2. Caractéristiques du climat chaud et aride. ....	7
1.2. Le climat en Algérie. ....	8
1.2.1. L'Algérie, un pays très riche. ....	8
1.2.2. Un climat varié. ....	8
1.3. La spécificité climatique de Biskra. ....	10
1.3.1. Biskra. ....	10
1.3.2. Climat de Biskra. ....	10
1.3.3. Analyse et interprétation des données climatiques. ....	11
1.3.3.1. Températures à Biskra. ....	12
1.3.3.2. Humidité et précipitation. ....	13
1.3.3.3. Vents. ....	14
1.3.3.4. Ensoleillement et potentiel solaire. ....	14
1.4. Analyse bioclimatique de Biskra. ....	14
1.4.1. Les données climatiques de la ville de Biskra en 2018. ....	15
1.4.2. Diagramme de Givoni. ....	16
1.4.2. Méthode de Mahoney. ....	17
1.4.3. Synthèse de l'analyse bioclimatique. ....	18
1.5. Conclusion. ....	18
2. Le confort thermique. ....	18
2.1. Introduction. ....	18
2.2. La notion du confort thermique. ....	19
2.3. Les paramètres affectant le confort thermique. ....	19
2.3.1. Les paramètres liés à l'individu. ....	19
2.3.2. Les paramètres liés à l'environnement. ....	21
2.3.3. Paramètres liés aux gains thermiques internes. ....	23
2.4. Les méthodes d'évaluation du confort thermique. ....	23
2.4.1. Les enquêtes in situ. ....	23
2.4.2. Les mesures physiques. ....	24
2.5. Les indices de l'évaluation du confort thermique. ....	24
2.5.1. Les indices PMV et PPD. ....	24
2.5.2. Les indices environnementaux simples. ....	24
2.5.3. Les outils graphiques. ....	25
2.5.3.1. Définition du diagramme bioclimatique. ....	25
2.5.3.2. Le diagramme de Givoni. ....	25
2.5.3.3. Les tables de Mahoney. ....	26
2.6. Synthèse. ....	26
<b>Chapitre II : LA DOUBLE FACADE VENTILEE DANS L'ENVELOPPE ARCHITECTURALE. .</b>	<b>27</b>
1. L'enveloppe architecturale. ....	27
1.1. Définition de l'enveloppe architecturale. ....	27
1.2. Le développement de la notion d'enveloppe à travers l'historique. ....	27
1.3. Le choix d'une enveloppe architecturale. ....	29
1.4. Les types des enveloppes architecturales. ....	30



1.2.1. Présentation de l'article. ....	66
1.2.2. L'analyse de l'article. ....	66
1.2.2.1. La problématique. ....	66
1.2.2.2. L'objectif de l'article. ....	66
1.2.2.3. La méthodologie. ....	66
1.2.2.4. Les résultats. ....	67
1.2.2.5. L'exploitation de l'article (Relation de l'article avec le thème de recherche). ....	67
A. L'impact des façades non uniformes sur stratification de la température dans la cavité. ....	67
B. Modèles de géométrie. ....	68
1.2.3. Résultats et discussion. ....	69
1.2.4. Conclusions. ....	69
1.3. Le troisième article. ....	69
1.3.1. Présentation de l'article. ....	70
1.3.2. L'analyse de l'article. ....	70
1.3.2.1. La problématique. ....	70
1.3.2.2. L'objectif de l'article. ....	70
1.3.2.3. La méthodologie. ....	70
1.3.2.4. Les résultats. ....	70
1.3.2.5. L'exploitation de l'article (Relation de l'article avec le thème de recherche). ....	70
A. Les types de ventilations. ....	70
B. Le compartimentage de la façade. ....	71
C. Les modes de ventilation de la cavité. ....	71
D. Avantages et inconvénients de la double façade en verre. ....	72
1.3.3. Résumé. ....	72
2. L'analyse des exemples. ....	73
2.1. Le premier exemple : Tour de bureaux de Doha (Qatar) ....	73
2.1.1. Fiche technique de projet. ....	73
2.1.2. La double façade ventilée dans ce projet. ....	74
2.2. Le deuxième exemple : O-14 à Dubai (Émirats Arabes Unis). ....	75
2.2.1. Fiche technique de projet. ....	75
2.2.2. La double façade ventilée dans ce projet. ....	76
2.3. Le troisième exemple : L'ARG shopping mall à Téhéran (Iran). ....	77
2.3.1. Fiche technique de projet. ....	77
2.3.2. La double façade ventilée dans ce projet. ....	78
2.4. Le quatrième exemple : Le centre commercial d'Aéroville à Paris. ....	79
2.4.1. Fiche technique de projet. ....	79
2.4.2. La double façade ventilée dans ce projet. ....	79
2.5. Le cinquième exemple : Centre commercial de Liverpool Toluca, Mexique. ....	81
2.5.1. Fiche technique de projet. ....	81
2.5.2. La double façade ventilée dans ce projet. ....	81
2.6. Conclusion. ....	82
<b>Chapitre IV : LE CENTRE COMMERCIAL. ....</b>	<b>84</b>
1. Définition. ....	84
2. Les principaux types des centres commerciaux. ....	84
2.1. Selon la localisation. ....	84
2.1.1. Au cœur des cités. ....	84
2.1.2. En périphérie de bourg ou de ville. ....	85
2.2. Selon la taille. ....	85
3. Les différentes surfaces commerciales. ....	85
3.1. La galerie marchande. ....	85
3.2. La supérette. ....	85
3.3. Les grandes surfaces de distribution. ....	85
3.4. L'hypermarché. ....	85
3.5. Les magasins à enseigne spécialisée, ou grandes surfaces spécialisées (GSS). ....	86
4. La qualité architecturale. ....	86
5. Type d'établissement / superficie. ....	87
6. Circuit des clients et marchandise dans les centres commerciaux. ....	87
7. Modes de livraison des boutiques commerciales. ....	88
8. Conclusion. ....	89

---

<b>Chapitre V : LE CHAPITRE ANALYTIQUE.</b> .....	<b>90</b>
1. Les analyses des exemples. ....	90
2. Le programme. ....	106
2.1. Les programmes des exemples analysés. ....	106
2.1.1. Le programme de Bab Ezzouar (Alger, Algérie). ....	106
2.1.2. Le programme de Park mall (Sétif, Algérie). ....	106
2.1.3. Le programme d'Aéroville (Paris, France). ....	106
2.1.4. Le programme de ARG shopping mall (Téhéran, Iranà). ....	106
2.2. Le programme proposé pour le centre commercial. ....	107
3. L'analyse de terrain. ....	108
3.1. Présentation du site. ....	108
A. Situation géographique. ....	108
B. Le tissu urbain. ....	108
3.2. Analyse de site. ....	109
A. Analyse physique. ....	109
B. Analyse technique. ....	111
3.3. Synthèses de l'analyse de terrain. ....	112
<b>Chapitre VI : LE PROJET.</b> .....	<b>113</b>
1. Les éléments de passage. ....	113
2. L'idée conceptuelle. ....	114
3. Les documents graphiques. ....	117
<b>CONCLUSION GENERALE.</b> .....	<b>119</b>
1. Les recommandations. ....	120
2. Les limites de la recherche. ....	120
3. Les pistes des recherches futures. ....	120
<b>BIBLIOGRAPHIE.</b> .....	<b>121</b>
<b>ANNEXES.</b> .....	<b>123</b>
1. Les tables de MAHONEY. ....	123
2. Les températures moyennes de Biskra des mois de juin, juillet et août de la période 2000-2015. ...	126

## Liste des figures.

Figure I-1 : La carte climatique mondiale. ....	5
Figure I-2 : La carte climatique mondiale selon la température et l'humidité. ....	6
Figure I-3 : La carte de classification climatique de Köppen-Geiger avec la mise à jour de Kottek. ....	7
Figure I-4 : Situation de l'Algérie. ....	8
Figure I-5 : Zones climatiques d'hiver. ....	9
Figure I-6 : Zones climatiques d'été. ....	9
Figure I-7 : Situation de la ville de Biskra. ....	10
Figure I-8 : La ville de Biskra. ....	10
Figure I-9 : Données météorologiques mensuelles de Biskra pendant la période 2000-2015. ....	11
Figure I-10 : Données météorologiques de température mensuelles de Biskra de 2000 à 2015. ....	12
Figure I-11 : Données météorologiques de précipitation mensuelles de Biskra de 2000 à 2015. ....	13
Figure I-12 : Données météorologiques de précipitation de Biskra pendant la période 2000 -2015. ....	14
Figure I-13 : Données climatiques de Biskra en 2018. ....	15
Figure I-14 : Données climatiques de Biskra en 2018. ....	15
Figure I-15 : Données climatiques de Biskra en 2018. ....	16
Figure I-16 : L'impact de l'activité et du métabolisme sur la température du confort. ....	20
Figure I-17 : Valeurs de l'isolement vestimentaire de différents vêtements. ....	20
Figure I-18 : L'influence de la température de l'air et des parois sur la température de confort. ....	21
Figure I-19 : La plage de taux d'humidité ambiante et ses différents impacts. ....	22
Figure I-20 : La variation de la température de confort en fonction de la vitesse de l'air. ....	22
Figure I-21 : Gains thermique interne d'un espace. ....	23
Figure I-22 : correspondance entre PMV et PPD. ....	24
Figure I-23 : Le diagramme bioclimatique du bâtiment. ....	25
Figure I-24 : Zones de confort selon le diagramme bioclimatique de Givoni. ....	26
Figure II-1 : Les paramètres du choix d'une enveloppe. ....	29
Figure II-2 : Enveloppe porteuse. ....	30
Figure II-3 : Enveloppe légère (mur rideau). ....	30
Figure II-4 : Maçonnerie avec une épaisseur de 10 cm. ....	31
Figure II-5 : Mur en maçonnerie non porteur. ....	31
Figure II-6 : Schéma de principe du mur capteur. ....	31
Figure II-7 : Schéma de principe du Mur Trombe. ....	32
Figure II-8 : Schéma de principe d'une véranda. ....	32
Figure II-9 : Enveloppe en pierre. ....	33
Figure II-10 : Enveloppe en brique. ....	33
Figure II-11 : Enveloppe en béton armé. ....	33
Figure II-12 : Enveloppe en bois. ....	33
Figure II-13 : Enveloppe en métal. ....	33
Figure II-14: Enveloppe en verre. ....	33
Figure II-15 : Enveloppes en plastique. ....	34
Figure II-16 : Enveloppes végétalisées. ....	34
Figure II-17 : Enveloppes en textile. ....	34
Figure II-18 : Les enveloppes mixtes. ....	34
Figure II-19 : L'enveloppe géométrique droite. ....	34
Figure II-20 : L'enveloppe incline. ....	35
Figure II-21: L'enveloppe organique. ....	35
Figure II-22 : Enveloppe avec des formes mixtes. ....	35
Figure II-23 : Transfert de chaleur par conduction. ....	36
Figure II-24 : Transfert de chaleur par convection. ....	36
Figure II-25 : Transfert de chaleur par rayonnement. ....	36
Figure II-26 : L'implantation tient en compte du relief, des vents locaux, de l'ensoleillement, etc. ....	37
Figure II-27 : L'apport solaire par rapport à l'orientation. ....	38
Figure II-28 : La conductivité thermique d'un matériau. ....	40
Figure II-29 : La conductivité thermique d'un matériau. ....	41
Figure II-30 : Le coefficient de transmission surfacique. ....	41
Figure II-31 : L'inertie thermique dans un bâtiment. ....	41
Figure II-32 : Appareillage de brique sur façades. ....	42
Figure II-33 : Crépis rugueux d'une façade. ....	42
Figure II-34 : La façade végétalisée. ....	43
Figure II-35 : Toiture végétalisée. ....	43



Figure II-36 : Pergola végétalisée. ....	43
Figure II-37 : Valeur du coefficient d'absorption pour laques cellulosique. ....	44
Figure II-38 : Exemple de façade type double peau. ....	46
Figure II-39 : Les composants d'une façade double peau. ....	47
Figure II-40 : Classification de la façade double peau. ....	48
Figure II-41 : La classification de la double façade ventilée selon le type de ventilation. (Type 1 : la ventilation naturelle). ....	49
Figure II-42 : La classification de la double façade ventilée selon le type de ventilation. (Type2 : la ventilation mécanique). ....	49
Figure II-43 : La classification de la double façade ventilée selon le type de ventilation. (Type 3 : la ventilation hybride). ....	49
Figure II-44 : La classification de la double façade ventilée selon le compartimentage. (La double fenêtre ventilée). ....	50
Figure II-45 : La classification de la double façade ventilée selon le compartimentage. (Box window type). ....	50
Figure II-46 : La classification de la double façade ventilée selon le compartimentage. (Box window type). ....	50
Figure II-47 : La classification de la double façade ventilée selon le compartimentage (Corridor). ....	50
Figure II-48 : La classification de la double façade ventilée selon le compartimentage (Corridor). ....	51
Figure II-49 : La classification de la double façade ventilée selon le compartimentage (Corridor). ....	51
Figure II-50 : La classification de la double façade ventilée selon le compartimentage (Shaft box). ....	51
Figure II-51 : La classification de la double façade ventilée selon le compartimentage (Shaft box). ....	51
Figure II-52 : La classification de la double façade ventilée selon le compartimentage (Multi storey). ....	52
Figure II-53 : La classification de la double façade ventilée selon le compartimentage (Multi storey). ....	52
Figure II-54 : La classification de la double façade ventilée selon le compartimentage (Multi storey). ....	52
Figure II-55 : La classification de la double façade ventilée selon le compartimentage. (La double façade ventilée naturellement de type multi-étages à lamelles). ....	52
Figure II-56 : La classification de la double façade ventilée selon le compartimentage. (La double façade ventilée naturellement de type multi-étages à lamelles). ....	52
Figure II-57 : la classification de la double façade ventilée selon le mode de ventilation. (Rideau d'air extérieur). ....	53
Figure II-58 : la classification de la double façade ventilée selon le mode de ventilation. (Rideau d'air intérieur). ....	53
Figure II-59 : la classification de la double façade ventilée selon le mode de ventilation. (Alimentation en air neuf). ....	53
Figure II-60 : la classification de la double façade ventilée selon le mode de ventilation. (Evacuation de l'air vicié). ....	53
Figure II-61 : la classification de la double façade ventilée selon le mode de ventilation. (Espace tampon étanche). ....	53
Figure II-62 : Transfert de chaleur à travers une FDP un jour d'été (Haase, 2006). ....	55
Figure II-63 : Schéma de principe du mur capteur. ....	56
Figure II-64 : Schéma de principe du Mur Trombe. ....	56
Figure II-65 : Schéma de principe d'une véranda. ....	57
Figure II-66 : Façade vitrée. ....	57
Figure II-67 : Façade métalliques. ....	58
Figure II-68 : Façade végétalisée. ....	58
Figure II-69 : Façade à lamelles. ....	59
Figure III-1 : Plan et coupe typiques à mi- étage. ....	62
Figure III-2 : Types de façades à double peau. ....	63
Figure III-3 : Section typique du type de fenêtre Box. ....	63
Figure III-4 : Section typique du type de boîte d'arbre. ....	64
Figure III-5 : Section typique de la façade du couloir. ....	64
Figure III-6 : Section typique d'une façade à double peau et à plusieurs étages. ....	65
Figure III-7 : Section typique des façades à lames. ....	65
Figure III-8 : Façade extérieure double peau pliée (à gauche), sociale espace libre dans la cavité du FDP (à droite). ....	67
Figure III-9 : Profil de stratification thermique dans un croisement FDP. Section et vitesse de l'air au sommet de la cavité. ....	67
Figure III-10 : FDP droit (à gauche), FDP rasée. ....	68
Figure III-11 : Analyse comparative des trois configurations de la cavité de FDP entre été et hiver, par étage. ....	68
Figure III-12 : Système de ventilation naturelle. ....	71

Figure III-13 : Système de ventilation mécanique. ....	71
Figure III-14 : Six modes de ventilation et dix régimes d'écoulement d'air. (Lattes aveugles non dessinées pour plus de clarté). ....	72
Figure III-15 : Tour de bureaux de Doha (Qatar). ....	73
Figure III-16 : Multi storey. ....	74
Figure III-17 : La façade double peau. ....	74
Figure III-18 : La cavité de la façade double peau. ....	74
Figure III-19 : La variation de densité de Mashrabiya. ....	74
Figure III-20 : La variation de densité de Mashrabiya. ....	74
Figure III-21 : Elvation et coupe des écrans solaires. ....	75
Figure III-22 : Assemblage 3D des écrans solaires papillons. ....	75
Figure III-23 : O-14 à Dubai (Émirats Arabes Unis). ....	75
Figure III-24 : Multi storey. ....	76
Figure III-25 : La façade double peau. ....	76
Figure III-26 : L'effet de cheminée thermique. ....	76
Figure III-27 : Plan RDC de O-14. ....	76
Figure III-28 : Les façades de O-14. ....	76
Figure III-29 : La variation de densité de Mashrabiya. ....	77
Figure III-30 : Simulation thermique des températures dans les façade de O-14. ....	77
Figure III-31 : L'ARG shopping mall à Téhéran (Iran). ....	77
Figure III-32 : Multi storey. ....	78
Figure III-33 : La façade double peau. ....	78
Figure III-34 : La cavité de la façade double peau. ....	78
Figure III-35 : Détail isométrique de la façade double peau. ....	78
Figure III-36 : Plan de détail d'une façade double peau. ....	79
Figure III-37 : Le centre commercial d'Aéroville à Paris (France). ....	79
Figure III-38 : La façade double peau. ....	79
Figure III-39 : Box-window. ....	80
Figure III-40 : Détail isométrique de la façade double peau. ....	80
Figure III-41 : Vue de centre commercial d'Aéroville à Paris. ....	80
Figure III-42 : Les façades d'Aéroville. ....	80
Figure III-43 : Centre commercial de Liverpool Toluca (Mexique). ....	81
Figure III-44 : Détails de la ventilation hybride dans la façade double peau. ....	81
Figure III-45 : Multi storey. ....	81
Figure III-46 : la façade double peau. ....	81
Figure III-47 : Détails de la cavité de la façade double peau. ....	82
Figure III-48 : Esquisse de la façade double peau. ....	82
Figure III-49 : La cavité d'air de la façade double peau. ....	82
Figure III-50 : Les façades double peau du centre commercial Liverpool. ....	82
Figure IV-1 : Auvent en verre. ....	87
Figure IV-2 : La signalisation de l'entrée. ....	87
Figure IV-3 : Un tapis décoratif en dallage. ....	87
Figure IV-4 : Immenses lustres de verre coloré. ....	87
Figure V-1 : Localisation de la wilaya de Biskra sur la carte de L'Algérie. ....	108
Figure V-2 : La carte de la wilaya de Biskra. ....	108
Figure V-3 : Vue aérienne sur le terrain et son environnement. ....	108
Figure V-4 : Vue sur le terrain. ....	108
Figure V-5 : Plan de terrain et les équipements principaux de la ville de Biskra. ....	108
Figure V-6 : Plan pour dimensionnement de terrain. ....	109
Figure V-7 : Deux coupes topographiques de terrain. ....	109
Figure V-8 : Vue sur le terrain et l'environnement immédiat. ....	110
Figure V-9 : Des photos de terrain et son environnement. ....	110
Figure V-10 : Vue en plan sur le terrain et l'environnement immédiat. ....	110
Figure V-11 : Les axes routiers et piétons dans le périmètre du terrain. ....	111
Figure V-12 : Photos de terrain et ses accès. ....	111
Figure V-13 : L'ensoleillement dans le terrain le 30/12/2012 à 10H00. ....	111
Figure V-14 : Les vents dominants dans le terrain. ....	111

## Liste des tableaux.

Tableau I-1 : Les paramètres affectant le confort thermique. ....	19
Tableau I-2 : L'impact de l'activité sur les valeurs du métabolisme. ....	20
Tableau I-3 : Les valeurs de l'isolement vestimentaire en fonction des tenues vestimentaires. ....	21
Tableau I-4 : L'échelle des réponses demandées aux sujets. ....	24
Tableau II-1 : Le développement de l'enveloppe architecturale. ....	29
Tableau II-2 : Apports calorifiques sur une paroi selon son orientation. ....	38
Tableau II-3 : RSV et RSSP pour quelques formes. ....	40
Tableau II-4 : Coefficient d'adaptation de chaleur de différent couleur et matériaux. ....	44
Tableau III-1 : Différents types de modules pour le compartimentage. ....	71
Tableau III-2 : Les différents types de ventilation de la cavité. ....	71
Tableau III-3 : Avantages et inconvénients de la double peau. ....	72
Tableau III-4 : La double façade ventilée de Doha Tower à Doha, Qatar. ....	75
Tableau III-5 : La double façade ventilée O-14 à Dubai, Émirats Arabes Unis. ....	77
Tableau III-6 : La double façade ventilée d'ARG shopping mall à Téhéran, Iran. ....	79
Tableau III-7 : La double façade ventilée de centre commercial d'Aéroville à Paris, France. ....	80
Tableau III-8 : La double façade ventilée de centre commercial de Liverpool Toluca à Mexico, Mexique. .	82
Tableau IV-1 : Type d'établissement / superficie. ....	87
Tableau IV-2 : Circuit des clients et marchandise dans les centres commerciaux. ....	88
Tableau IV-3 : Modes de livraison des boutiques commerciales. ....	89
Tableau V-1 : Programme de Bab Ezzouar à Alger. ....	106
Tableau V-2 : Programme de Park mall à Sétif. ....	106
Tableau V-3 : Programme de centre commercial d'Aéroville à Paris. ....	106
Tableau V-4 : Le programme d'ARG shopping mall (Téhéran, Iran). ....	106
Tableau V-5 : Le programme proposé pour le centre commercial. ....	107
Tableau V-6 : Les limites de la Wilaya de Biskra. ....	108
Tableau V-7 : Les photos des façades urbaines de l'environnement de tout le terrain. ....	110

# Chapitre I : CLIMAT ET CONFORT THERMIQUE.

## Introduction :

« Tout concepteur a besoin de connaître le climat du lieu où il doit construire. C'est-à-dire le régime de la température et de l'humidité de l'air, le régime et la nature des précipitations, l'ensoleillement, le régime et la nature des vents durant le cycle annuel complet ». (Fernandez et Lavigne 2009).

Dans cette perspective, la connaissance du climat de la région objet d'étude avec ses caractérisations météorologiques et ses variations permet de comprendre son impact sur le confort de l'être humain dans le bâtiment.

Dans ce chapitre, on abordera une étude climatique de la ville de Biskra, Algérie (cas d'étude). Cette analyse est élaborée pour définir la zone de confort, de même que ses limites et différents éléments de conception architecturale influant sur le confort thermique à travers des différentes stratégies.

## 1. Le climat.

### 1.1. Le climat et les données climatiques :

#### 1.1.1. Le climat :

Le mot « climat » prend ses racines du mot grec « Klima » qui signifie « pente », « inclinaison » en référence à l'angle des rayons du soleil. Cette « inclinaison » varie au cours de la journée qu'au long de l'année et conditionne l'ensemble des paramètres climatique. (Roberto Gonzalo, Karl J. Habermann, 2008).

Le climat désigne l'ensemble des phénomènes météorologiques (température, humidité, vents, précipitations et pressions atmosphériques) qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère et son évolution dans un lieu. Il dépend de plusieurs paramètres comme la latitude du lieu, les conditions de l'environnement et la circulation atmosphérique. (Hamel Khalissa, 2005).

#### 1.1.2. Les facteurs du climat :

Dans le domaine de la climatologie, il existe plusieurs classifications des facteurs du climat dans la littérature. Parmi ces classifications, il y a celle qui englobe les deux facteurs suivants :

- Des facteurs cosmiques (l'atmosphère, la latitude et les mouvements de la terre).
- Des facteurs géographiques (l'altitude, les reliefs et la végétation).

Une autre classification qui regroupe trois facteurs :

- Des facteurs énergétiques (rayonnement et température).
- Des facteurs hydrologiques (hygrométrie et précipitations).
- Des facteurs mécaniques (les vents).

#### 1.1.3. Les éléments du climat :

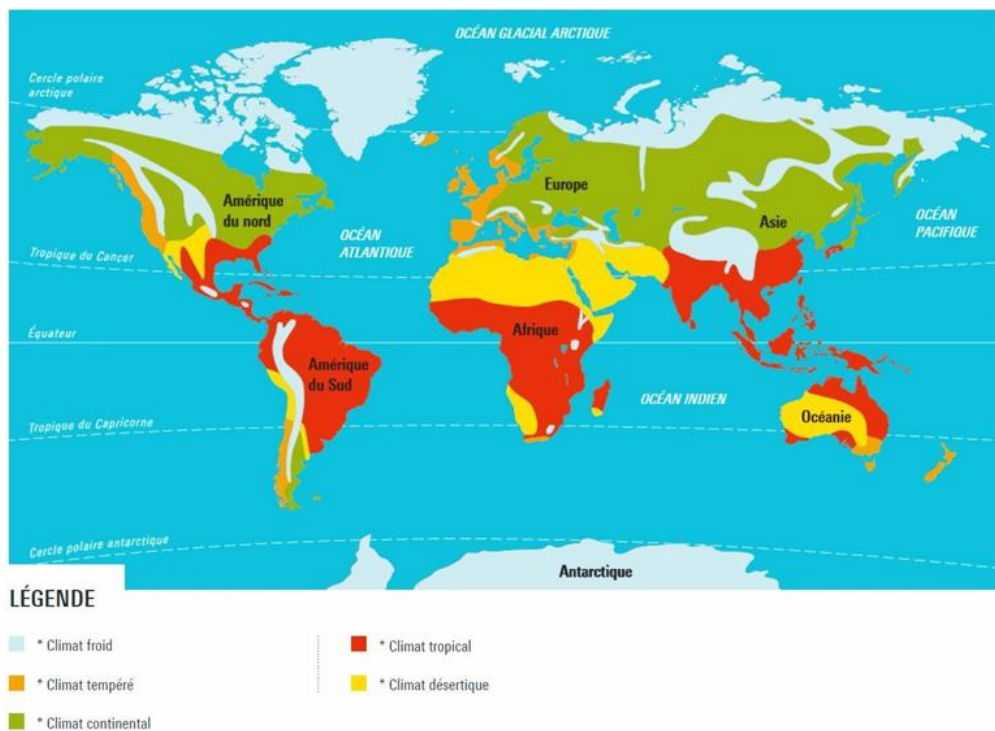
Le climat est composé de plusieurs éléments variant d'un endroit à un autre. D'après l'Organisation Météorologique Mondiale (2011), les éléments les plus utilisés en climatologie sont les suivants :

- La température de l'air.
- Les précipitations (pluie et neige).
- L'humidité.
- Les mouvements atmosphériques (vitesse et direction des vents).
- L'insolation.
- La pression.

L'analyse des zones climatiques consiste à prendre ces éléments climatiques en considération afin de comprendre le système climatique de la zone d'étude.

#### 1.1.4. La classification du climat mondial :

La classification mondiale du climat est basée sur certains paramètres tels que la température, les précipitations, l'humidité et la végétation. La plus part des classifications utilisent principalement la température et les précipitations. Sur la base de ces deux paramètres, il existe plusieurs classifications du climat dans le monde sous forme de cartes climatiques. L'une de ces cartes répartit le monde en cinq grandes zones climatiques : le climat froid, tempéré, tropical, continental et désertique.



**Figure I-1 : La carte climatique mondiale.**  
(Source : [www.carte-du-monde.net](http://www.carte-du-monde.net)).

- **Le climat froid** : se trouve dans les deux pôles et les montagnes où l'altitude est très élevée, il est caractérisé par des températures froides (très basse) pendant toute l'année.
- **Le climat tempéré** : se localise près des océans, il est caractérisé par des températures moyennes durant toute l'année.
- **Le climat continental** : caractérisé par un hiver très froid.
- **Le climat tropical** : se situe près de l'équateur, il est caractérisé par des températures très chaudes.
- **Le climat désertique** : est caractérisé par la sécheresse.

Liébard et De Herde (2005) voient qu'il existe cinq types de climat selon la température et l'humidité : climat tropical, climat sec, climat tempéré chaud, climat tempéré froid et climat froid.

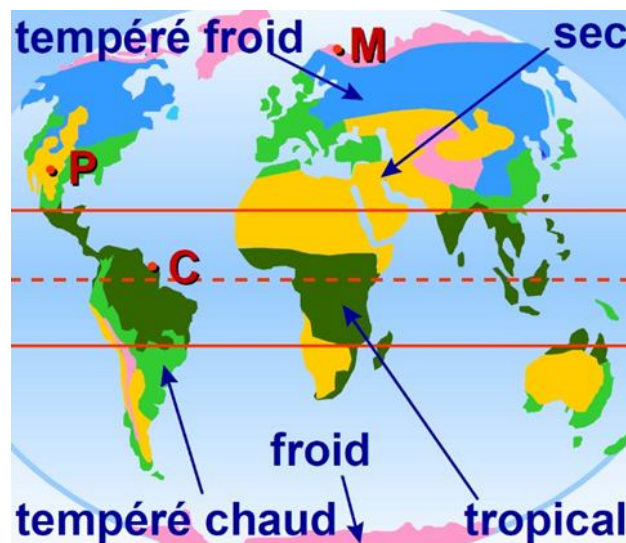


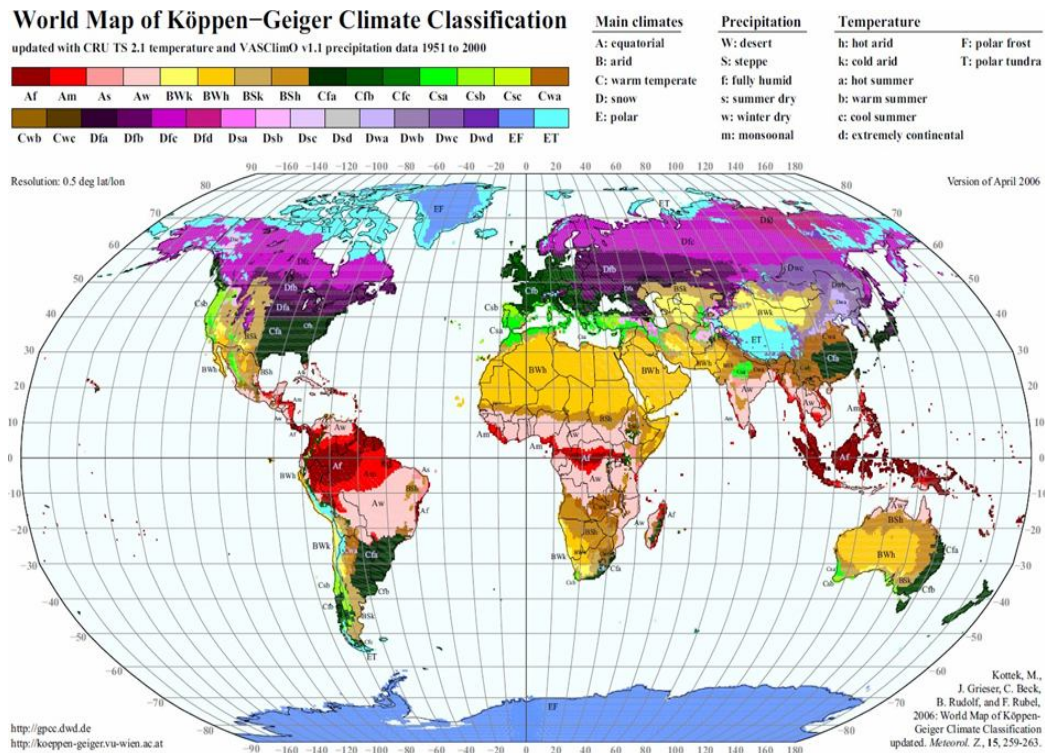
Figure I-2 : La carte climatique mondiale selon la température et l'humidité.  
(Source : Liébard et De Herde, 2005).

- **Le climat tropical** : caractérisé par des valeurs de températures assez élevées et un taux d'humidité très élevé.
- **Le climat sec** : caractérisé par des températures très élevées et une humidité très faible.
- **Les climats tempérés** : sont caractérisés par des températures moyennes et un taux d'humidité très élevé.
- **Le climat froid** : caractérisé par des températures très basses et un taux d'humidité très élevé.

Dans le domaine de la climatologie, la classification la plus utilisée dans le monde est la classification de Köppen-Geiger. C'est une classification basée sur la température et les précipitations, elle est inventée par le scientifique Allemand « Wladimir Köppen » et présentée par « Rudolf Geiger ». Cette classification répartit la carte mondiale en cinq zones climatiques (tropical, sec, tempéré, continental et polaire) avec un codage de deux à trois lettres afin de caractériser chaque type d'une manière précise en terme de température et précipitation (Veltz, 2015) ce qui donne plus de trente sous zones climatiques dans le monde.

Dans la même perspective, Kottek et al. (2006) confirment que la carte de classification climatique la plus fréquemment utilisée est celle de Köppen-Geiger. De leur côté, cette classification est considérée comme référence dans le domaine de la climatologie. Elle a connu plusieurs mises à jour publiées selon le site officiel de Köppen-Geiger tels que les travaux de (Kottek et al., 2006), (Rubel et Kottek, 2010) et (Rubel et al., 2017).

La figure I-3 illustre la carte de classification climatique de Köppen-Geiger avec la mise à jour de (Kottek et al., 2006).



**Figure I-3 : La carte de classification climatique de Köppen-Geiger avec la mise à jour de Kottek.**  
 (Source : Kottek et al., 2006).

### 1.1.5. Climat chaud et aride :

#### 1.1.5.1. Signification de l'aridité :

S'exprime généralement en fonction des précipitations et de la température. Pratiquement s'exprime par l'indice d'aridité climatique :  $P = \text{précipitation}$ .  $ETP = \text{évapotranspiration potentielle}$ , calculée par la méthode de Penman, en tenant compte de l'humidité atmosphérique, du rayonnement solaire et du vent.

#### 1.1.5.2. Caractéristiques du climat chaud et aride :

L'aridité est due à la présence d'un air sec descendant. Ce phénomène se trouve dans les zones caractérisées par des grandes chaînes de montagne qui déstructurent les cyclones lorsqu'ils passent par-dessus elles, créant des effets "d'ombre" où la pluie ne tombe pas. D'autre part, la présence de surfaces de terres fortement chauffées empêche également les précipitations.

Cependant, le climat chaud et aride se distribue sur une vaste région de l'Afrique, d'Asie centrale et occidentale, d'Amérique du Nord-Ouest, et du Sud et dans l'Australie centrale et occidentale.

- **Températures** : une large amplitude de températures pouvant varier de 70 °C le jour à 15 °C la nuit en été.
- **Humidité** : la faible humidité relative (4 % à 20 %), couplée à l'absence de nuages
- **Rayonnement solaire** : le rayonnement solaire direct est très intense et peut atteindre 800 W/m<sup>2</sup> sur une surface horizontale.
- **Vents** : les vents sont chauds et sont fréquemment accompagnés de tourbillons de sable et de poussière.
- **Précipitation** : les précipitations sont rares et interviennent souvent sous forme d'averses ou de pluies orageuses.



## 1.2. Le climat en Algérie :

### 1.2.1. L'Algérie, un pays très riche :

Situé au nord de l'Afrique et constitue l'un des pays les plus riches géographiquement par ses chaînes montagneuses, ses forêts et son Sahara qui représente 84% du territoire. La superficie de l'Algérie est la plus grande en Afrique, elle couvre 2 381 741 km<sup>2</sup> compris entre 18° et 38° de latitude Nord et entre 9° de longitude Ouest et 12° de longitude Est.

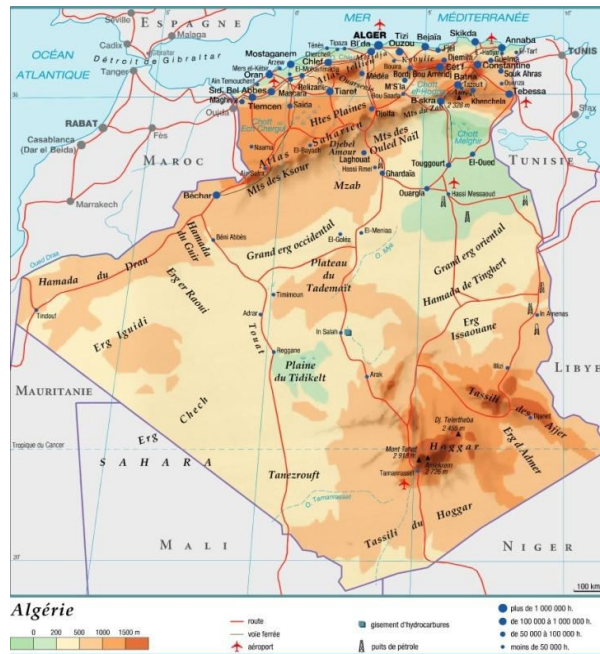


Figure I-4 : Situation de l'Algérie.

(Source : <https://www.larousse.fr/encyclopedie/cartes/Alg%C3%A9rie/1306004>).

### 1.2.2. Un climat varié :

Grâce à sa richesse géographique et sa nature variée, ce territoire est caractérisé par une variété de zones climatiques. « À cette vaste étendue territoriale correspond une diversité de zones climatiques qu'on peut classer en deux grandes catégories ». (Dib, 1993).

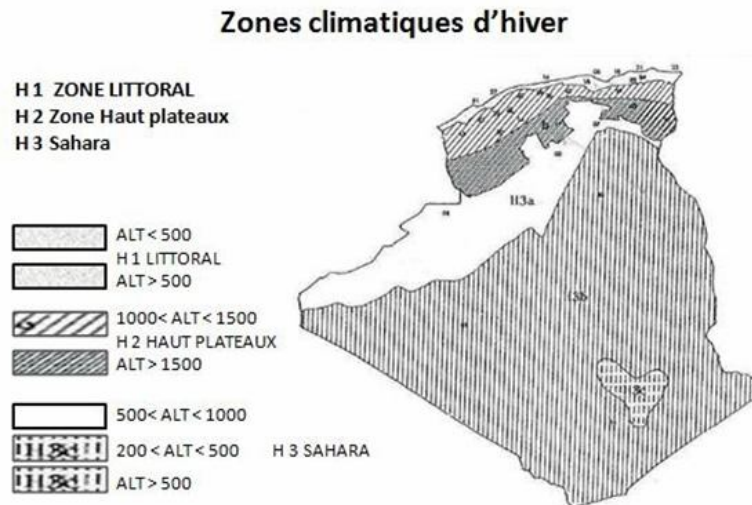
**Zones climatiques d'hiver :** qui sont divisées elles-mêmes en trois zones :

- La zone H1 subit l'influence de la proximité de la mer, et qui comprend sept sous zones classées en fonction de l'altitude:
- Sous- zone H1a : littoral mer, altitude < 500m : caractérisée par des hivers doux avec des amplitudes faibles.
- Sous- zone H1b : arrière littoral montagne, altitude > 500m : caractérisée par des hivers plus froids et plus longs.
- Sous- zone H2a : atlas tellien- montagne, 1 000m < altitude < 1500m : caractérisée par des hivers froids et un écart de température diurne important.
- Sous- zone H2b : atlas saharien- montagne, altitude > 1 500m : caractérisée par des hivers encore plus froids.
- Sous- zone H3a : présaharien, 500m < altitude < 1 000m : caractérisée par des hivers très froids la nuit par rapport au jour. Les écarts de température entre le jour et la nuit sont importants.
- Sous- zone H3b : Sahara, 200m < altitude < 500m : caractérisée par des hivers moins froids que la zone H3a avec des écarts de température diurne.
- Sous- zone H3c : Hoggar, altitude > 500m : caractérisée par des hivers très froids



analogues à la zone H3a, mais qui persistent même durant la journée.

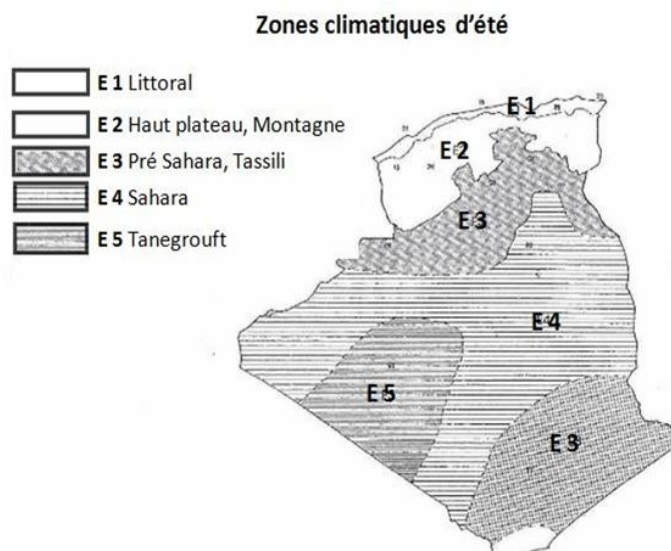
- La zone H2 subit l'influence de l'altitude.
- La zone H3 subit l'influence de la latitude.



**Figure I-5 : Zones climatiques d'hiver.**  
 (Source : Ould Henia 2003).

**Zones climatiques d'été :** elles se divisent en cinq zones climatiques d'été et qui sont :

- La zone E1, littoral : caractérisée par des étés chauds et moins humides. L'écart de température diurne est faible.
- La zone E2, hauts plateaux- montagne : caractérisée par des étés plus chauds et moins humides avec des écarts de température diurne importants.
- La zone E3, pré-Sahara – Tassili : caractérisée par des étés très chauds et secs, mais moins pénibles qu'en zone E4.
- La zone E4, Sahara : caractérisée par des étés secs, mais plus chauds et plus secs qu'en zone E3.
- La zone E5, Tanezrouft : caractérisée par des étés chauds et secs et extrêmement pénibles par rapport aux zones E3 et E4.



**Figure I-6 : Zones climatiques d'été.**  
 (Source : Ould Henia 2003).

### 1.3. La spécificité climatique de Biskra :

#### 1.3.1. Biskra :

La porte du grand sud algérien ou la porte du Sahara, elle se situe au sud-est du territoire, à une latitude de 34° 48' Nord et une longitude de 5° 44' Est et une altitude de 115 m par rapport au niveau de la mer. Avec une superficie de 21 671 Km<sup>2</sup>. Si sa position géographique entre les hauts plateaux et le Sahara en a fait un point de jonction entre le Nord et le Sud et un carrefour d'échanges économiques, culturel et social.



**Figure I-7 : Situation de la ville de Biskra.**  
(Source : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Biskra>).



**Figure I-8 : La ville de Biskra.**  
(Source : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Biskra>).

#### 1.3.2. Climat de Biskra :

Biskra a un climat désertique selon la classification de Köppen-Geiger. Elle est caractérisée par un climat chaud et sec en été et froid et semi- aride en hiver, La température annuelle moyenne est 21.8 °C avec une précipitation moyenne de 141 mm.

C'est un climat défavorable pour atteindre un confort thermique pendant les deux saisons. Dans ce cadre, le choix de Biskra comme un cas d'étude nous offre l'opportunité de traiter la problématique du confort thermique au sein d'un projet tertiaire qui souffre d'un grand flux de personnes regroupés à la fois comme le centre commercial.

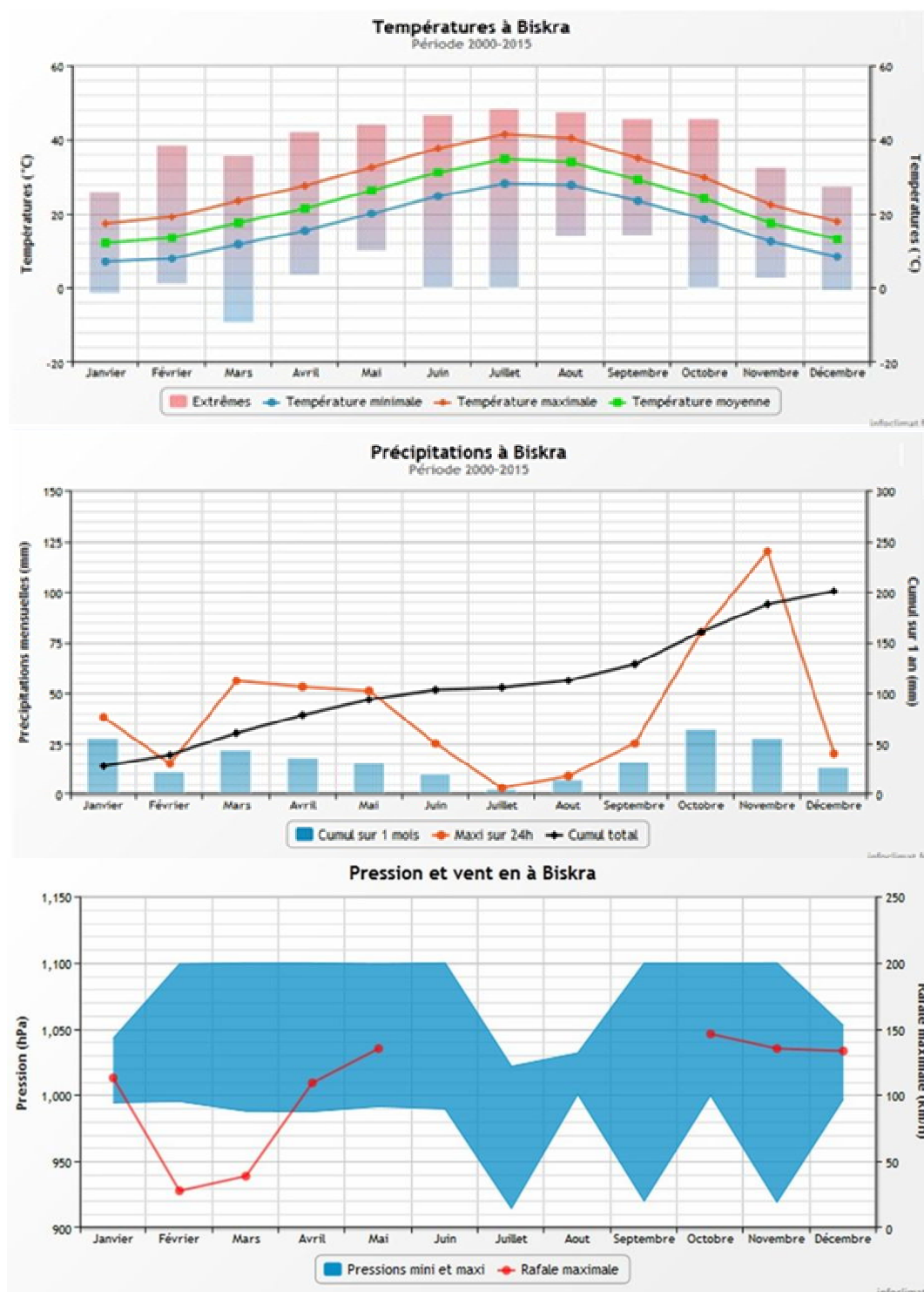
Pour ce faire, il est nécessaire de caractériser ce climat. Cette tâche se base sur les données climatiques moyennes et extrêmes, selon Estienne (1974). On mesure les amplitudes moyennes des températures annuelles entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid et les

amplitudes des extrêmes absolus des températures quotidiennes (Pierre et Alain 1974).

Dans cette perspective, nous allons baser sur les données météorologiques mensuelles de Biskra relevées à la station météorologique sur ces dernières quinze années du 2000 au 2015

### 1.3.3. Analyse et interprétation des données climatiques :

Dans les figures ci-dessous nous présentons les variations mensuelles des températures, précipitations et vents pendant la période (2000-2015).



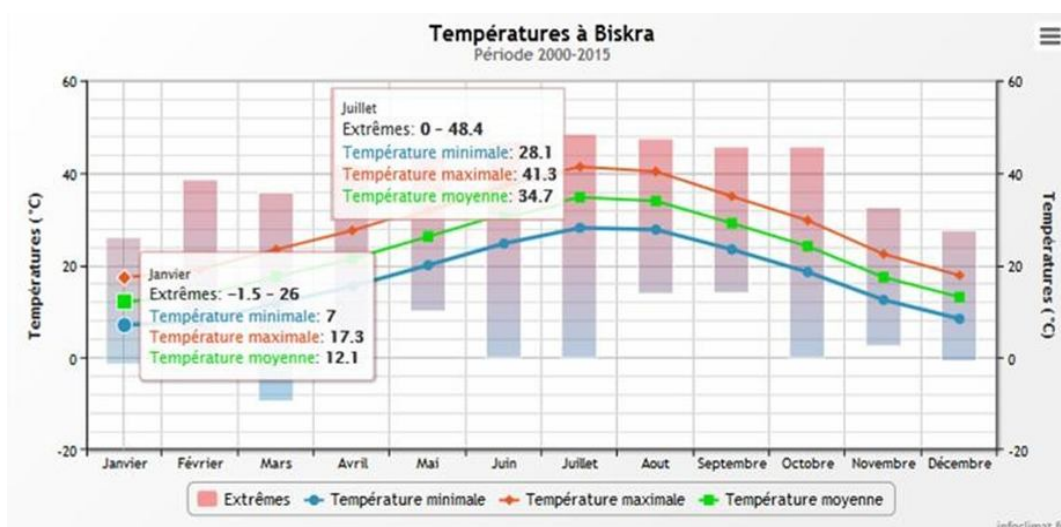
**Figure I-9 : Données météorologiques mensuelles de Biskra pendant la période 2000-2015.**  
(Source : <https://www.infoclimat.fr/observations-meteo/temps-reel/biskra/60525.html?graphiques>).

### 1.3.3.1. Températures à Biskra :

Globalement et dès le premier regard sur ces graphes, nous pouvons distinguer clairement qu'il y a deux grandes périodes qui forment l'année. Une période de six mois très chaude et sèche et qui s'étale du mois de Mai au mois d'Octobre et une deuxième période qui commence à mois de Novembre et termine en Avril, elle est froide et légèrement humide et elle atteint à son extrême de froid en mois de Janvier (Berghout 2012).

Concernant la température de l'air, il est claire que le mois de juillet est le plus chaud et c'est dans ce mois qu'on trouve la période de surchauffe avec 34.7°C pour la température moyenne annuelle à ce mois.

La courbe des températures moyennes mensuelles évolue d'une manière croissante jusqu'au mois de juillet ou elle commence de descendre jusqu'à 12.1°C (température moyenne annuelle) en Janvier et elle peut arriver jusqu'à 7°C (température minimale).



Jours de juillet les plus chauds (Txx les plus hautes)		Jours de janvier les plus froids (Tnn les plus basses)	
48.4°C	09 juillet 2008	-1.5°C	25 janvier 2006
48.0°C	13 juillet 2012	-1.1°C	18 janvier 2006
47.9°C	26 juillet 2005	-1.0°C	20 janvier 2012
47.6°C	30 juillet 2012	-1.0°C	16 janvier 2006
47.5°C	23 juillet 2010	0.0°C	19 janvier 2015
47.5°C	10 juillet 2008	0.0°C	07 janvier 2002
47.4°C	12 juillet 2008	0.0°C	10 janvier 2016
47.4°C	15 juillet 2010	0.3°C	10 janvier 2010
47.2°C	17 juillet 2003	0.5°C	06 janvier 2006
47.2°C	27 juillet 2005	0.5°C	08 janvier 2002

Figure I-10 : Données météorologiques de température mensuelles de Biskra de 2000 à 2015. (Source : <https://www.infoclimat.fr/observations-meteo/temps-reel/biskra/60525.html?graphiques>).

Exceptionnellement, les mois d'Avril et mai sont instables, ils constituent une étape transitionnelle de la période froide à la période chaude. Les températures de ces deux mois sont comprises entre 21°C et 26°C et les degrés d'humidité et de précipitations restent moyens, pour participer à l'adoucissement du climat. En parallèle, le mois d'Octobre aussi

joue le rôle de transition mais avec des températures plus ou moins variées, elles sont comprises entre 18°C et 24°C.

Jours d'avril les plus chauds (Txx les plus hautes)	Jours d'avril les plus froids (Tnn les plus basses)	Précipitations maximales d'avril
42.0°C 30 avril 2015	3.5°C 07 avril 2005	68.0mm avril 2016
38.5°C 30 avril 2003	7.1°C 26 avril 2016	67.0mm avril 2004
38.5°C 10 avril 2008	7.4°C 09 avril 2015	38.0mm avril 2011
38.1°C 29 avril 2003	8.0°C 06 avril 2008	22.0mm avril 2010
37.0°C 26 avril 2000	8.8°C 11 avril 2005	15.0mm avril 2007
36.6°C 25 avril 2005	8.8°C 05 avril 2008	14.0mm avril 2006
36.5°C 14 avril 2013	8.9°C 06 avril 2003	13.0mm avril 2017
36.5°C 03 avril 2014	8.9°C 13 avril 2004	8.0mm avril 2009
36.5°C 24 avril 2015	9.0°C 08 avril 2013	5.0mm avril 2000
36.5°C 17 avril 2016	9.1°C 13 avril 2009	4.0mm avril 2003
Jours de mai les plus froids (Tnn les plus basses)	Jours de mai les plus chauds (Txx les plus hautes)	Précipitations maximales de mai
10.0°C 07 mai 2016	44.2°C 27 mai 2016	54.0mm mai 2011
10.5°C 29 mai 2003	43.7°C 22 mai 2006	38.0mm mai 2004
11.5°C 01 mai 2004	43.2°C 06 mai 2015	19.0mm mai 2016
11.6°C 10 mai 2004	42.7°C 26 mai 2016	15.0mm mai 2000
11.8°C 28 mai 2003	42.0°C 05 mai 2015	14.0mm mai 2009
12.2°C 06 mai 2010	42.0°C 04 mai 2015	11.0mm mai 2008
12.6°C 06 mai 2009	41.9°C 28 mai 2016	10.0mm mai 2006
13.1°C 01 mai 2007	41.9°C 18 mai 2001	5.0mm mai 2010
13.2°C 04 mai 2016	41.6°C 23 mai 2006	2.0mm mai 2015
13.2°C 03 mai 2009	41.2°C 13 mai 2014	2.0mm mai 2014
Jours d'octobre les plus chauds (Txx les plus hautes)	Jours d'octobre les plus froids (Tnn les plus basses)	Précipitations maximales d'octobre
45.6°C 05 octobre 2004	0.0°C 17 octobre 2003	84.0mm octobre 2012
45.6°C 09 octobre 2004	10.0°C 28 octobre 2010	79.0mm octobre 2011
40.5°C 02 octobre 2003	10.2°C 20 octobre 2010	46.0mm octobre 2003
39.6°C 09 octobre 2006	10.5°C 11 octobre 2002	40.0mm octobre 2013
38.5°C 03 octobre 2003	11.1°C 29 octobre 2010	38.0mm octobre 2006
38.4°C 28 octobre 2006	11.5°C 31 octobre 2008	34.0mm octobre 2015
38.1°C 01 octobre 2007	11.5°C 22 octobre 2010	12.0mm octobre 2002
38.0°C 01 octobre 2003	12.0°C 19 octobre 2011	9.0mm octobre 2010
37.9°C 03 octobre 2006	12.1°C 30 octobre 2006	5.0mm octobre 2004
37.9°C 08 octobre 2012	12.2°C 18 octobre 2009	4.0mm octobre 2000

Figure I-11 : Données météorologiques de précipitation mensuelles de Biskra de 2000 à 2015.  
(Source : <https://www.infoclimat.fr/observations-meteo/temps-reel/biskra/60525.html?graphiques>)

Les écarts entre les températures diurnes et nocturnes, se voient nettement en mois de juillet où il peut évoluer au-delà de 13.2°C.

### 1.3.3.2. Humidité et précipitation :

En ce qui concerne l'humidité relative et les précipitations, les moyennes mensuelles de l'humidité ne dépassent pas 60% pour les périodes humides, ce qui prouve que la ville de Biskra est caractérisée par un climat sec même dans la saison hivernale, il est froid et sec.



Pour les précipitations, le trimestre Octobre/Novembre/Décembre est le plus riche en pluie. Le cumul des précipitations est remarquable en ce trimestre ou il peut aller jusqu'à 160.4 mm/an en mois d'Octobre.

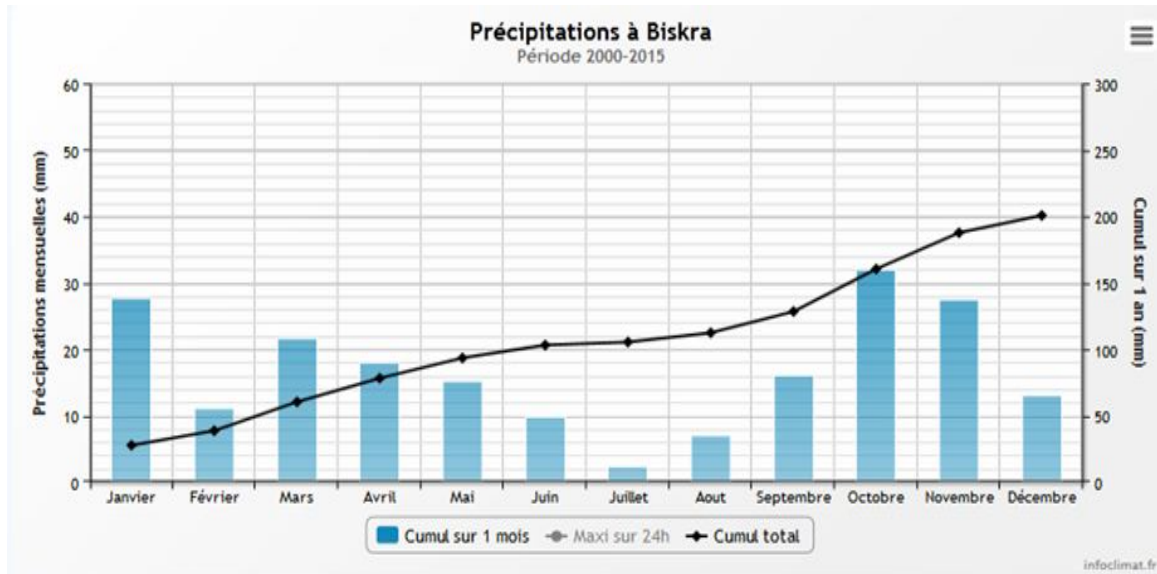


Figure I-12 : Données météorologiques de précipitation de Biskra pendant la période 2000 -2015. (Source : <https://www.infoclimat.fr/observations-meteo/temps-reel/biskra/60525.html?graphiques>).

### 1.3.3.3. Vents :

Les vents de sables constituent le plus phénomène climatique le plus célèbre à Biskra particulièrement en été. Les vents qui prédominent à cette région sont de direction nord et nord-ouest avec des vitesses moyennes qui varient entre 2,3 m/s et 2,9 m/s, pour une moyenne annuelle de 2,4 m/s, et une fréquence moyenne de 45% (Berghout 2012).

### 1.3.3.4. Ensoleillement et potentiel solaire :

La notion « ensoleillement » est définie comme un indicateur climatique qui mesure la durée de temps (le volume d'heures) pendant laquelle une surface ou un endroit est éclairé par le soleil sur une période donnée. Cette signification laisse penser à la nébulosité (ciel dégagé / ciel couvert par les nuages). Donc, ne doit pas être confondue avec le gisement qui exprime la quantité d'énergie reçue par le rayonnement solaire sur une surface donnée et sur une certaine période.

Juillet le mois le plus chaud à titre d'exemple peut aller jusqu'à 107.4 heures ensoleillée/an, ce qui exprime que la ville de Biskra possède ainsi un gisement solaire très important. Par ailleurs, La carte terrestre de l'ensoleillement moyen annuel indique que le potentiel reçu dans cette ville se trouve dans la fourchette de (5-6 kWh/m<sup>2</sup>/jour) et annuellement, compris entre 1825 et 2190 kWh/m<sup>2</sup>/an (Daiche 2011).

## 1.4. Analyse bioclimatique de Biskra :

Pour l'analyse bioclimatique de la ville de Biskra, nous utilisons le diagramme psychométrique de Givoni qui repose essentiellement sur l'analyse des données climatiques de la ville. A l'aide de ce diagramme nous pouvons ressortir les recommandations conformes à ce climat.

### 1.4.1. Les données climatiques de la ville de Biskra en 2018 :



Figure I-13 : Données climatiques de Biskra en 2018.  
(Source : <https://fr.meteovista.be>).

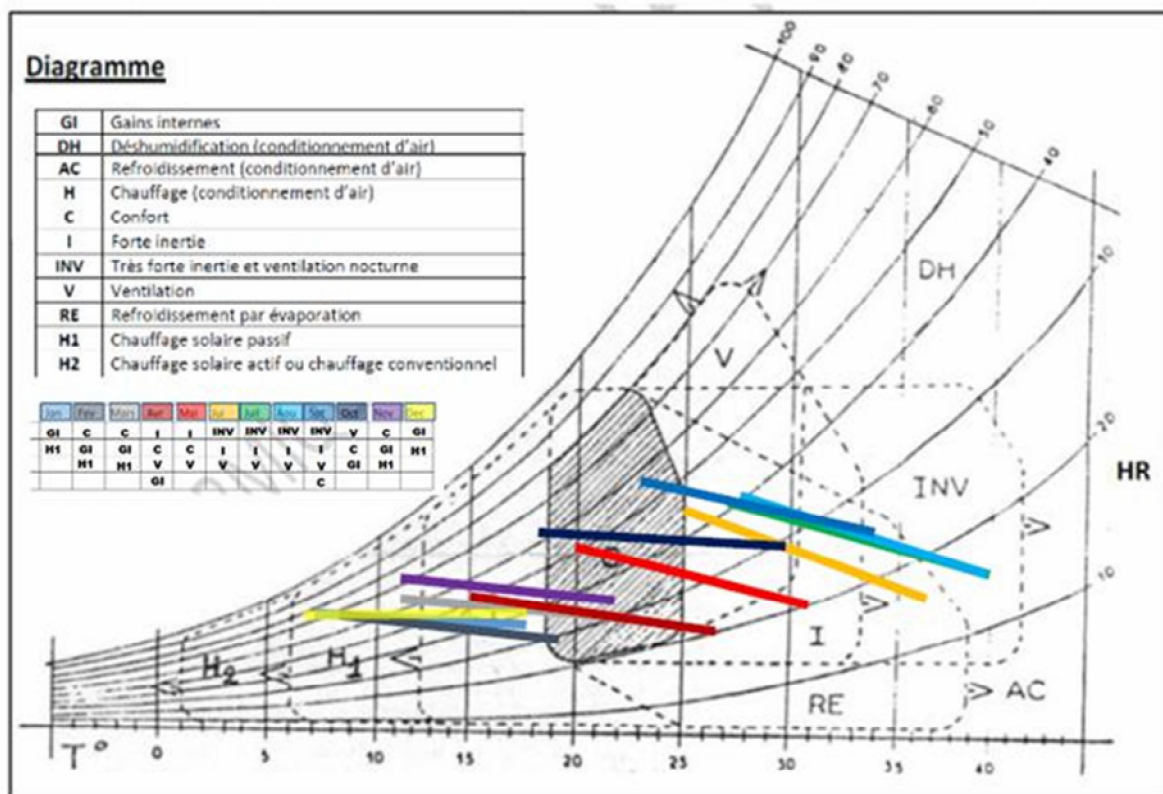
Figure I-14 : Données climatiques de Biskra en 2018.  
(Source : <https://fr.meteovista.be>).

### 1.4.2. Diagramme de Givoni :

#### Diagramme bioclimatique de Givoni

##### Table des données climatiques :

	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Spt	Oct	Nov	Dec
Température maximale	17,04	19,5	23,6	26,77	31,04	37,02	40,81	39,54	33,89	29,14	21,77	17,51
Humidité relative minimale	39	29,4	24,9	20,7	20,6	17,6	16	17,8	25,7	29,8	36,1	40,5
Température minimale	7,1	8,0	11,3	15	20	24,7	27,6	27,8	23,3	18	11,9	7,8
Humidité relative maximale	79,1	69,5	63,8	52,7	51,8	46,2	41,5	46,3	58,6	61,5	73,3	79,2



**Figure I-15 : Données climatiques de Biskra en 2018.**

(Source : <https://fr.meteovista.be>).

Durant les mois froids de janvier, février, mars, novembre et décembre, (1, 2, 3, 11,12), la combinaison de chauffage passif par rayonnement solaire et masse thermique et du chauffage conventionnel est nécessaire pour satisfaire le besoin en chauffage.

Pendant les mois chauds de juin, juillet, août et septembre, (6, 7, 8, 9), le refroidissement par évaporation, humidification, ventilation naturelle et masse thermique est indispensable pour réduire l'inconfort dû à la température élevée et de l'humidité faible. Les mois d'avril, mai (4, 5) et une grande partie (période nocturne) de juin et de septembre (6,9), un certain confort thermique est atteint.

D'après la méthode de Szockolay, nous avons défini un diagramme bioclimatique de la région de Biskra dans lequel, il ressort la zone de confort N et des zones de confort potentiels. Cette méthode s'appuie essentiellement sur les données climatiques de la région d'étude, et permet le choix des techniques passives et actives à adopter. Parmi ces techniques, on note la zone de confort potentielle basée sur la masse thermique M, la zone de confort potentielle utilisant la ventilation nocturne, etc.



L'analyse bioclimatique suivant cette méthode exprimée dans ce diagramme psychrométrique indique que la majeure partie de l'année se situe en dehors de la zone de confort N, mis à part une partie des mois de septembre, octobre, avril et mai. Une autre zone englobe les mois de novembre à mars. Durant cette période le bâtiment exige un chauffage pour assurer le confort des occupants. Le chauffage peut être passif, à gains direct ou indirect, pouvant subvenir aux besoins calorifiques du volume bâti. La chaleur captée le jour peut être restituée la nuit grâce à la masse thermique, car durant cette saison. Les températures nocturnes sont froides et peuvent atteindre  $-2^{\circ}\text{C}$ . La troisième zone présente une période de surchauffe. Elle est composée des mois de : mai à septembre. La masse thermique et la ventilation naturelle peuvent assurer un niveau de confort acceptable, lors d'une bonne partie des mois de mai et de septembre, pour les autres mois les techniques du confort potentiel s'avèrent incapable d'assurer le bien être des occupants, particulièrement l'après- midi. Le faible taux d'humidité handicape l'utilisation de ces techniques. Donc on a souvent recours à l'utilisation des systèmes de refroidissement évaporatif. Un refroidissement évaporatif avec une climatisation conventionnelle en appoint assure un confort thermique d'une part et réduit les dimensions des échangeurs des installations de refroidissement d'autre part (Besbas, 2018).

#### **1.4.2. Méthode de Mahoney :**

En s'inspirant de la méthode de Mahoney (les tables représentées dans l'annexe).

Ces chercheurs proposent un ordre d'analyse de climat en se basant sur les températures mensuelles, la température moyenne annuelle, les humidités relatives et la pluviométrie de la région considérée. À partir des tables de Mahoney, les recommandations nécessaires à la réalisation du confort hygrothermique dans un bâtiment à Biskra sont définies (Annexe). En appliquant cette méthode, nous arrivons à un certain nombre de recommandations qui vont de l'aspect général de la construction, l'orientation, la protection contre la pluie ou le soleil, jusqu'à la dimension des ouvertures, l'isolation et d'autres détails de la construction (annexe). Les recommandations concernant la ville se résument ainsi :

- Orientation Nord-sud (des grands axes Est-ouest).
- Compacité du plan de masse et du volume.
- Ouverture moyenne de 20% à 40%.
- Les murs extérieurs et intérieurs doivent être épais (inertie forte).
- Les toits épais (massifs et isolés) (temps de déphasage supérieur à huit heures).
- Espace extérieur pour terrasses pour dormir la nuit.

Recommandations sur les détails :

- Déphasage des murs extérieurs et des toits supérieur à 8 heures ;
- La taille moyenne pour les ouvertures de 25% à 40%.

On peut revoir quelques éléments que donne le tableau (2.1, Annexe) afin de mieux les adapter au climat de la région concernée. Ainsi, la taille moyenne, de même que l'orientation nord-sud, qui sont le résultat des données météorologiques qui placent certains mois de l'année dans la catégorie des mois «froids» semblent, dans un climat aussi sec, chaud et aride, des éléments assez peu adaptés. L'exactitude de certaines données relatives aux HR reste à vérifier. Le mieux serait d'opter pour un plan compact avec patio, et de petites ouvertures. La protection des ouvertures contre l'ensoleillement direct est un élément important, étant donné la longueur de la saison chaude (ceci sans pour autant priver les mois les plus frais de la chaleur solaire nécessaire). L'analyse et les résultats sont présentés sous forme de tables avec recommandations (Besbas, 2018).

### **1.4.3. Synthèse de l'analyse bioclimatique :**

A la lumière de ce qui est présenté dans ce chapitre, nous avons dégagé les conditions extérieures auxquelles la ville de Biskra est soumise. Cette dernière présente des conditions climatiques très rigoureuses et consacre une grande partie de sa consommation énergétique aux seules fins de la climatisation, afin de maintenir les occupants dans le confort pendant les périodes chaudes. Les fortes chaleurs concernent certes une grande partie de l'année, ce climat rigoureux impose l'utilisation des stratégies à adopter pour répondre aux problèmes d'inconfort hygrothermique dans le bâtiment dans la région aride de Biskra.

La construction à grande inertie thermique, satisfaisant un déphasage de transfert de flux de chaleur d'au moins 8 heures est recommandée pour satisfaire le confort thermique le long de toute l'année. Pendant les mois les plus froids (décembre, janvier et février), l'utilisation du chauffage conventionnel est nécessaire. Tandis qu'un gain d'énergie par rayonnement solaire est suffisant durant les mois froids de novembre, mars et avril. La saison chaude et sèche (de juin à septembre) nécessite deux procédés naturels de rafraîchissement dans un climat aride : le refroidissement par humidification et évaporation, et la ventilation nocturne pour dissiper l'air chaud de l'intérieur : une protection du rayonnement solaire direct est nécessaire durant cette saison. En résumé, il est recommandé d'assurer l'ombrage des espaces urbains par la présence des écrans végétaux et passages piétons couverts, profiter des orientations nord et sud, et de l'introvertir vers les cours et les patios, dotés d'ouvertures moyennes à petites protégées des radiations solaires directes et permettant une ventilation naturelle et efficace.

En supposant que le confort de l'être humain dépend de l'ambiance climatique, on tentera de répondre à cette question dans le suivant chapitre : « Le confort thermique et climat chaud et aride » (Besbas, 2018).

### **1.5. Conclusion :**

Biskra se caractérise par un climat désertique très dur en été, aride et très chaud avec des températures annuelles moyennes de 21.8 °C. Selon les moyennes des températures appréciables dans les dernières années, le mois de Juillet est le plus chaud de l'année, avec une température moyenne de 34.7°C et des précipitations techniquement inexistantes.

La ville de Biskra possède ainsi un gisement solaire très important surtout en mois de Juillet où on peut aller jusqu'à 107.4 heures ensoleillée par an. Ces conditions climatiques dures influent gravement sur le comportement thermique des bâtiments, et par conséquent le confort des occupants de ces bâtiments. Sur ce point, il devient indispensable de traiter ces situations par des solutions passives et ou hybrides. Le recours aux techniques de refroidissement par évaporation, humidification, ventilation naturelle et masse thermique est absolument le seul refuge pour réduire l'inconfort dû à la température élevée et de l'humidité faible de cette période.

## **2. Le confort thermique.**

### **2.1. Introduction :**

Le confort peut être défini comme le degré de désagrément ou de bien-être produit par les caractéristiques de l'environnement intérieur d'un bâtiment. Une telle définition considère une interaction entre l'individu et l'espace qui l'entoure, c'est-à-dire, entre des conditions ambiantes physiquement mesurables et certaines conditions individuelles qui affectent notre perception. La qualité de vie à l'intérieur de l'espace a été souvent rapprochée à une appréciation thermique en premier lieu.

Assurer une sensation de chaleur en hiver et se préserver des fortes chaleurs en été est depuis longtemps un souci majeur pour les concepteurs. D'ailleurs, un des objectifs de l'architecture réside dans la satisfaction des occupants par le bien être thermique. (Esteban Emilio Montenero Iturra, 2011).

## 2.2. La notion du confort thermique :

Le confort thermique est une notion très complexe vu le grand nombre de facteurs l'influençant et son caractère subjectif. En effet, il est difficile de donner une définition précise du confort thermique, mais d'une manière générale, il signifie l'existence d'un état de satisfaction de l'occupant dans une ambiance thermique. A ce propos, il existe plusieurs études dans la littérature qui donne des éclaircissements sur cette notion. De son côté Givoni (1978), le confort thermique ne peut être établi que si les mécanismes d'autorégulation du corps humain soient à un niveau minimum d'activité. D'une manière plus simplifiée, Fanger voit que le confort thermique est l'absence d'inconfort.

D'après Liébard et De Herde (2005), le confort thermique « est défini comme un état de satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique. Il est déterminé par l'équilibre dynamique établi par échange thermique entre le corps et son environnement ». Dans la même perspective, Hall (2010), voit que le confort thermique explique un état positif souhaitable par les personnes. En outre, Faria-Neto et al. (2016), considèrent le confort thermique comme un concept subjectif représentant un bon état d'esprit des personnes relatif à la sensation de la chaleur et du froid.

A son tour, Moser (2009), voit que « Le confort est lié aux sentiments, à la perception, à l'humeur et à la situation. Sa définition fait à la fois appel à une approche négative (absence d'inconfort, qui se caractérise par exemple par l'absence de douleur, d'anxiété,...) et à une approche positive (bien-être, satisfaction) ». Cette définition globale donne une idée sur la complexité du confort thermique vu ses multiples paramètres physiques, physiologiques, et psychologiques qui engendrent des recherches dans des disciplines différentes (Batier, 2016). Selon Sassine (2017), le confort thermique est un terme très vaste et ambigu car l'aspect subjectif de cette notion varie d'un individu à un autre selon plusieurs paramètres.

## 2.3. Les paramètres affectant le confort thermique :

La sensation de confort thermique est fonction de plusieurs paramètres :

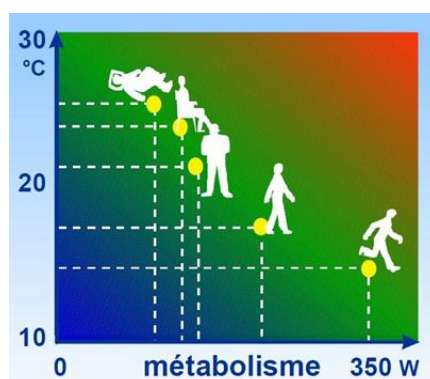
Paramètres liés à l'individu	Paramètres liés à l'environnement (paramètres physique d'ambiance)	Autres influences
Le métabolisme et l'habillement	La température de l'air, la température radiante, la vitesse de l'air et l'humidité relative.	Les gains internes, degrés d'occupation des locaux, couleurs.

Tableau I-1 : Les paramètres affectant le confort thermique.

(Source : Auteur inspiré de travail de Mazari, 2012).

### 2.3.1. Les paramètres liés à l'individu :

**Le métabolisme :** Le métabolisme (M) du corps humain est l'opération de la production de la chaleur afin de maintenir la température du corps autour de 36,7 °C. Ce paramètre varie en fonction de l'activité qui influe directement sur la température du confort.



**Figure I-16 : L'impact de l'activité et du métabolisme sur la température du confort.**  
(Source : Liébard et De Herde, 2005).

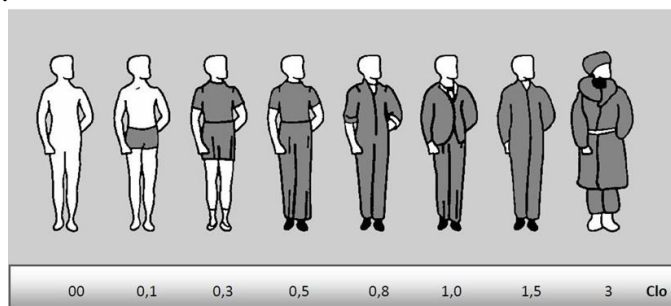
Le tableau illustre l'impact de différentes activités sur les valeurs du métabolisme (M en met et en W/m<sup>2</sup>). Le métabolisme (M) exprimé en "met" ou en "W/m<sup>2</sup>" où 1 met = 58,15 W/m<sup>2</sup> (Batier, 2016).

L'activité	met	W/m <sup>2</sup>
Repos, couché.	0,8	45
Repos, assis.	1,0	58
Activité légère, assis (bureau, école).	1,2	70
Activité légère, debout (laboratoire, industrie légère).	1,6	95
Activité moyenne, debout (travail sur machine).	2,0	115
Activité soutenue (travail lourd sur machine).	3,0	175

**Tableau I-2 : L'impact de l'activité sur les valeurs du métabolisme.**  
(Source : Jedidi et Benjeddou, 2016).

Les valeurs du métabolisme augmentent avec le renforcement du rythme d'activité ce qui engendre la production de la chaleur et l'augmentation des échanges thermiques entre le corps et l'environnement.

**L'habillement :** L'habillement ou l'isolement vestimentaire, est considéré comme un élément de résistance thermique contre les échanges de la chaleur entre la surface de la peau et l'ambiance thermique, il est mesuré en "Clo" où 1 Clo = 0,155 °C.m<sup>2</sup>/ W (Mazari, 2012, Lavoye et al., 2015).



**Figure I-17 : Valeurs de l'isolement vestimentaire de différents vêtements.**  
(Source : Mazari, 2012).

Le tableau présente les valeurs de l'isolement vestimentaire en fonction des tenues vestimentaires en détail.

Clo	Description des tenues vestimentaires (comprenant les chaussures, les chaussettes ou les bas)
0,30	Slip, T-shirt, shorts, chaussettes, sandals.
0,50	Caleçon, chemise à manches courtes, pantalon léger, chaussettes fines, Chaussures.
0,70	Slip, jupon, bas, robe, chaussures.
0,70	Sous-vêtements, chemise, pantalon, chaussettes, chaussures.
1,00	Slip, chemise, pantalon, veste, chaussettes, chaussures.
1,10	Slip, bas, corsage, jupe longue, veste, chaussures.
1,30	Sous-vêtements à manches et jambes longues, chemise, pantalon, tricot, veste, chaussettes, chaussures.
1,50	Sous-vêtements à manches et jambes courtes, chemise, gilet, veste, manteau, chaussettes, chaussures.

**Tableau I-3 : Les valeurs de l'isolement vestimentaire en fonction des tenues vestimentaires.**  
(Source : Batier, 2016).

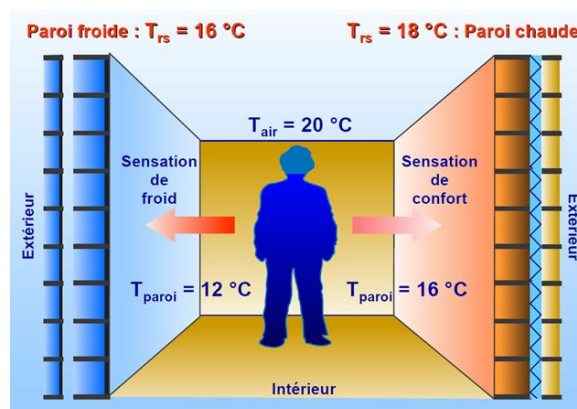
Chaque élément de l'habillement influe directement sur la valeur de l'isolement vestimentaire qui influe pour sa part sur les échanges thermiques entre le corps et l'environnement.

### 2.3.2. Les paramètres liés à l'environnement :

**La température ambiante de l'air :** La température ambiante de l'air ( $T_a$ ) est un paramètre très important qui influe sur la température du confort. Cette dernière appelée aussi la température opérative ou la température résultante sèche, elle est calculée par la moyenne de la température ambiante ( $T_a$ ) et la température des parois ( $T_p$ ). (Jedidi et Benjeddou, 2016) comme le démontre la formule suivante :

$$T_{rs} = (T_a + T_p) / 2$$

**La température des parois :** La température des parois ( $T_p$ ) représente la température moyenne de toutes les parois internes. Ce paramètre influe sur la température opérative ainsi que sur le confort tactile par l'effet de la paroi froide ou la paroi chaude.



**Figure I-18 : L'influence de la température de l'air et des parois sur la température de confort.**  
(Source : Liébard et De Herde, 2005)

La prise en compte de la température de l'air et la température des parois permet d'assurer des ambiances confortables.

**L'humidité relative :** L'humidité relative (HR) représente le rapport entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température ( $T_a$ ) et la quantité maximale d'eau contenue à la même température (Jedidi et Benjeddou, 2016). La figure illustre la plage de taux d'humidité ambiante exprimée en pourcentage (%) et ses différents impacts.

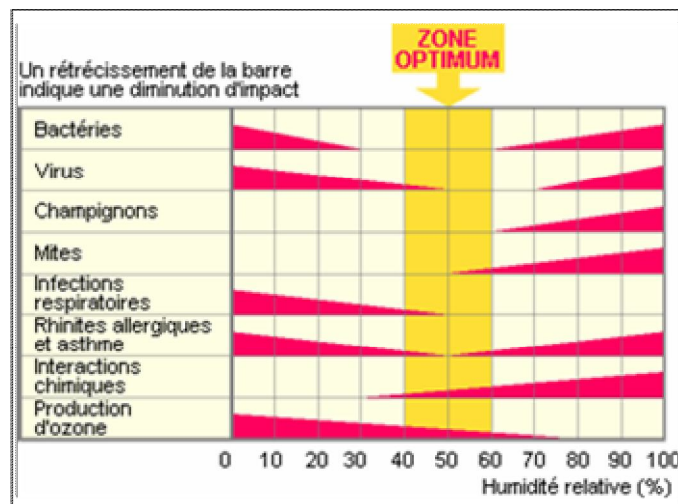


Figure I-19 : La plage de taux d'humidité ambiante et ses différents impacts.

(Source : www.energieplus.be, d'après Scofield et Sterling, 2017).

La plage de taux d'humidité ambiante optimale d'un point de vue hygiénique se situe entre 40 et 60 %. Pour plus de détails, Jedidi et Benjeddou (2016), voient que les problèmes liés à l'humidité commencent hors de la plage d'humidité (de 40 à 60 %) avec deux manières :

- **Un taux d'humidité inférieur à 30 % :** Un milieu sec avec des problèmes respiratoires et l'augmentation de la concentration de la poussière dans l'air, etc. ;
- **Un taux d'humidité supérieur à 70 % :** Une ambiance très humide qui engendre des problèmes de la condensation, la croissance des microbes et des virus ainsi que l'apparition des champignons.

**La vitesse de l'air :** La vitesse de l'air ( $V_{air}$ ) est un paramètre qui influe sur les échanges de la chaleur par convection et augmente l'évaporation de la surface de la peau, elle est mesurée en "m/s" (Liébard et De Herde, 2005). La figure présente la variation de la température du confort selon la vitesse de l'air avec un habillement moyen.

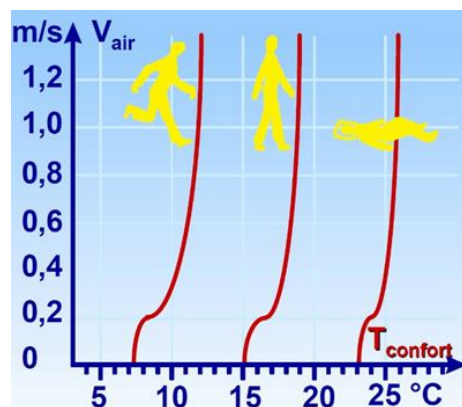


Figure I-20 : La variation de la température de confort en fonction de la vitesse de l'air.

(Source : Liébard et De Herde, 2005).



Après la vitesse de 0,2 m/s, l'air pousse l'individu à ressentir son mouvement et constitue une source de gêne (Jedidi et Benjeddou, 2016).

### 2.3.3. Paramètres liés aux gains thermiques internes :

Avec l'essor de la technologie et des besoins électriques (éclairage, électroménager,...), les apports de chaleur internes ont fortement augmenté. Les appareils électriques transforment en effet quasiment toute l'énergie qu'ils consomment en chaleur, Les postes informatiques sont également de vraies sources de chaleur et les occupants constituent eux aussi une autre source d'apports internes par leur métabolisme.

Les apports internes comprennent donc, toute quantité de chaleur générée dans l'espace par des sources internes autres que le système de chauffage. Ces gains de chaleur dépendent du type du bâtiment, du nombre des utilisateurs et de son usage.

D'après Hugues Boivin, 2007 le confort de l'espace est directement influencé par le taux de ces gains internes, on peut dire que ces apports sont inévitables dès lors que les locaux sont habités. Il faut noter cependant que ces apports sont variables selon le comportement des occupants, et qu'ils constituent donc un facteur d'aggravation de l'inconfort chaud, sur lequel les moyens d'action architecturaux sont limités. Seuls, une bonne ventilation et un comportement adéquat de l'occupant peuvent réduire ces apports ou leur influence sur la température intérieure (Izard-L, 1994).

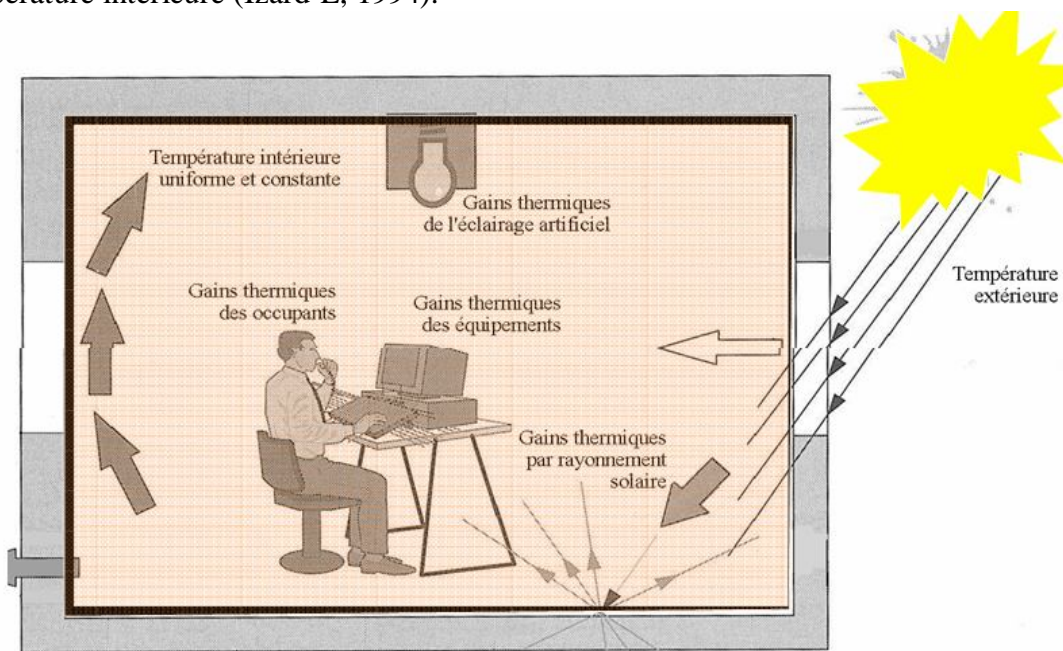


Figure I-21 : Gains thermique interne d'un espace.  
(Source : Mazri.M, 2012).

## 2.4. Les méthodes d'évaluation du confort thermique :

L'évaluation du confort thermique a conduit à développer et élaborer des indices de prédiction qui permettant de déterminer les zones de confort.

### 2.4.1. Les enquêtes in situ :

Selon (B. Moujalled, 2007) les études in situ sur le confort thermique ont constitué une étape importante pour le confort thermique dans les bâtiments. (Nous signalons que les méthodes d'enquêtes varient en fonction de leurs objectifs, comme il s'avère nécessaire aussi de signaler qu'il existe des enquêtes qui étudient l'influence de certains éléments sur le confort thermique).

### 2.4.2. Les mesures physiques :

Elles permettent de quantifier l'ambiance intérieure d'un local (température et humidité), selon un intervalle horaire fixé par l'enquêteur en fonction de ses objectifs. Les moyens utilisés dans cette méthode sont : le thermomètre (mesurer la température) et l'hygromètre (quantifier l'humidité). L'inconvénient de cette méthode est qu'elle ne peut être que dans les bâtiments déjà construits, c'est-à-dire ne pas être réalisée pendant les premières phases de conception.

### 2.5. Les indices de l'évaluation du confort thermique :

Des recherches se sont focalisées sur les raisons d'inconfort, et ont permis de recenser un certain nombre d'indices qui sont en général définis en fonction de la température et de la vitesse de l'air.

#### 2.5.1. Les indices PMV et PPD :

Ils consistent à mesurer et évaluer l'ambiance à l'intérieur du bâtiment. Le PMV (Predicted Mean Vote : Vote Moyen Prévisible) se base sur la moyenne des avis sur les appréciations du confort tenant compte du métabolisme énergétique, résistance thermique, température de l'air, température moyenne de rayonnement, vitesse de l'air.

Valeur de l'indice PMV	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3
Sensation thermique	Chaud	Tiède	Légèrement tiède	Neutre	Légèrement frais	Frais	Froid

Tableau I-4 : L'échelle des réponses demandées aux sujets.

(Source : André Bonhomme ; 1986).

Le PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied : Pourcentage Prévisible d'Insatisfaits) indique le nombre prévisible des non satisfaits. Les valeurs PPD ne doivent pas dépasser les 10 % pour assurer un bon confort.

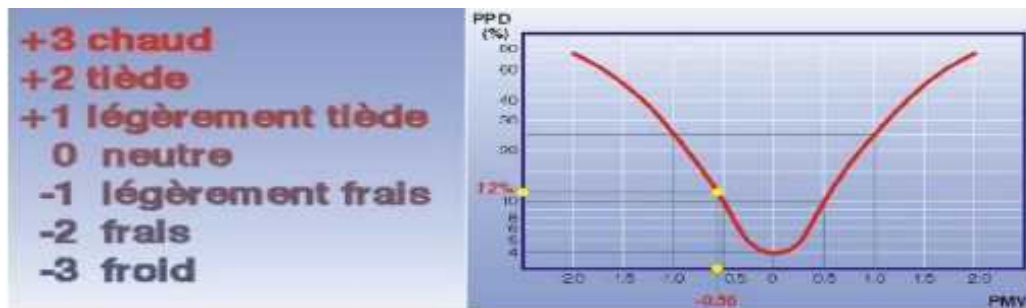


Figure I-22 : correspondance entre PMV et PPD.

(Source : [www-energie2.arch.0ucl.ac.beconfort](http://www-energie2.arch.0ucl.ac.beconfort)).

#### 2.5.2. Les indices environnementaux simples :

- **La température résultante ou température opérative** : La température opérative est un indice de confort qui prend en compte l'effet de la convection et du rayonnement ( $t_a$  et  $t_r$ ).
- **La température équivalente ( $t_{eq}$ )** : La température équivalente est un indice de confort qui permet de prendre en compte les effets des températures d'air, de rayonnement et de la vitesse d'air ( $t_a$ ,  $t_r$  et  $v_a$ ).
- **La température effective (ET)** : La température effective est un indice de confort qui prend en compte les effets de la température et de l'humidité ( $t_a$ ,  $t_r$ , et  $p_a$ ).



**Remarque :** pour calculer la température effective, il faut connaître la mouillure cutanée et l'indice de perméabilité à la vapeur d'eau des vêtements (im).

### 2.5.3. Les outils graphiques :

Outres les indices thermiques, d'autres recherches ont essayé de démontrer les limites du confort thermique sous forme de diagramme bioclimatiques, dont le premier a été réalisée par V.Olgay en 1953.

#### 2.5.3.1. Définition du diagramme bioclimatique :

Le diagramme bioclimatique est un outil d'aide à la décision globale du projet permettant d'établir le degré de nécessité de mise en œuvre de grandes options telles que l'inertie thermique, la ventilation généralisée, le refroidissement évaporatif, puis le chauffage ou la climatisation, il est construit sur un diagramme psychrométrique (appelé aussi diagramme de l'air humide), (Izard, J-L.Kaçala, O.2008). Il permet de représenter plusieurs zones telles qu'elles sont mentionnées sur les clés du graphe ci-dessous :

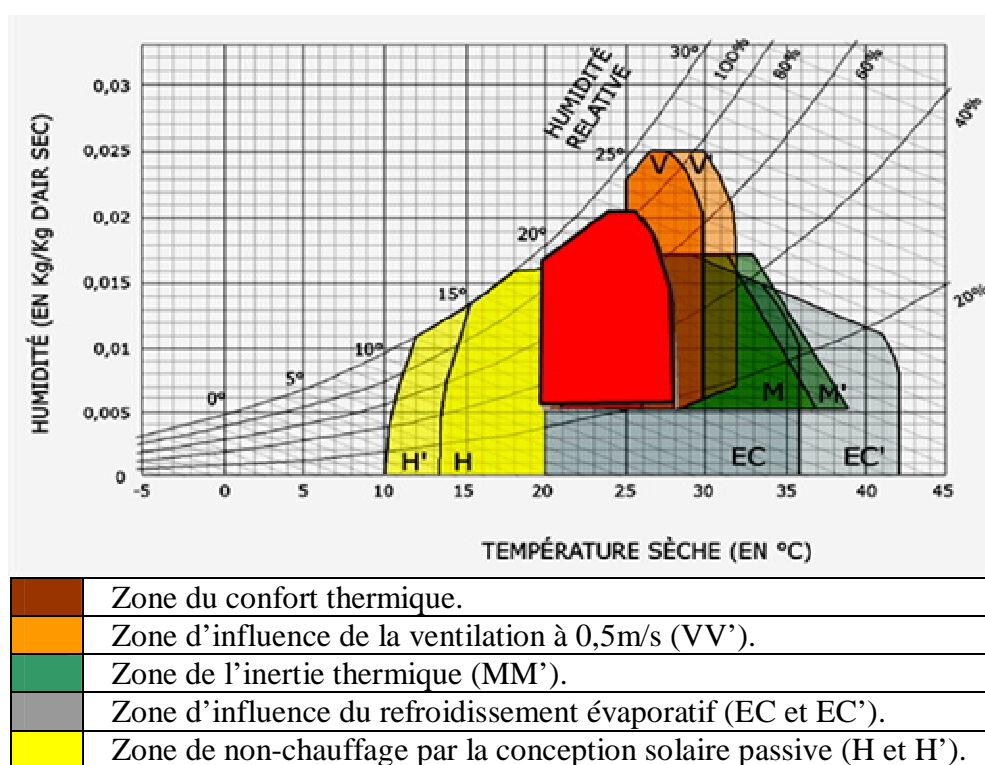


Figure I-23 : Le diagramme bioclimatique du bâtiment.

(Source : Izard, J-L, O. 2008)

Le diagramme bioclimatique n'est pas un outil de dimensionnement précis du projet, mail il constitue bien un guide pour aider l'architecte à prendre les bonnes décisions en phase esquisse. (Izard, J-L, O. 2008).

#### 2.5.3.2. Le diagramme de Givoni :

Givoni a élaboré une méthode expérimentale qui se base sur des études d'Olgay, où il représente les limites des ambiances confortables sur un diagramme psychrométrique courant. (Houhou. Mes Naim, 2012).

Il a mis au point un outil synthétisant les zones thermo-hygométriques et les moyens d'intervention par des dispositifs architecturaux ou techniques qui peuvent être utilisés pour remédier aux sollicitations du climat (Chatlet. A et al, 1998). Ceci est exprimé sur le

diagramme psychométrique ou bioclimatique, présenté dans son ouvrage « L'homme, l'architecture, le climat ».

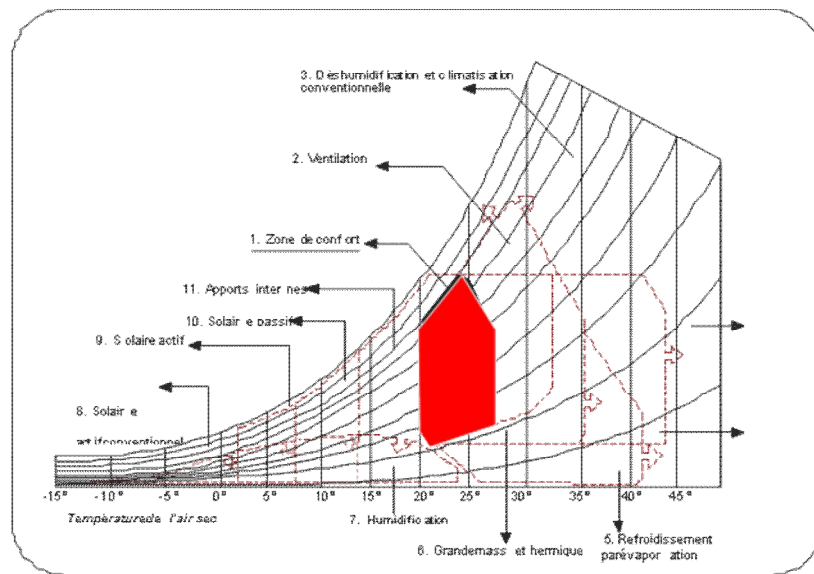


Figure I-24 : Zones de confort selon le diagramme bioclimatique de Givoni.  
(Source : Houhou, Med Naim, 2012).

### 2.5.3.3. Les tables de Mahoney :

Les tables de Mahoney sont une série de tableaux de référence d'architecture utilisées comme guide pour obtenir des bâtiments confortables, adapté aux conditions climatiques. Ces tables sont constituées d'une suite de six (6) tableaux (Ould Henia, 2003).

Quatre tableaux sont utilisés pour entrer les données climatiques :

1. Températures : moyennes mensuelles des températures maximales et minimales.
2. Humidité, précipitations et vent.
3. Comparaison des limites de confort et du climat.
4. Indicateurs : par combinaison des données des tables précédentes, classification de l'humidité ou de l'aridité pour chaque mois.

Les deux autres tableaux indiquent les recommandations architecturales à respecter telles que la forme et l'orientation du bâtiment, la position, la dimension ou l'exposition des ouvertures.....etc.

En fonction des données climatiques (Températures, Humidités relatives, Précipitations, du site d'intervention, la méthode de Mahoney va aider l'architecte à prendre les meilleures décisions en phase esquisse.

### 2.6. Synthèse :

Chaque zone géographique est caractérisée par des conditions climatiques résultant de l'interaction de plusieurs éléments ou phénomènes comme la température, l'humidité, le vent et les précipitations. L'homme cherche toujours à s'acclimater avec ces éléments en prenant en considération leurs effets afin d'obtenir un confort thermique et une qualité d'ambiance à travers une recherche sur l'enveloppe la plus performante soit par des éléments de construction ou par l'utilisation de matériaux isolants et autres dispositifs au niveau de l'enveloppe comme la double façade ventilée.

## Chapitre II : LA DOUBLE FACADE VENTILEE DANS L'ENVELOPPE ARCHITECTURALE.

### 1. L'enveloppe architecturale.

**Introduction :** Dans ce chapitre, on aborde tout ce qui concerne l'enveloppe architecturale en commençant par la définition de cette dernière, son développement au fil du temps et sa conception théorique.

#### 1.1. Définition de l'enveloppe architecturale :

On peut définir l'enveloppe de bâtiment selon différentes manières dont celle-ci : « L'enveloppe d'un bâtiment peut être une limite, une frontière séparant des milieux différents ». (Marc Casamassima, 2010).

On peut aussi considérer l'enveloppe architecturale sous différents points de vue d'auteurs :

- **Pour l'architecte :** c'est une surface de contact entre le bâtiment et la ville.
- **Pour le thermicien :** c'est une zone de transition entre une ambiance intérieure et un environnement extérieur.
- **Pour l'ingénieur :** c'est le point de liaison entre des composants passifs et des systèmes actifs.
- **Pour le chef de projet :** c'est l'objet sur lequel il va coordonner les interventions de différents corps de métier, depuis le concepteur jusqu'aux ouvriers.
- **Pour le législateur :** c'est un des éléments caractéristiques du bâtiment pour lequel il cherchera à rapprocher le plus possible les technologies performantes disponibles et des exigences réglementaires généralisables.
- **Pour l'occupant enfin :** ces parois qui l'entourent sont des éléments de confort thermique et visuel et constituent un facteur d'esthétique de son bâtiment.








Au global, l'enveloppe du bâtiment est donc un lieu de jonction entre des facteurs multiples, concernant de nombreux intervenants à l'acte de construire. Leur objectif commun est de parvenir à optimiser l'ensemble des fonctions qu'elle aura à assurer. (Pierre HERANT, 2014). Notre recherche consiste à l'étude de la façade et plus précisément la double façade ventilée.

#### 1.2. Le développement de la notion d'enveloppe à travers l'historique :

L'homme de par sa nature biologique est toujours à la recherche d'abri et d'enveloppe pour s'assurer un confort décent. Dès sa création, l'être humain est créé dans le ventre de sa mère qui est une enveloppe naturelle et laquelle représente la première forme primitive d'enveloppe pour l'homme. Ensuite vient l'ère d'homo sapiens qui trouva l'enveloppe dans les grottes et plus tard dans les tentes après l'invention du tissu, pour constituer une enveloppe architecturale selon les besoins de l'homme à son époque.

Quant aux édifices actuels et modernes, la recherche en matière de matériaux pour le développement de l'enveloppe architecturale, ne souffre d'aucune défaillance du fait de la technologie de pointe qui traverse une étape remarquable et atteindre sa vitesse de croisière. Source : (Emilie, 2008).

<b>Formes primitives de l'enveloppe.</b>			
<b>Le corps maternel</b>	<b>L'habitat troglodytique :</b> (L'enveloppe protectrice)	<b>L'enveloppe symbolique :</b> (Une protection et un pouvoir)	
			

<b>Vers une enveloppe structurante : (L'enveloppe est à la fois paroi et structure).</b>			
<b>L'Antiquité gréco-romaine :</b> L'enveloppe « solide et utile ».	<b>Les bâtiments de moyen âge :</b> La visée technique de l'enveloppe et son élan vertical.	<b>La renaissance :</b> La primauté du beau, de l'ordre et de la statique.	<b>Le baroque :</b> Tentatives de mouvances.
 Temple Grec	 Temple Romain	 Cathédrale de Bauvais	 Santa Maria dell Spina
 Château de Hambon	 Marie du Louvre	 Saint Paul's cathédral	

<b>Vers une dématérialisation de l'enveloppe.</b>			
Une structure enveloppante intégrée et unitaire (Victor Horta).	L'enveloppe en quête de vérité (Charles Rennie Mackintosh) L'enveloppe et son élan vertical.	Les valeurs bidimensionnelles de la surface enveloppante (Peter Behrens).	Rythmes graphiques de l'enveloppe Hans Poelzig.
			
Futurisme, constructivisme, De Stijl.	Les formes dynamiques de la spirale (Vladimir Tatline).	Variations rythmiques de l'enveloppe comme ossature tramée.	Interprétation lyrique de la structure enveloppante Leonidovo Transparence et solidité.
			



De nouveaux matériaux aux nouveaux ordres architecturaux.				
August Perret : ordre et vérité du béton armé, dualisme entre structure et remplissage.	Du « plan libre » à « la façade libre » Le Corbusier.	« The international style » des années 1930. L'enveloppe autonome ou englobante.	L'enveloppe « creuse » Louis Khan.	Entre ordre et fragmentation. L'enveloppe ossature comme trame appliquée.
				

Tableau II-1 : Le développement de l'enveloppe architecturale (Source : auteur, 2019 inspiré de [http://lespacedelentredeux.blogspot.com/2009/03/introduction\\_17.html](http://lespacedelentredeux.blogspot.com/2009/03/introduction_17.html)).

### 1.3. Le choix d'une enveloppe architecturale :

Le choix d'une enveloppe performante est une étape fondamentale pour n'importe quel projet où l'architecte fait face à des problématiques de fonctionnement, des exigences énergétiques et environnementales sans omettre le côté esthétique pour que son projet soit réussi. Il y a plusieurs paramètres pour le choix d'une enveloppe dont entre autres :

- **La partie architecturale** : en fonction du programme, du lieu, de l'identité et du style.
- **Les prescriptions urbanistiques** : la nature des matériaux de construction disponibles est exigée ainsi que leurs couleurs et leurs textures.
- **Les contraintes climatiques** : comme l'ensoleillement, la pluie, l'humidité et le vent.
- **Les contraintes techniques** : la mise en œuvre et la maîtrise de la technique adéquate pour chaque matériau, l'entretien, l'étanchéité et la durabilité.
- **La partie esthétique** : comme l'harmonie, l'expression, la propreté et la finition.

Ces paramètres sont hyper interférés avec une inter influence comme le démontre la figure ci-dessous : Les paramètres du choix d'une enveloppe. (Source : Dr. M.A. Khadraoui, 2015 inspiré par le travail de FRANCY, S, Architecture, modélisation et environnement. Ecole nationale supérieure d'architecture de Nancy).

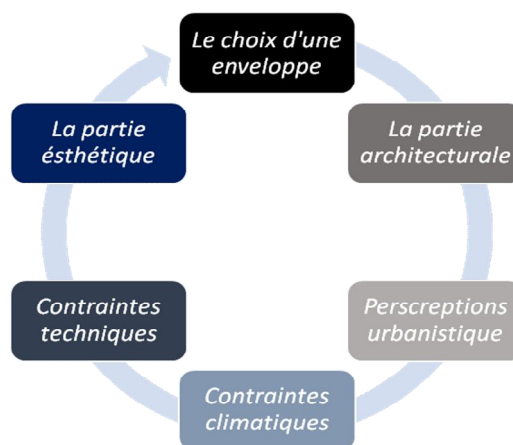


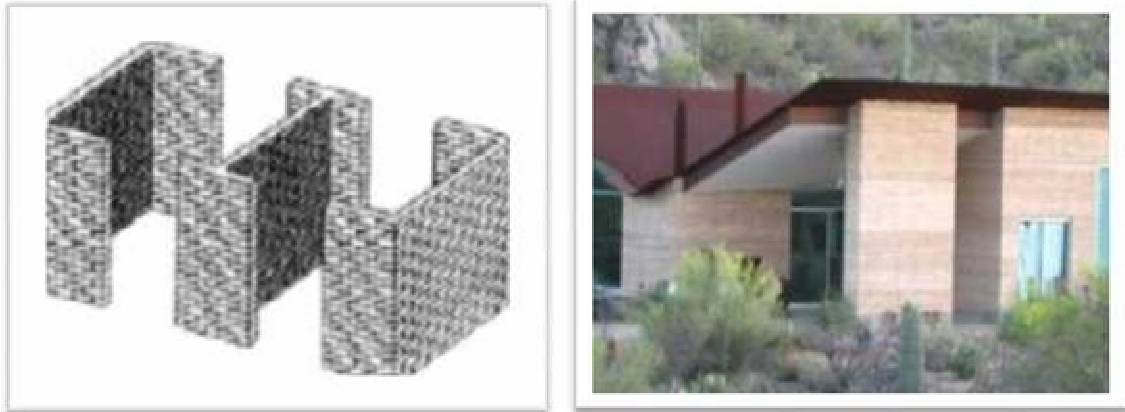
Figure II-1 : Les paramètres du choix d'une enveloppe. (Source : FRANCY, S. Architecture, modélisation et environnement. Ecole nationale supérieure d'architecture de Nancy).



#### 1.4. Les types des enveloppes architecturales :

Les enveloppes varient selon leur rôle et matériaux utilisés. On distingue deux grands types : une enveloppe porteuse et une non porteuse (CERTU, 2003).

- **Les enveloppes porteuses :** Les enveloppes sont appelées porteuses lorsqu'elles servent d'appuis aux planchers et charpentes qui assurent la descente des charges. Les matériaux couramment utilisés sont le béton armé et la maçonnerie avec une grande épaisseur (CERTU, 2003).



**Figure II-2 : Enveloppe porteuse.**

(Source : [www.grenoble.archi.fr/cours.../2\\_3\\_Analyse-fonctionnelle-Systemes-constructifs.pdf](http://www.grenoble.archi.fr/cours.../2_3_Analyse-fonctionnelle-Systemes-constructifs.pdf)).

- **Les enveloppes non porteuses :** Par définition, les enveloppes non porteuses ne participent pas à la stabilité de la construction. Selon (CERTU, 2003), on peut distinguer deux types d'enveloppes non porteuses : l'enveloppe légère et l'enveloppe maçonnée (<15cm d'épaisseur).
  - **Les enveloppes légères :** Une enveloppe légère est constituée d'une ou de plusieurs parois dont celle de l'extérieure est caractérisée par une masse faible. Elle est dénommée mur-rideau (ou façade rideau) ou semi rideau si elle passe devant les abouts de planchers alors qu'un mur panneau (ou façade panneau) est caractérisé par le fait que les ossatures horizontales et/ou verticales restent apparentes (CERTU, 2003).



**Figure II-3 : Enveloppe légère (mur rideau).**

(Source : <http://vitrieriejl.com/produits/murs-rideaux-fenestration>).

- **Les enveloppes en remplissage maçonné < 15 cm d'épaisseur :** Incluse toute maçonnerie de petits éléments de moins de 15 cm d'épaisseur. Ce type présente une trame délimitée par l'ossature du bâtiment (CERTU, 2003).

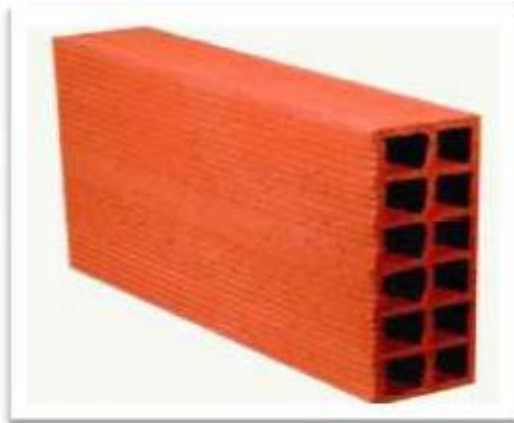


Figure II-4 : Maçonnerie avec une épaisseur de 10 cm.

(Source : <http://www.poterie-construction.fr/solutions-et-produits/mur/briques>).

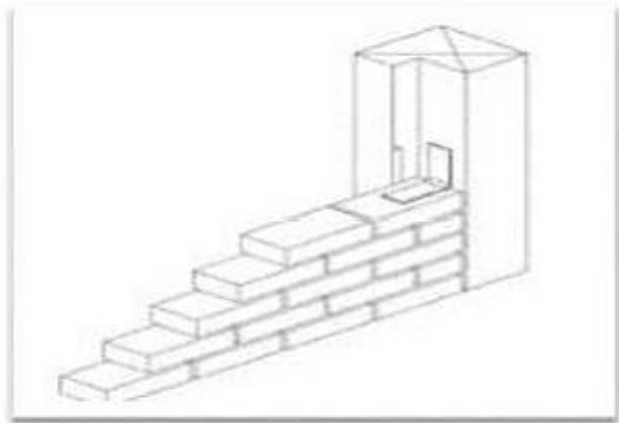


Figure II-5 : Mur en maçonnerie non porteur.

(Source : [http://www.cndb.org/?p=poteau\\_poutre](http://www.cndb.org/?p=poteau_poutre)).

## 1.5. Classification des enveloppes :

### 1.5.1. Selon la fonction :

On distingue deux catégories :

- **Enveloppe décorative :** Les enveloppes décoratives ont un rôle ornemental.
- **Enveloppe active (ingénieuse) :** Les enveloppes ingénieuses sont des dispositifs importants dans le projet et ils ont un rôle primordial sur le plan du confort thermique, visuel, acoustique et sur le plan énergétique et environnemental. On trouve entre autres :
  - **Le mur capteur :** Le mur capteur est composé d'un vitrage à forte émissivité devant un mur à grande inertie thermique. Le rayonnement solaire arrive et chauffe la lame d'air sise entre le vitrage et le mur, cette chaleur est ensuite redistribuée avec un certain déphasage à l'intérieur (Noé21, 2012).

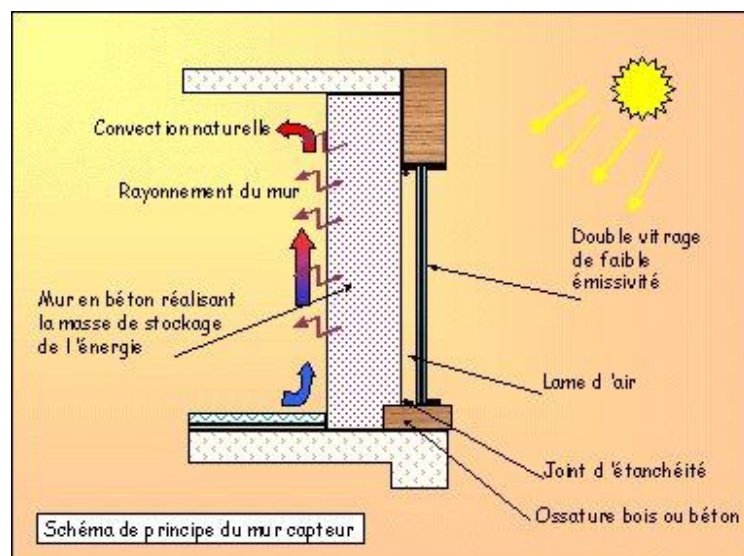


Figure II-6 : Schéma de principe du mur capteur.

(Source : [http://www.cobse.fr/images/mur\\_capteur.jpg](http://www.cobse.fr/images/mur_capteur.jpg)).



- **Le mur Trombe :** Le mur Trombe est basé sur le même phénomène physique que le mur capteur mais a en plus des clapets situés en partie supérieure et inférieure du mur permettant une circulation de l'air afin d'éviter les surchauffements en été (Noé21, 2012).

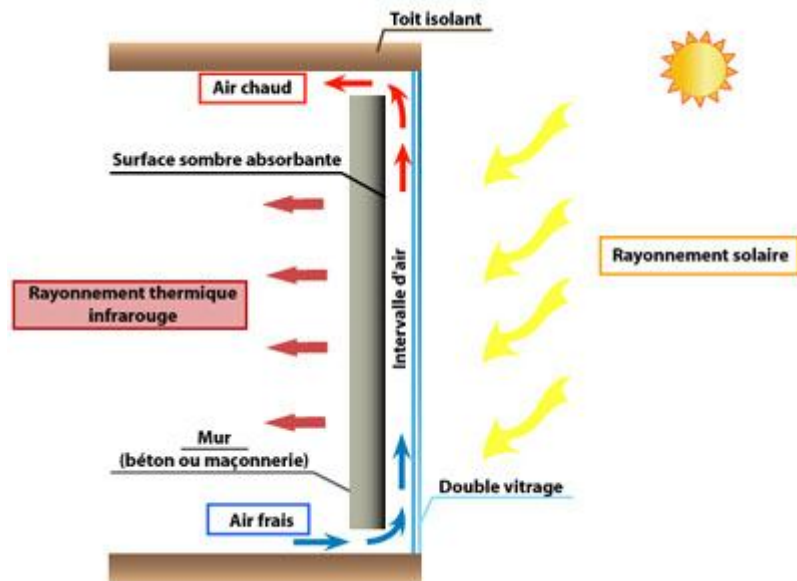


Figure II-7 : Schéma de principe du Mur Trombe.

(Source : <http://www.caue54.com/UPLOAD/glossaire/Mur%20Trombe.jpg>).

- **La véranda :** Le principe de véranda ou serre bioclimatique est similaire à celui du mur trombe, la seule différence est que la lame d'air se transforme en espace de vie (Noé21, 2012).



Figure II-8 : Schéma de principe d'une véranda.

(Source : [www.veranda.comprendrechoisir.com](http://www.veranda.comprendrechoisir.com)).

### 1.5.2. Selon le principe de fonctionnement :

On distingue deux types d'enveloppes :

- **L'enveloppe simple :** est une enveloppe qui sert à enclore un espace et le protéger contre les influences extérieures qui sont les vents, la pluie, la neige, les rayons solaires et le bruit.
- **L'enveloppe ventilée :** Une enveloppe avec des ouvertures et des joints de revêtement extérieurs ouverts pour empêcher la surchauffe et/ou la condensation

de la paroi et de la couche isolante grâce à la ventilation où l'air circulant entre l'isolation et le revêtement.

### 1.5.3. Selon les matériaux utilisés :

On distingue plusieurs types :

#### L'enveloppe en pierre :

Les premières constructions ne disposaient pas de séparation entre leur mur et la structure, le mur était donc le seul élément qui grâce à son importante épaisseur assurait les problèmes de résistance, d'étanchéité et de protection thermique. (Carles,2011).



**Figure II-9 : Enveloppe en pierre.**  
(Source : Dr. M.A. Khadraoui, 2017).

#### L'enveloppe en brique :

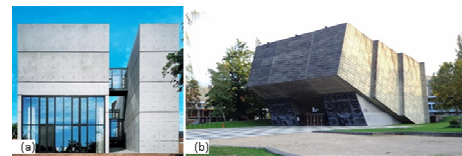
La brique utilisée comme d'enveloppe apparente est le résultat d'un long processus de variation du mur massif et porteur qui doit être avec qualité afin de garantir la couleur et l'absence de l'imperfection.



**Figure II-10 : Enveloppe en brique.**  
(Source : (a) Herzog et al., 2004; (b) Trachte, 2012).

#### L'enveloppe en béton armé et en blocs de béton :

Les enveloppes en béton armé assurent simultanément la fonction structurelle porteuse et séparative grâce à un seul matériau aussi elle assure l'étanchéité et l'isolement.



**Figure II-11 : Enveloppe en béton armé.**  
(Source : (a) Hegger et al., 2011; (b) Dr.M.A. Khadraoui , 2017).

**L'enveloppe en bois :** Le bois est un matériau qui à été utilisé le long de l'histoire soit comme habillage ou comme une construction totalement en bois.



**Figure II-12 : Enveloppe en bois.**  
(Source : (a) Herzog et al., 2004 ; (b) Broto, 2011).

#### L'enveloppe métallique :

Les enveloppes métalliques offrent des possibilités multiples formelles, structurelles et une composition qui a été utilisée à large échelle pour ses avantages.



**Figure II-13 : Enveloppe en métal.**  
(Source : (a) Herzog et al., 2004; (b) Dr.M.A. Khadraoui, 2017).

#### L'enveloppe en verre :

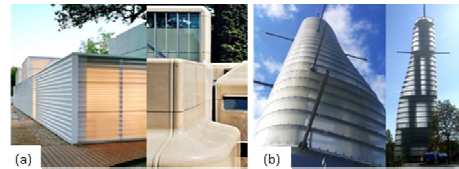
La recherche cours de l'histoire d'un élément léger, une épaisseur minimale, autoporteur, de grandes dimensions répondant aux exigences d'imperméabilité, d'étanchéité, d'isolement acoustique et thermique a transformé le verre en un matériau capable de résoudre l'antithèse historique entre l'intérieur et l'extérieur (Carles, 2011).



**Figure II-14: Enveloppe en verre.**  
(Source : Maufay, 2018).

### L'enveloppe en plastique :

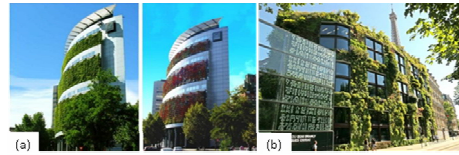
Il existe une utilisation croissante du plastique dans le domaine de la construction vu ses caractéristiques multiformes, sa fluidité et surtout sa légèreté.



**Figure II-15 : Enveloppes en plastique.**  
(Source : (a) Herzog et al., 2004 ; (b) Ries, 2012).

### L'enveloppe végétalisée :

C'est une paroi qui s'élève en parallèle aux murs du bâtiment et servira à la fois d'écran contre les intempéries, le bruit et la pollution atmosphérique.



**Figure II-16 : Enveloppes végétalisées.**  
(Source : (a) Dugué, 2013; (b) Martin, 2015)

### L'enveloppe en textile :

L'habillage d'une façade avec une enveloppe de bâtiment textile est souvent choisi dans le cadre d'une rénovation, d'une transformation ou d'une nouvelle construction. La façade rideau épouse le bâtiment avec une enveloppe et lui confère une note particulièrement raffinée. Les façades textiles protègent des rayons du soleil et de la pluie battante.



**Figure II-17 : Enveloppes en textile.**  
(Source : sergeferrari.com, 2018).

### L'enveloppe mixte :

L'enveloppe mixte est celle dont la peau est composée de plusieurs matériaux qui produisent une combinaison de couleurs et de textures générant un jeu et une composition.



**Figure II-18 : Les enveloppes mixtes.**  
Source : (a) Herzog et al., 2004; (b) Dr.M.A. Khadraoui, 2017).

#### 1.5.4. Selon le type :

On distingue deux enveloppes :

- **L'enveloppe monocouche** : L'enveloppe est composée d'une seule couche "peau" ordinairement étanche.
- **L'enveloppe multicouche** : L'enveloppe est constituée de plusieurs couches "peaux", une ordinaire étanche et une autre extérieure ventilée.

Concernant la façade double peau (FDP), on va étudier cette enveloppe en détails dans la deuxième partie de ce chapitre.

#### 1.5.5. Selon la forme :

On distingue globalement quatre types :

##### Une enveloppe géométrique droite :

C'est la projection verticale des plans purement géométriques rectangulaires ou carrés



**Figure II-19 : L'enveloppe géométrique droite.**  
(Source : Dr. M.A. Khadraoui, 2017).

### Une enveloppe inclinée :

Enveloppe non verticale inclinée vers l'intérieur ou vers l'extérieur.



**Figure II-20 : L'enveloppe inclinée.**

(Source : (a) Ronfini et al., 2016 ; (b) Dr. M.A. Khadraoui, 2017).

### Une enveloppe organique (courbée) :

Une enveloppe fluide et dynamique caractérisée par des courbes en l'absence de lignes droites.



**Figure II-21: L'enveloppe organique.**

(Source : (a) Herzog et al., 2004 ; (b) Ziegler et al., 2012).

### Une enveloppe mixte :

Elle contient des parties géométriques et parties organiques.



**Figure II-22 : Enveloppe avec des formes mixtes.**

(Source : Dr.M.A. Khadraoui, 2017).

## 1.6. Le rôle de l'enveloppe architecturale :

(Catherine BALTUS, Sophie LIESSE, 2006).

Selon la définition, l'enveloppe du bâtiment est l'élément le plus important dans le projet, car il doit pouvoir répondre aux sollicitations climatiques et environnementales précédemment énoncées.

Pour ce faire, l'enveloppe, son architecture et toutes ses constituants doivent :

- **Contrôler le climat local, c'est-à-dire** : l'eau sous toutes ses formes, l'air et le vent, la chaleur, le rayonnement solaire, les variations de température, etc.
- **Contrôler l'environnement, c'est-à-dire** : les bruits aériens extérieurs, la lumière et les vues en général, etc.
- **Remplir éventuellement d'autres fonctions telles que** : le contrôle des points sensibles tels que les accès, la maîtrise des agressions diverses, notamment le feu, les effractions, la résistance aux charges (fonction structurale), La fonction visuelle et d'espace, etc.

## 1.7. Le comportement thermique de l'enveloppe architecturale :

« Une véritable conception de bâtiment suppose la connaissance de tout ce qui concerne les échanges thermiques à travers les parois qui constituent leurs enveloppes » (Fernandez et Lavigne, 2009).

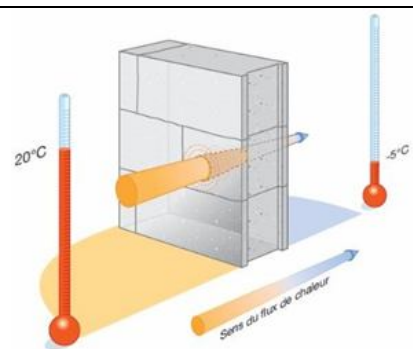
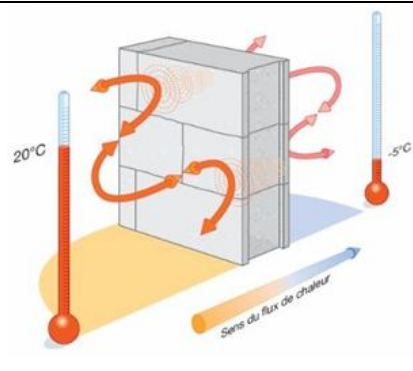
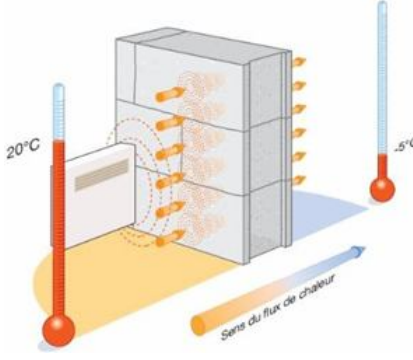
Il sera exposé sommairement, ci-dessous, les facteurs affectant le comportement thermique de l'enveloppe architecturale ainsi que les paramètres liés aux conditions climatiques.

### 1.7.1. Paramètres liés aux conditions climatiques :

#### 1.7.1.1. Présentation des modes de transfert de chaleurs :

(Source : ([www.energie2.arch.ucl.ac.be/transfert%20de%20chaleur/3.2.htm](http://www.energie2.arch.ucl.ac.be/transfert%20de%20chaleur/3.2.htm))).



<p><b>La conduction :</b> C'est la relation directe des éléments avec la chaleur, et la propagation de chaleur toujours marche de l'élément plus chaud vers le plus froid, cette chaleur qui se propage est proportionnelle à la conductivité thermique du matériau et à la différence de température les deux faces. (Thierry &amp; David, Le grand livre de l'isolation, 2009).</p> <p><b>Figure II-23 : Transfert de chaleur par conduction.</b> (Source : Saint-Gobain, 2016).</p>	
<p><b>La convection :</b> C'est le transfert de chaleur entre deux Corps, l'un en état solide vers un autre dans l'état gazeux et cette transmission dépend à la différence de la température entre éléments et la vitesse de l'air et la surface de contact comme une paroi qui est exposé à un vent froid et puissant se refroidira très rapidement. (Thierry &amp; David, Le grand livre de l'isolation, 2009).</p> <p><b>Figure II-24 : Transfert de chaleur par convection.</b> (Source : Saint-Gobain, 2016).</p>	
<p><b>Le rayonnement :</b> Est le transfert de la chaleur par les rayonnements infrarouges à travers un vide ou un gaz, et ces modes de transmission se combinent et la transmission de la chaleur de l'air ambiant à une paroi s'effectue en partie par rayonnement et en partie par convection mais à l'intérieur de paroi, la chaleur progresse par conduction. (Thierry &amp; David, Le grand livre Del 'isolation, 2009).</p> <p><b>Figure II-25 : Transfert de chaleur par rayonnement.</b> (Source : Saint-Gobain, 2016).</p>	

Donc la performance thermique de l'enveloppe dépend des propriétés des matériaux qui la constituent (les propriétés thermo physiques et l'épaisseur). « On comprend déjà que le confort des édifices dépend des matériaux qui les constituent ». (Lavigne, Brejon et Fernandez, 1994).

#### 1.7.1.2. La température de l'air ambiant ( $T_a$ ) :

La température extérieure a un effet direct sur l'ambiance thermique du bâtiment en chauffant les parois externes de l'enveloppe. Cette chaleur est transmise à l'intérieur, à son tour chauffe l'air intérieur pas convection.

#### 1.7.1.3. L'ensoleillement :

Le rayonnement solaire affecte la température intérieure d'un bâtiment de deux manières:

1. Le rayonnement solaire absorbé par l'enveloppe externe d'un bâtiment, augmente la température des surfaces externes.
2. Presque tout le rayonnement solaire qui arrive sur une fenêtre passe directement à l'intérieur à travers le verre ce qui peut causer le

#### 1.7.1.4. Le vent :

Le vent joue un rôle très important dans les transferts de chaleur à la surface de l'enveloppe des bâtiments ainsi que pour la ventilation des espaces intérieurs.

**1.7.1.5. L'humidité :** L'humidité de l'air réduit la température des surfaces et augmente la possibilité de condensation, elle affecte aussi la capacité de l'évaporation de la sueur à la surface de la peau des occupants du bâtiment.

**1.7.1.6. Les précipitations :**

Les précipitations peuvent causer des variations dans les températures et les humidités des surfaces du bâtiment par le phénomène d'aspiration capillaire dans un mur, ou leur pénétration par les ponts, les joints et les failles. (Sadok. A, 2016), phénomène de l'effet de serre.

**1.7.2. Paramètres liés aux éléments conceptuels :**

Selon Izard J.L, la thermique du bâtiment est liée à plusieurs paramètres ou facteurs architecturaux (l'orientation, la forme architecturale, la protection solaire, l'isolation thermique, l'inertie thermique) et aux facteurs climatiques (la latitude, la nature d'occupation de l'espace par les usagers, les apports solaires, etc.).

**1.7.2.1. L'implantation : (la localisation du bâtiment) :**

La localisation du bâtiment peut affecter le confort thermique de ses occupants, soit positivement ou négativement par rapport aux vents dominants sur son enveloppe soit à l'incidence du soleil. Une implantation réussie exige la prise en compte de plusieurs éléments : Le relief environnemental, l'orientation des vents et le mouvement solaire. Ces paramètres bien étudiés et bien respectés aboutiront à des résultats performants à savoir :

- Se protéger contre les vents dominants et le soleil estival.
- Bénéficier de l'ensoleillement hivernal en évitant les masques portés par la végétation, le relief et l'environnement bâti.



Figure II-26 : L'implantation tient en compte du relief, des vents locaux, de l'ensoleillement, etc.

(Source : traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques, 2005).

**1.7.2.2. L'orientation :**

« L'orientation d'un bâtiment est la direction vers laquelle sont tournées ses façades. C'est-à-dire la direction perpendiculaire à l'axe des blocs ». (GIVONI. B, 1978). Les critères de choix de l'orientation doivent être faits en fonction des espaces (LIEBARD, A. et HERDE, A. 2005), dont notamment :

- **La façade orientée vers le Nord :** bénéficie toute l'année d'une lumière égale et du rayonnement solaire diffus.
- **La façade orientée vers l'Est :** profite du soleil le matin mais le rayonnement solaire est alors difficile à maîtriser car les rayons sont bas sur l'horizon.

- **La façade orientée vers l'Ouest** : présente un risque réel d'éblouissement et les gains solaires ont tendance à induire des surchauffes.
- **La façade orientée vers le Sud** : elle entraîne un éclairage important. De plus, les pièces orientées au Sud bénéficient d'une lumière plus facile à contrôler.



**Figure II-27 : L'apport solaire par rapport à l'orientation.**

(Source: [https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRJMqQtZg2tsX4aYmaLa1PDWehl88YUue6G\\_nkYoRNz2m3eQpVI](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRJMqQtZg2tsX4aYmaLa1PDWehl88YUue6G_nkYoRNz2m3eQpVI)).

Le tableau ci-dessous présente les résultats de recherche au CSTB (le centre scientifique et technique du bâtiment) où ils ont déterminé les valeurs de rapport existant entre les apports calorifiques dus aux rayonnements et ceux dus à la température par rapport à l'orientation : (EVANS.M, 1980)

N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
13%	31%	44%	36%	21%	36%	44%	37%

**Tableau II-2 : Apports calorifiques sur une paroi selon son orientation.**

(Source : ONRS, 1983).

**L'orientation et le confort thermique** : L'orientation joue un rôle très important en matière de confort par : (HAMDANI. M, 2012).

- L'utilisation du rayonnement solaire pour le chauffage en hiver.
- La protection du rayonnement solaire pour éviter les fortes chaleurs en été.
- La protection contre les vents froids d'hiver ou l'utilisation du vent rafraîchissant d'été.

### 1.7.2.3. La forme du bâtiment :





**La forme en plan** : « L'optimum varie selon la latitude de lieu. Les rectangles allongés sont plus favorables dans les latitudes basses (1 :1,64 pour 26°N) et les plans plus carrés pour les latitudes élevées (1:1,30 pour 48°N) » Camue. R, Watson donald, 1979.



**La hauteur du bâtiment** : L'ambiance intérieure d'un bâtiment change en fonction de sa hauteur qui agit sur la chaleur absorbée par les murs. Si on prend en considération les rayons du soleil, il est important de savoir que la hauteur du bâtiment au nord doit être inférieure à celle des bâtisses du sud.



**La géométrie de l'enveloppe :** La géométrie et la taille des bâtiments ont un effet important sur les besoins en chauffage car les bâtiments mitoyens bénéficient plus de chaleur que les bâtiments isolés.

**Rapport surface volume (RSV) :** L'évaluation thermique d'un immeuble peut être obtenue avec un coefficient de forme représentant le rapport entre la surface du bâtiment et le volume habité. Ce coefficient permet d'évaluer l'exposition du bâtiment aux paramètres climatiques. Ce rapport est critiqué par Roger Camous car il trouve qu'il n'exprime pas la performance d'usage habitable. C'est pour cela on fait recours toutefois à un deuxième rapport qui est le (RSSP) : surface de l'enveloppe/surface du plancher, plus le (RSSP) est faible plus il fournit une meilleure performance. Camue. R, Watson donald, 1979

Numéro de cas	Le volume et les surfaces	RSV et RSSP
<p><b>Cas N°01 :</b></p> 	<p>Volume total : 900 m<sup>3</sup>                      Surface enveloppe : 460 m<sup>2</sup>                      Surface plancher :                      Niveau 1 : 100 m<sup>2</sup>                      Niveau 2 : 100 m<sup>2</sup>                      Niveau 3 : 100 m<sup>2</sup>                      Total : 300 m<sup>2</sup></p>	<p>RSV = 0.511 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>                      RSSP = 1.53</p>
<p><b>Cas N°02 :</b></p> 	<p>Volume total : 900 m<sup>3</sup>                      Surface enveloppe : 508 m<sup>2</sup>                      Surface plancher : 300 m<sup>2</sup></p>	<p>RSV = 0.564 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>                      RSSP = 1.69</p>
<p><b>Cas N°03 :</b></p> 	<p>Volume total : 900 m<sup>3</sup>                      Surface enveloppe : 441 m<sup>2</sup>                      Surface plancher :                      Niveau 1 : 125 m<sup>2</sup>                      Niveau 2 : 125 m<sup>2</sup>                      Total : 300 m<sup>2</sup></p>	<p>RSV = 0.49 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>                      RSSP = 1.76</p>
<p><b>Cas N°04 :</b></p> 	<p>Volume total : 900 m<sup>3</sup>                      Surface enveloppe : 358 m<sup>2</sup>                      Surface plancher :                      Niveau 1 : 179 m<sup>2</sup>                      Niveau 2 : 150 m<sup>2</sup>                      Total : 329 m<sup>2</sup></p>	<p>RSV = 0.398m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>                      RSSP = 1.09</p>

<p><b>Cas N°05 :</b></p> 	<p>Volume total : 900 m<sup>3</sup>            Surface enveloppe : 410 m<sup>2</sup>            Surface plancher :            Niveau 1 : 150 m<sup>2</sup>            Niveau 2 : 150 m<sup>2</sup>            Total : 300 m<sup>2</sup></p>	<p>RSV = 0.456m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>            RSSP = 1.37</p>
<p><b>Cas N°06 :</b></p> 	<p>Volume total : 900 m<sup>3</sup>            Surface enveloppe : 444 m<sup>2</sup>            Surface plancher :            Niveau 1 : 150 m<sup>2</sup>            Niveau 2 : 150 m<sup>2</sup>            Total : 300 m<sup>2</sup></p>	<p>RSV = 0.493m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>            RSSP = 1.48</p>

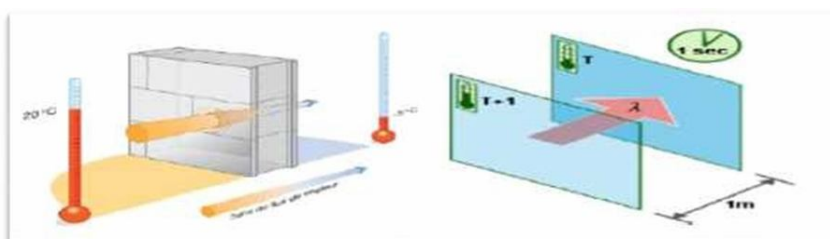
**Tableau II-3 : RSV et RSSP pour quelques formes.**  
 (Source : Roger Camous, 1979).

D'après le tableau, le cas N1 et N2 ont les mêmes volumes mais grâce à des conceptions différentes on remarque que le (RSV) du cas N1 est plus petit que le cas N2 et la même chose pour (RSSP). Aussi, la forme hémisphérique est encore mieux que la forme carrée parce qu'elle contient le plus d'espace habitable pour moins de surface extérieure exposée aux fluctuations climatiques. L'exemple de l'igloo des esquimaux est souvent donné comme exemple à l'efficacité thermique de ce type de forme. (Source : Roger Camous, 1979).

#### 1.7.2.4. La matérialité de l'enveloppe :

**1.7.2.4.1. Les propriétés thermo physiques des matériaux de construction :** Les propriétés des matériaux utilisés dans la conception du bâtiment ont un rôle très important dans la création d'une ambiance intérieure considérable ; ils conditionnent la chaleur provenant de l'extérieur. (THIERRY et DAVID, 2010).

- **La conductivité thermique ( $\lambda$  en w/m.k) :** Selon (F. Jadoul, 2002) la quantité de chaleur traversant un mètre carré d'une couche de matériau homogène d'un mètre d'épaisseur soumis à une différence de température d'un degré et dans un temps donné. Plus la conductivité est faible ( $\lambda < 0,060$  w/m.k) plus le matériau est isolant.



**Figure II-28 : La conductivité thermique d'un matériau.**

(Source : [http://lamaisonecologique.be/produits/isolation\\_thermique/infos\\_isolants/la\\_conductivite\\_thermique.php](http://lamaisonecologique.be/produits/isolation_thermique/infos_isolants/la_conductivite_thermique.php)).

- **La résistance thermique ( $R = e/\lambda$  en m<sup>2</sup>. K/w) :** La résistance thermique d'un matériau représente sa capacité à empêcher le flux de chaleur qui le traverse. Plus la résistance thermique est élevée plus le matériau est isolant. (THIERRY et DAVID, 2010).

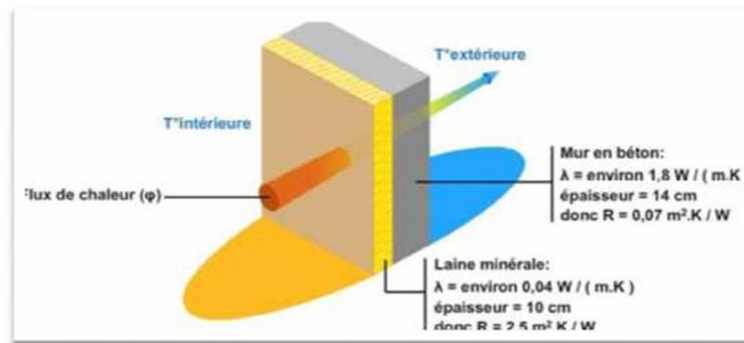


Figure II-29 : La conductivité thermique d'un matériau.

(Source : <http://www.placo.fr/Solutions/Solutions-par-benefice/Isolation-thermique/Isolation-thermique>).

- **Le coefficient de transmission surfacique ( $U = 1/R_{tot}$  en  $W/m^2 \cdot K$ )** : Il exprime la quantité de chaleur qui traverse un mètre carré de paroi pour une différence d'un degré Kelvin de part et d'autre de sa surface. Il est simplement l'inverse de la résistance thermique.

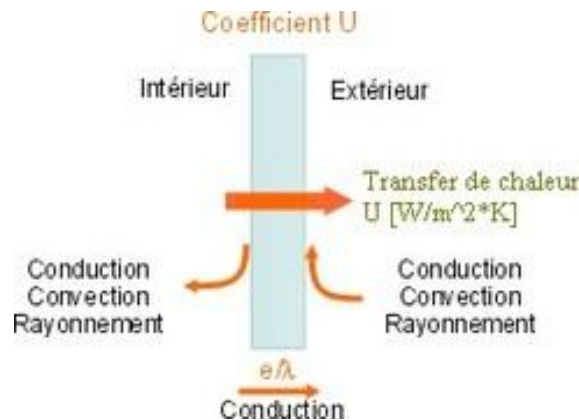


Figure II-30 : Le coefficient de transmission surfacique.

(Source : [http://www.bilan-thermique-28.fr/theorie\\_generale.html](http://www.bilan-thermique-28.fr/theorie_generale.html)).

- **L'inertie thermique ( $I$  en  $W/m^2 \cdot K$ )** : La capacité d'un corps à stocker de la chaleur pour une durée. L'objectif de l'inertie thermique d'une paroi opaque est de restituer la chaleur ou la fraîcheur stockée en décalage avec les variations thermiques en dehors et dans le bâtiment.

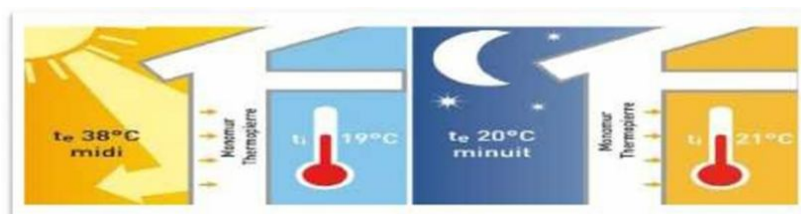


Figure II-31 : L'inertie thermique dans un bâtiment

(Source : <http://www.cap-horizon.com/actualites/?rubrique=35>).

- **La capacité thermique ( $P_c$  en  $W/m^3 \cdot K$ )** : La quantité de la chaleur que peut emmagasiner un matériau par rapport à son volume ou sa masse. Plus la capacité thermique est faible, la quantité de la chaleur stockée par le matériau est élevée. (BENHALILOU. K, 2008).

- **L'effusivité thermique (EF en  $W/m^2\text{°C}$ )** : Elle indique la capacité des matériaux à absorber (ou restituer) plus ou moins rapidement un apport de chaleur. Plus cette valeur est grande, la paroi se réchauffe ou se refroidit rapidement. (BENHALILOU. K, 2008).

- **La diffusivité thermique (a en  $m^2/h$ )** : Elle indique la vitesse de diffusion de la chaleur à l'intérieur du matériau. C'est la distance parcourue en un temps par le rayonnement solaire pour traverser une paroi opaque. Plus elle est élevée, la diffusivité est faible, plus la vitesse de l'onde de chaleur est faible. (BENHALILOU. K, 2008).

- **Le déphasage thermique** : Le déphasage thermique définit le délai que met un front de chaleur pour traverser une épaisseur donnée de matériau. Il dépend également principalement de la masse volumique et de la capacité thermique massique du matériau. (GUIDE DES MATÉRIAUX ISOLANTS pour une isolation efficace et durable).

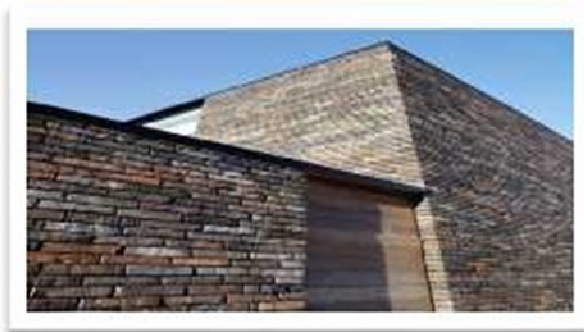
(Source : [www.info-energie-fc.org/models/gallerymedia/assets/2//2a5aab03f6135\\_energivie-guide-isolants-bd-6.pdf](http://www.info-energie-fc.org/models/gallerymedia/assets/2//2a5aab03f6135_energivie-guide-isolants-bd-6.pdf)).

#### 1.7.2.4.2. La texture :

**La définition de la texture** : Vu la complexité du terme texture on ne lui trouve pas une définition précise, pour mon thème de recherche je le définie comme suit : la texture comprend tous les détails et les matériaux qui compose le revêtement d'une façade (par exemple les murs rideaux, double peau, le crépissage ...).

#### a/- L'enveloppe opaque :

**Appareillage et crépissage** : Une texture rigoureuse, telle qu'un appareillage en pierre ou en brique ou simplement en enduit tyrolien apporte un ombrage additif au fond (Abdou. S, 2003), traditionnellement, une technique décrépissage très intéressante fut utilisée pour ombrager au maximum le fond de façade. « Le crépissage étant constitué de boules semi sphérique étalées avec la main sur le mur ; chacune ombrage sa moitié et porte une ombre sur la boule en dessous ou d'un côté selon l'orientation de la façade et la course du soleil ». BENNADJI. A, 1999.



**Figure II-32 : appareillage de brique sur façades. Figure II-33 : crépis rugueux d'une façade.**

(Source : [http://kamenchiki.ru/gallery\\_w\\_ger.htm](http://kamenchiki.ru/gallery_w_ger.htm)).

(Source : <http://www.dkomaison.com/articles/conseils- bons-plans/ lisser-un-crepi-interieur-26-03-2010-739.htm>).

#### b/- L'enveloppe légère : (Saddouk. A, 2016).

Les surfaces vitrées ont un rôle important dans les échanges thermiques entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. Le verre permet aux rayonnements solaires de pénétrer à l'intérieur qui pourrait générer le phénomène de l'effet de serre. (Givoni. B, 1978).

La quantité totale d'énergie solaire susceptible de pénétrer dans le bâtiment dépend des dimensions des baies vitrées. En outre, cette quantité dépend aussi de : (Izard. J – Guyot. A, 1979).

- **L'environnement extérieur** : montagne, collines, arbres, etc. Celui-ci commande la durée réelle de l'ensoleillement.
- **L'orientation** : elle détermine la durée d'ensoleillement et la répartition de l'énergie incidente.
- **Le type de vitrage utilisé** : il influence sur la quantité d'énergie transmise à l'intérieur en fonction du rayonnement incident et les propriétés thermiques du verre utilisé.
- **L'architecture du bâtiment** : les façades contenant des baies vitrées peuvent avoir certains masques qu'il convient de connaître l'impact sur l'ensoleillement réel comme les linteaux, les balcons avancés, etc.
- **Les brises soleil** : ce sont des dispositifs destinés à régler la pénétration solaire à l'intérieur du bâtiment ou même d'interdire en saison chaude.

#### c/- L'enveloppe végétalisée :

L'enveloppe végétalisée consiste à protéger les façades d'un bâtiment avec de la végétation qui participe, elle aussi, à la réduction de la température et au rafraîchissement du bâtiment grâce à l'évaporation de l'eau qu'elle transpire.

Les bâtiments dans les zones à climat semi-aride, peuvent être enveloppés et protégés contre l'insolation avec de la végétation à feuilles caduques qui perd son feuillage pendant l'hiver permettant de profiter des rayons du soleil et reprend son feuillage en été permettant d'ombrer et participer au rafraîchissement du bâtiment. (Benhalilou. K, 2008).



Figure II-34 : La façade végétalisée.



Figure II-35 : Toiture végétalisée.



Figure II-36 : Pergola végétalisée.

(Source : <http://www.architecte-bio.com/bioclimatisme.html>).

#### 1.7.2.4.3. La couleur de l'enveloppe :

« Ce paramètre varie avec le facteur d'absorption (couleur) des surfaces externes, les surfaces blanches absorbent seulement à peu près 15% du rayonnement incident, les couleurs claires ordinaires, telles que le blanc crème ou le gris clair absorbent 40 à 50% les couleurs sombres moyennes (gris foncé, vert, rouge, etc.) 60 à 70% les surfaces noires 80 à 90% ». (GIVONI. B, 1978).



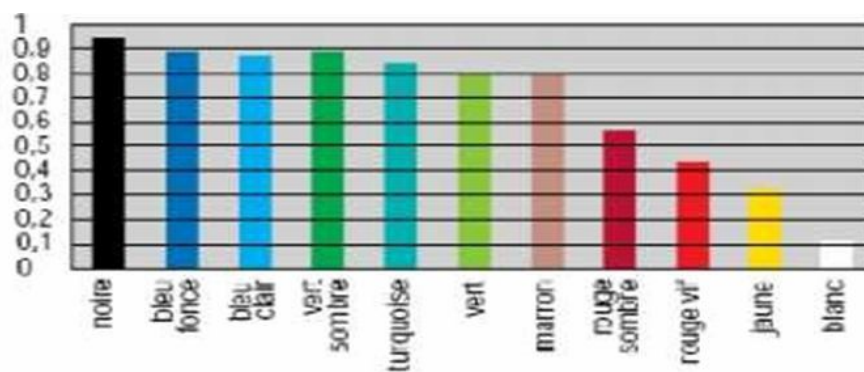


Figure II-37 : Valeur du coefficient d'absorption pour laques cellulose.  
(Source : IZARD.J. et GUYOT, 1979).

La couleur de l'enveloppe participe soit au rafraîchissement ou à la surchauffe de l'édifice ; les couleurs claires absorbent moins les rayons du soleil par rapport aux couleurs foncées ou sombres bien évidemment.

Du point de vue thermique, la teinte des couleurs influence fréquemment le comportement thermique des murs extérieur. Des essais poussés ont montré que les températures superficielles qu'à l'action directe des rayons solaires varient fortement en fonction de la couleur. Par conséquent, il faut un choix judicieux des matériaux et de leur couleur au moment de la construction ou de la réhabilitation thermique. (IZARD.J. et GUYOT, 1979).

Selon la figure ci-dessus, la couleur a un coefficient d'absorption des rayons solaires, c'est pour cela qu'elle peut freiner les rayons chauds.

Certaines couleurs des matériaux présentent une meilleure absorption de la chaleur. Pour la conserver, les parois qui sont directement exposées au soleil doivent être de couleur foncée. Les moquettes ou les tapis sont à éviter sur les surfaces d'absorption car elles ne permettent pas un stockage de la chaleur. Le tableau suivant donne des valeurs de coefficient d'absorption pour différents matériaux, revêtements et couleurs.

Couleur	Coefficient d'absorption
<i>Matériaux</i>	
- Béton brut	0.6
- Plâtre	0.07
- Brique rouge	0.55
- Ardoise	0.89
<i>Peintures à l'huile</i>	
- Noire	0.90
- Blanc cassé	0.33
- Gris clair	0.55
- Rouge	0.74
- Jaune paille	0.45
<i>Peintures cellulose</i>	
- Bleu foncé	0.91
- Marron	0.79
- Vert	0.79
- Orange	0.41
- Rouge foncé	0.57
- Blanche	0.12

Tableau II-4 : Coefficient d'adaptation de chaleur de différent couleur et matériaux.  
(Source : CSTB).

### **1.7.3. Synthèse :**

L'enveloppe d'une construction est la membrane qui sépare l'intérieur de l'extérieur, elle représente les surfaces d'interactions et d'échanges avec l'environnement extérieur ou les façades occupent la grande partie car elles sont les plus exposées à cette interaction qui doit faire à ce que la performance de ces derniers soit identique à celle de l'enveloppe. Pour atteindre les objectifs escomptés il faut que le choix des caractéristiques des façades soit réfléchi. La double façade ventilée est le dispositif le plus approprié. Cependant, ce chapitre ne peut atteindre son objectif final sans sa liaison avec les paramètres conceptuels des doubles façades ventilées; ces éléments vont être dégagés dans la deuxième partie de ce chapitre.

## **2. La double façade ventilée.**

### **2.1. Introduction :**

La façade double peau comme l'indique son nom est une façade multicouche. Selon Poirazis (2006), la façade double peau (FDP) est une tendance architecturale européenne initiée principalement par le désir esthétique, le besoin d'améliorer l'environnement intérieur et la diminution de la consommation énergétique.

La quasi-totalité des recherches sur la façade double peau sont basées principalement sur le rapport du centre scientifique et technique de la construction (CSTC) élaboré par Loncour et al. (2004). Selon ce rapport, la façade double peau est une façade avec deux peaux et une cavité entre les deux où la deuxième peau externe est essentiellement vitrée.

Pour plus de détails, la façade double peau est un type de façade caractérisée par deux peaux, une intérieure vitrée ou mixte et autre extérieure vitrée avec un espacement entre les deux (une cavité d'air ventilée considérée comme un tampon thermique) d'une largeur de 20 cm à 2 m (Gauzère et al., 2008 ; Barbosa et al., 2014 ; Parra et al., 2015 ; Shen et al., 2016 ; Ahmed et al., 2016).

La façade double peau a été exploitée pour des raisons multiples et des fonctions différentes englobant l'aspect esthétique et technique. Elle est utilisée pour améliorer l'éclairage naturel, optimiser le confort thermique et acoustique, assurer une ventilation naturelle et minimiser la consommation énergétique (Yazdizad, 2014 ; Gelesz et al., 2015 ; Yasa, 2015 ; Parra et al., 2015 ; Yang, 2016 ; Shen et al., 2016).

De leur côté, Gelesz et al. (2015), voient que la façade double peau a des biens faits selon le type du climat, pour le climat froid, l'espace tampon permet de réduire la charge du chauffage et pour le climat chaud elle permet de réduire la transmission de rayonnement et dissiper la chaleur par l'effet de cheminée. Ils ajoutent que la mauvaise conception et le choix inapproprié des composants de ce dispositif peuvent engendrer des situations défavorables et augmenter la consommation énergétique.

### **2.2. Définition de la façade double ventilée :**

La norme PREN 13119 donne cette définition de la façade double peau : Principe de façade rideau constituée d'une peau extérieure de vitrages et d'une peau intérieure construite comme une façade rideau qui avec la peau extérieure assure toutes les fonctions d'un mur. La façade rideau est définie comme : façade extérieure d'un bâtiment généralement constituée de métal, bois ou PVC, comportant des éléments d'ossature horizontaux et verticaux assemblés entre eux et solidarisés à la structure porteuse du bâtiment, qui assure elle-même ou en conjonction avec des éléments de structure l'ensemble des fonctions d'un mur extérieur, par contre, elle ne participe pas à la stabilité du bâtiments.



Les façades double peau s'appellent aussi doubles façades ventilée ou enveloppes de verre à parois multiples.

La façade double peau se compose de l'extérieur vers l'intérieur d'un écran vitré, d'un espace formant tampon (ou canal ou cavité) et de la façade. L'écran est généralement constitué d'une lame de verre simple. L'espace tampon possède une largeur entre 5 et 60 cm ; sa hauteur est au minimum d'un étage, mais plus généralement de trois étages ou davantage ; des ouvertures réglables sont disposées en haut et/ou en bas de cet espace qui peut être ventilé ou pas ; les protections solaires sont généralement placées dans cet espace, coté écran ou coté façade ; lorsque le tampon est de profondeur suffisante, un caillebotis permet le nettoyage et l'entretien des éléments fixes et mobiles. La façade intérieure est fortement vitrée, elle peut être munie d'une allège opaque.

Quel que soit le type de double peau, son fonctionnement repose toujours sur le même principe : l'effet de cheminée. Une colonne d'air chaud, de faible densité, est entourée d'air plus froids, donc de plus forte densité ; il en résulte une poussée (dite d'Archimède) qui met l'air en mouvement.

Des précautions doivent être prises au niveau de la sécurité incendie :

- Les façades intérieures doivent être construites dans tous les cas en matériaux incombustibles ; des cadres de fenêtres combustibles sont autorisés.
- Les façades extérieures doivent aussi être construites en matériaux incombustibles.
- Les dispositifs de protection solaire en matériau combustible (store toile, par ex.) ne sont pas autorisés dans la zone tampon.
- Les voies d'évacuation ne doivent en aucun cas passer par les zones tampon. (René.Vitton, 2010).

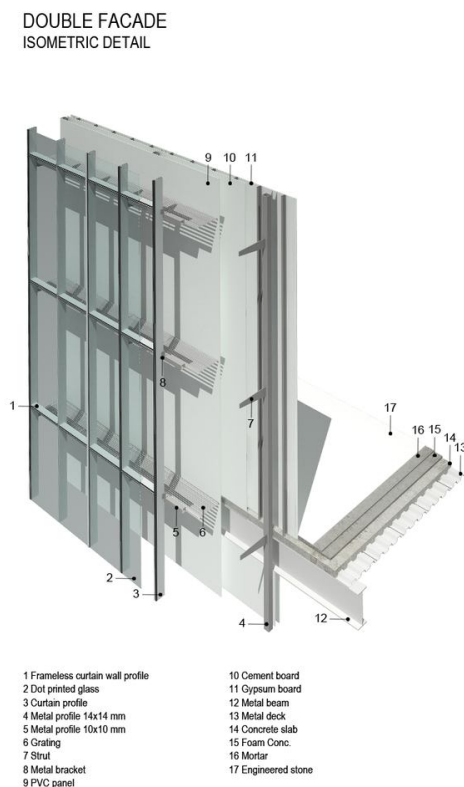


Figure II-38 : Exemple de façade type double peau.

(Source : [https://images.adsttc.com/media/images/56e0/eee0/e58e/ce94/2700/00b0/slideshow/01-DOUBLE\\_FACADE.jpg?1457581787](https://images.adsttc.com/media/images/56e0/eee0/e58e/ce94/2700/00b0/slideshow/01-DOUBLE_FACADE.jpg?1457581787)).

### 2.3. Les éléments composants une façade double peau :

D'après Poirazis (2006) et Safer (2006), la façade double peau est composée par les éléments suivants :

- **Un vitrage extérieur** : souvent en simple vitrage.
- **Un vitrage intérieur** : la surface intérieure est partiellement ou complètement vitrée, dans la plus part des cas avec un double vitrage.
- **Une cavité d'air** : située entre le vitrage extérieur et intérieur avec une largeur de 2 cm à plus de 2 m, elle est ventilée d'une manière naturelle, mécanique ou hybride.
- **Des fenêtres internes** : permettent de ventiler l'espace naturellement.
- **Une protection solaire** : intégrée au niveau de la cavité d'air.

La figure présente un schéma synthétisant les composants d'une façade double peau.

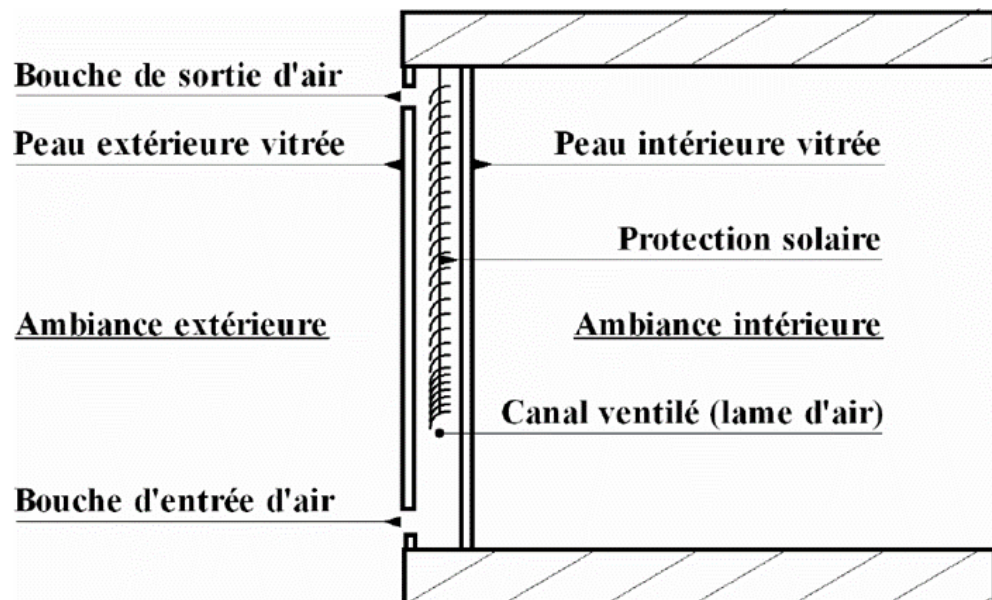


Figure II-39 : Les composants d'une façade double peau.

(Source : Safer, 2006).

### 2.4. Classification des façades ventilées :

On retrouve dans la littérature de nombreuses classifications des façades à double peau ; celle qui suit prend en compte les modes de fonctionnement de la façade et introduit trois critères indépendants entre eux :

1. Le type de ventilation.
2. Le compartimentage de la façade.
3. Les modes de ventilation de l'espace tampon.
4. L'épaisseur du canal.

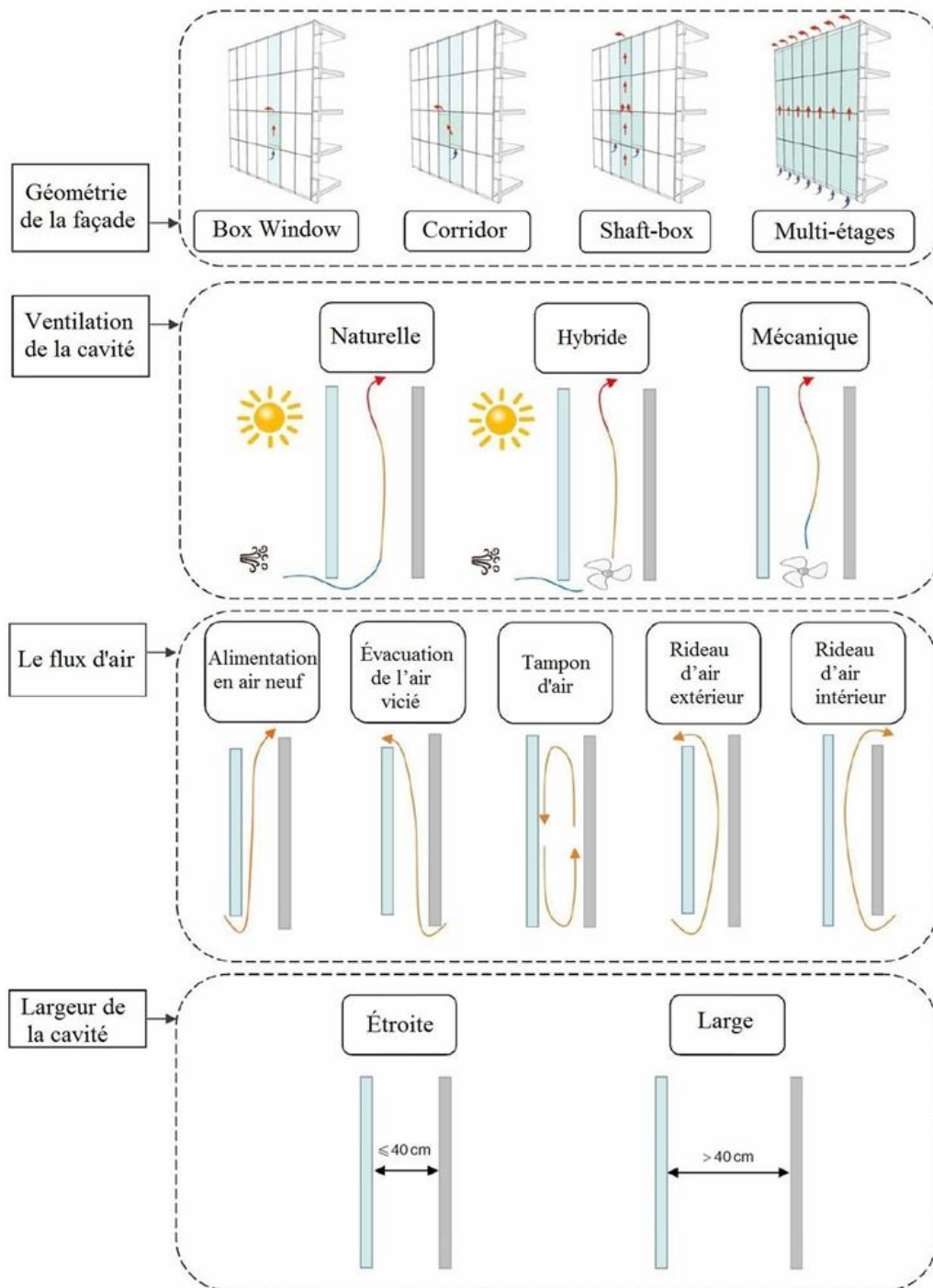


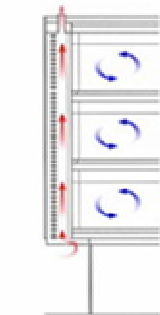
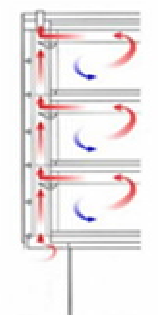
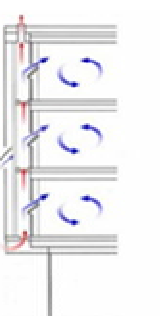
Figure II-40 : Classification de la façade double peau.

(Source : Piroozfar, 2015 ; Loncour et al., 2004).

### 2.4.1. Types de ventilations :

On fait référence aux forces motrices à l'origine de la ventilation de la zone située entre les deux façades vitrées. Chaque concept de façade à double peau n'est caractérisé que par un seul type de ventilation parmi les trois cas suivants :

1. la ventilation naturelle.
2. la ventilation mécanique.
3. la ventilation hybride.

<p><b>1.) - La ventilation naturelle :</b> repose sur les différences de pression, créées par le tirage thermique et par l'effet du vent, de mise en mouvement de l'air, sans l'aide de composants motorisés.</p> <p><b>Figure II-41 : La classification de la double façade ventilée selon le type de ventilation (Type 1 : la ventilation naturelle).</b> (Source : <a href="http://french.structural-steelbuilding.com/photo/structural-steelbuilding/editor/20170701155413_42188.jpg">http://french.structural-steelbuilding.com/photo/structural-steelbuilding/editor/20170701155413_42188.jpg</a>).</p>	 <p>Figure 1: Buffer System</p>
<p><b>2.) - La ventilation mécanique :</b> utilise des composants motorisés pour mouvoir l'air.</p> <p><b>Figure II-42 : La classification de la double façade ventilée selon le type de ventilation (Type2 : la ventilation mécanique).</b> (Source : <a href="http://french.structural-steelbuilding.com/photo/structural-steelbuilding/editor/20170701155413_42188.jpg">http://french.structural-steelbuilding.com/photo/structural-steelbuilding/editor/20170701155413_42188.jpg</a>).</p>	 <p>Figure 2: Extract-Air System</p>
<p><b>3.) - La ventilation hybride:</b> est un compromis contrôlé entre la ventilation naturelle et la ventilation mécanique n'est enclenchée que lorsque les forces motrices de la ventilation naturelle devienne insuffisantes ; un système de contrôle permet le passage d'un type de ventilation à l'autre de manière automatique. Ce système est peu fréquent. (René.Vitton, 2010).</p> <p><b>Figure II-43 : La classification de la double façade ventilée selon le type de ventilation (Type 3 : la ventilation hybride).</b> (Source : <a href="http://french.structural-steelbuilding.com/photo/structural-steelbuilding/editor/20170701155413_42188.jpg">http://french.structural-steelbuilding.com/photo/structural-steelbuilding/editor/20170701155413_42188.jpg</a>).</p>	 <p>Figure 3: Twin-Face System</p>

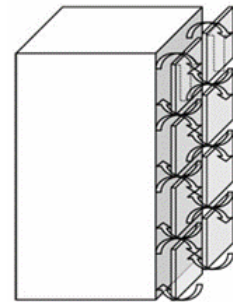
#### 2.4.2. Compartimentage de l'espace tampon :

Ceci renseigne sur la manière dont est effectuée la division physique de l'espace situé entre les deux façades vitrées. Dans la pratique, il y a les solutions suivantes :

1. Les doubles fenêtres ventilées.
2. Les doubles façades ventilées.
3. Compartimentées par étage.
4. De type « shaft-box ».
5. De type multi-étage.
6. De type multi-étage à lamelles.

**1.) - La double fenêtre ventilée :** se caractérise par une fenêtre doublée généralement de l'extérieur par un simple vitrage ou par une deuxième fenêtre ; du point de vue compartimentage, il s'agit d'une fenêtre qui fait office d'élément de remplissage dans un mur. Elle peut aussi être appelée « Box-window ».

**Figure II-44 : La classification de la double façade ventilée selon le compartimentage. (La double fenêtre ventilée).**  
(Source : <http://www.bestfacade.com/textde/bild.htm?img=doubleskin03>)



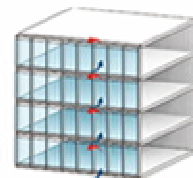
Box window type

**Figure II-45: La classification de la double façade ventilée selon le compartimentage. (Box window type).**  
(Source: [http://www.bestfacade.com/textde/0102\\_fund.htm](http://www.bestfacade.com/textde/0102_fund.htm)).



© BBRI

**Figure II-46 : La classification de la double façade ventilée selon le compartimentage. (Box window type).**  
(Source: [https://journals.open.tudelft.nl/public/journals/8/article\\_1527\\_cover\\_en\\_US.jpg](https://journals.open.tudelft.nl/public/journals/8/article_1527_cover_en_US.jpg)).



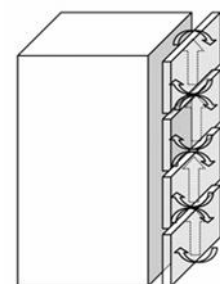
Double Skin Facade  
(Box-Window)

**2.) - La double façade ventilée compartimentée par étage à modules juxtaposés :** délimite horizontalement et verticalement l'espace tampon ; le module de façade a une hauteur limitée à un étage.


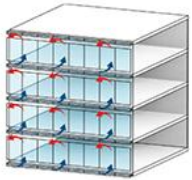
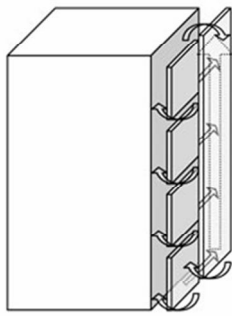
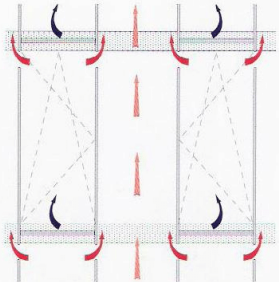
**2.1.) - La double façade ventilée compartimentée par étage de type corridor :** Elle est caractérisée par un large espace tampon dans lequel il généralement possible de circuler.

Si l'espace tampon est physiquement compartimenté au droit de chaque étage, il n'est pas limité horizontalement et s'étend généralement devant plusieurs locaux, voire même sur tout un étage.

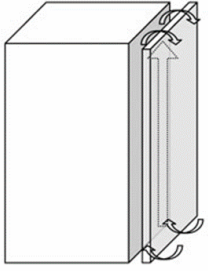

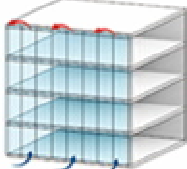
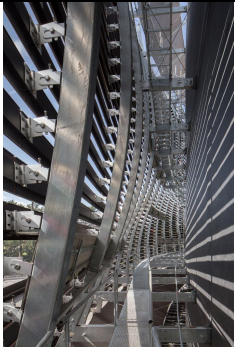

**Figure II-47 : La classification de la double façade ventilée selon le compartimentage (Corridor).**  
(Source : <http://www.bestfacade.com/textde/bild.htm?img=doubleskin03>).



Corridor facade

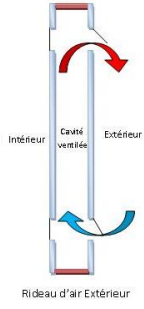
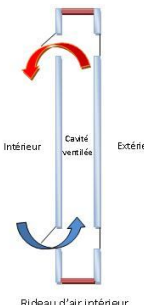
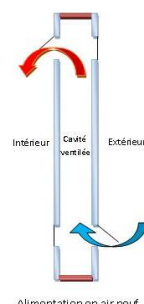
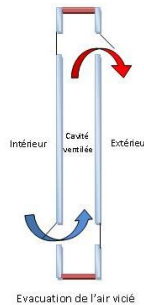
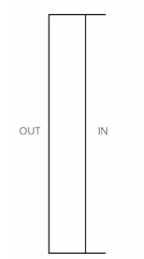
<p><b>Figure II-48 : La classification de la double façade ventilée selon le compartimentage (Corridor).</b>          (Source : <a href="http://www.bestfacade.com/textde/0102_fund.htm">http://www.bestfacade.com/textde/0102_fund.htm</a>).</p>	
<p><b>Figure II-49 : La classification de la double façade ventilée selon le compartimentage (Corridor).</b>          (Source : <a href="https://journals.open.tudelft.nl/public/journals/8/article_1527_cover_en_US.jpg">https://journals.open.tudelft.nl/public/journals/8/article_1527_cover_en_US.jpg</a>).</p>	 <p>Double Skin Facade (Corridor Type)</p>
<p><b>2.2.) - La double façade ventilée de type « Shaft-box » :</b> favorise la ventilation naturelle en adaptant le compartimentage de la façade de manière à créer un tirage thermique accru. Le système se compose d'une alternance de modules de façade juxtaposés, compartimentés par étage et de conduits de ventilation verticaux aménagés dans l'espace tampon qui s'étendent sur plusieurs étages. Chaque module de façade est connecté à l'un des conduits verticaux qui favorise le tirage thermique entraînant ainsi l'alimentation en air via les modules de façade. Cet air est, de manière naturelle, entraîné dans le conduit de ventilation et évacué eu droit du débouché situé quelques étages plus haut.</p>	
<p><b>Figure II-50 : La classification de la double façade ventilée selon le compartimentage (Shaft box).</b>          (Source : <a href="http://www.bestfacade.com/textde/bild.htm?img=doubleskin03">http://www.bestfacade.com/textde/bild.htm?img=doubleskin03</a>).</p>	 <p>Shaft box type</p>
<p><b>Figure II-51 : La classification de la double façade ventilée selon le compartimentage (Shaft box).</b>          (Source : <a href="https://www.researchgate.net/figure/Figure-4-Typical-Shaft-box-type-section-C-Corridor-facade-Horizontal-partitioning-is_fig4_312040800">https://www.researchgate.net/figure/Figure-4-Typical-Shaft-box-type-section-C-Corridor-facade-Horizontal-partitioning-is_fig4_312040800</a>).</p>	
<p><b>2.3.) - La double façade ventilée de type multi étages :</b> est caractérisée par un espace tampon qui n'est pas compartimenté ni horizontalement ni verticalement, formant ainsi un grand volume entre les deux faces vitrées. Généralement, dans ce type, l'espace tampon a une largeur suffisante pour permettre la circulation des personnes pour l'entretien et la maintenance.</p> <p>Dans certains cas, l'espace tampon a une largeur suffisante pour permettre la circulation des personnes pour l'entretien et la maintenance. Dans certains cas, l'espace tampon peut courir tout autour du bâtiment, sans compartimentage et est, généralement, ventilé naturellement. Ce type bénéficie d'une bonne isolation phonique des bruits extérieurs.</p>	



<p><b>Figure II-52 : La classification de la double façade ventilée selon le compartimentage (Multi storey).</b>          (Source : <a href="http://www.bestfacade.com/textde/bild.htm?img=doubleskin03">http://www.bestfacade.com/textde/bild.htm?img=doubleskin03</a>).</p>	 <p>Multi storey</p>
<p><b>Figure II-53 : La classification de la double façade ventilée selon le compartimentage (Multi storey).</b>          (Source : <a href="http://www.bestfacade.com/textde/0102_fund.htm">http://www.bestfacade.com/textde/0102_fund.htm</a>).</p>	 <p>© BBRI</p>
<p><b>Figure II-54 : La classification de la double façade ventilée selon le compartimentage (Multi storey)</b>          (Source : <a href="https://journals.open.tudelft.nl/public/journals/8/article_1527_cover_en_US.jpg">https://journals.open.tudelft.nl/public/journals/8/article_1527_cover_en_US.jpg</a>).</p>	 <p>Double Skin Facade (Multi-Storey)</p>
<p><b>2.4.) - La double façade ventilée naturellement de type multi étages à lamelles :</b> est presque semblable à la précédente, sauf que la façade extérieure est composée de lamelle pivotantes horizontalement qui ne la rend pas étanche à l'air. (René.Vitton, 2010).</p>	
<p><b>Figure II-55 : La classification de la double façade ventilée selon le compartimentage (La double façade ventilée naturellement de type multi-étages à lamelles).</b>          (Source : <a href="https://images.adsttc.com/media/images/5aa7/03e5/f197/cc21/3100/0028/slideshow/FOTO_3.jpg?1520894944">https://images.adsttc.com/media/images/5aa7/03e5/f197/cc21/3100/0028/slideshow/FOTO_3.jpg?1520894944</a>).</p>	
<p><b>Figure II-56 : La classification de la double façade ventilée selon le compartimentage (La double façade ventilée naturellement de type multi-étages à lamelles).</b>          (Source : <a href="https://images.adsttc.com/media/images/5aa7/03ed/f197/cc56/8a00/00ab/slideshow/FOTO_4.jpg?1520894952">https://images.adsttc.com/media/images/5aa7/03ed/f197/cc56/8a00/00ab/slideshow/FOTO_4.jpg?1520894952</a>).</p>	

**2.4.3. Modes de ventilation :**

Il y a lieu de distinguer cinq principaux modes de ventilation de l'espace tampon :

<p><b>1.) - Rideau d'air extérieur :</b> l'air introduit dans la cavité provient de l'extérieur et est doucement rejeté vers l'extérieur ; la ventilation de l'espace tampon forme un rideau d'air enveloppant la façade extérieure.</p> <p><b>Figure II-57 : la classification de la double façade ventilée selon le mode de ventilation (Rideau d'air extérieur).</b> (Source : <a href="http://www.cobse.fr/images/SchemaVentil.jpg">http://www.cobse.fr/images/SchemaVentil.jpg</a>).</p>	 <p>Rideau d'air Extérieur</p>
<p><b>2.) - Rideau d'air intérieur :</b> l'air provient de l'intérieur du local et est repris vers l'intérieur du local ou par le système de ventilation ; la ventilation de l'espace tampon forme un rideau d'air enveloppant la façade intérieure.</p> <p><b>Figure II-58 : la classification de la double façade ventilée selon le mode de ventilation (Rideau d'air intérieur).</b> (Source : <a href="http://www.cobse.fr/images/SchemaVentil.jpg">http://www.cobse.fr/images/SchemaVentil.jpg</a>).</p>	 <p>Rideau d'air Intérieur</p>
<p><b>3.) - Alimentation en air :</b> la ventilation de la façade est réalisée avec de l'air extérieur ; cet air est ensuite amené vers l'intérieur du local ou dans le système de ventilation ; la ventilation de la façade permet ainsi d'alimenter le bâtiment en air.</p> <p><b>Figure II-59 : la classification de la double façade ventilée selon le mode de ventilation (Alimentation en air neuf).</b> (Source : <a href="http://www.cobse.fr/images/SchemaVentil.jpg">http://www.cobse.fr/images/SchemaVentil.jpg</a>).</p>	 <p>Alimentation en air neuf</p>
<p><b>4.) - Evacuation de l'air :</b> l'air provient de l'intérieur du local et est évacué vers l'extérieur ; la ventilation de la façade permet ainsi d'évacuer l'air du bâtiment.</p> <p><b>Figure II-60 : la classification de la double façade ventilée selon le mode de ventilation (Evacuation de l'air vicié).</b> (Source : <a href="http://www.cobse.fr/images/SchemaVentil.jpg">http://www.cobse.fr/images/SchemaVentil.jpg</a>).</p>	 <p>Evacuation de l'air vicié</p>
<p><b>5.) - Espace tampon étanche :</b> ce mode de ventilation est particulier dans la mesure où chacune des peaux de la double façade est rendue étanche ; aucune ventilation de l'espace tampon n'est possible.</p> <p><b>Figure II-61 : la classification de la double façade ventilée selon le mode de ventilation (Espace tampon étanche).</b> (Source : <a href="http://miaep.cerma.archi.fr/spip.php?article31">http://miaep.cerma.archi.fr/spip.php?article31</a>).</p>	 <p>OUT IN</p>

Plusieurs modes de ventilation peuvent coexister au sein d'une même façade à double peau. Généralement, ce sont celles ventilées naturellement qui présentent plusieurs modes de ventilation, le passage d'un mode à un autre est assuré par des ouvrants de ventilation motorisés. (René.Vitton, 2010).

#### **2.4.4. L'épaisseur du canal :**

Selon (SAFER, 2006), il y a trois types de FDP selon l'épaisseur du canal :

- Type 01 : l'épaisseur variant entre 5cm et 50cm.
- Type 02 : l'épaisseur variant entre 50cm et 200cm.
- Type 03 : l'épaisseur est supérieure à 200cm.

#### **2.5. Avantages des façades double peau :**

En fonction de leur conception et de leur construction, ces types de façades présentent des caractéristiques fonctionnelles qui peuvent, en comparaison avec les façades simple peau, favoriser leurs choix :

- Evite le syndrome des bâtiments hermétique par la possibilité de ventilation naturelle individuelle, contrôlée par l'utilisateur.
- Possibilité de ventilation naturelle dans un environnement venteux.
- Confort amélioré en hiver par des températures plus élevés de la peau intérieure.
- Amélioration de l'équilibre énergétique des bâtiments à grande masse thermique exposée grâce aux possibilités de refroidissement nocturne.
- Meilleure isolation phonique dans des environnements bruyants.
- Protection contre l'effraction. (René.Vitton, 2010).

#### **2.6. Inconvénients des façades doubles -peau :**

- Risque de propagation du feu, de la fumée et du bruit intérieur ; pour limiter ces risques, l'introduction de barrières horizontales (coursives ou avancement des dalles) ; l'augmentation de l'allège intérieure est nécessaire mais réduit l'éclairage naturel.
- Coûts supplémentaires qui peuvent varier entre 30 et 100% de plus-value par rapport à une façade simple ; des solutions de la peau intérieure dans sa construction et pour ses caractéristiques thermique, phoniques et résistance au feu.
- Les frais d'exploitation, d'entretien, de maintenance, de nettoyage sont également importants ; le coût annuel peut varier entre 0.5 et 3% de l'investissement selon le nombre et la qualité des pièces mobiles.
- Une éducation des usagers particulièrement pour les systèmes à opération manuelle. (René.Vitton, 2010).

#### **2.7. Objectifs des doubles façades ventilées :**

Les principales finalités de ces types de façades sont :

- la création d'une ventilation naturelle : la FDP joue le rôle d'une ventilation mécanique en utilisant l'effet du tirage thermique
- le préchauffage de l'air introduit dans le bâtiment : diminue les pertes thermiques liées au renouvellement d'air
- l'isolation acoustique
- l'optimisation du facteur de lumière du jour : permet de diminuer les consommations liées à l'éclairage.
- l'esthétique : crée un aspect « high-tech » apprécié dans les bâtiments tertiaires
- l'amélioration du confort d'été : la FDP joue un rôle de protection solaire

- L'isolation thermique : en rénovation l'application d'une façade vitrée en complément de la paroi opaque traditionnelle peut être une solution pour diminuer les ponts thermiques.

(Source : [https://www.ekopedia.fr/wiki/Fa%C3%A7ade\\_double\\_peau](https://www.ekopedia.fr/wiki/Fa%C3%A7ade_double_peau)).

## 2.8. Performance thermique des façades à double peau :

Cette section traite de la performance des FDP sous deux climats différents (hiver et été) :

**a.) - Pendant l'hiver :** La peau supplémentaire externe fournit une isolation améliorée et les résultats s'amélioreront si l'espace intermédiaire (cavité) est fermé (partiellement ou complètement) pendant la période de chauffage. Parce que la vitesse de circulation de l'air et l'augmentation de la température à l'intérieur de la cavité diminue le taux de transfert de chaleur sur la surface du verre, ce qui entraîne une réduction des pertes de chaleur. Cela a pour effet de maintenir des températures plus élevées à l'intérieur de la vitre intérieure.

**b.) - Pendant l'été :** Une fois que le rayonnement a pénétré dans le bâtiment, il est absorbé par le tissu du bâtiment et réémis sous forme d'énergie infrarouge à ondes longues qui ne repasse pas à travers le verre.

En conséquence, l'air dans la cavité sera chauffé par convection. Le flux d'air chaud dans la cavité peut passer par le vitrage à l'extérieur et à l'intérieur de l'espace par conduction. Au fur et à mesure que la cavité se réchauffe, l'effet de superposition s'améliore, de même que les stores situés entre les deux peaux réduisent le gain de chaleur solaire.

La figure montre l'effet de divers facteurs sur le transfert de chaleur à travers l'enveloppe du bâtiment et illustre l'impact du rayonnement solaire, de la conduction et de la convection sur le flux d'air à travers la cavité FDP. Un système FDP entraîne moins de chaleur transférée de l'extérieur vers l'intérieur et moins d'énergie nécessaire pour refroidir l'espace. (Atef Faggal , 2014)

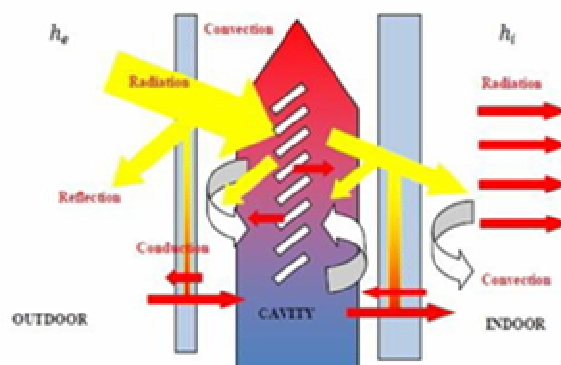


Figure II-62 : Transfert de chaleur à travers une FDP un jour d'été (Haase, 2006).

## 2.9. Performance énergétique des façades à double peau :

Le secteur du bâtiment représente une fraction considérable de la consommation énergétique mondiale. Les effets néfastes d'une demande énergétique croissante, telle que l'épuisement des réserves de combustibles fossiles et des ressources naturelles, ont poussé le secteur de la construction à rechercher de nouvelles technologies permettant de réduire la consommation d'énergie et d'optimiser l'utilisation des ressources naturelles. Les pays européens soucieux de l'énergie et de l'écologie ont intégré le bien-être de leurs occupants tout en menant des recherches sur des technologies innovantes.

Etant donné que les façades à double peau offrent aux occupants un milieu sain et confortable et utilisent moins de ressources naturelles, elles sont donc moins énergivores et sont devenues une invention prometteuse pour tous. L'analyse de la performance des façades à double peau et de la consommation d'énergie n'est pas concluante pour le moment. Cependant, sur la base d'analyses de performances thermiques effectuées jusqu'à présent, une façade à double peau offre de meilleures performances et permet de réduire l'énergie, notamment sur le cycle de chauffage, à partir d'un mur à double vitrage standard. (Atef Faggal, 2014).

### 3. Les façades actives :

#### 3.1. Le mur capteur :

Le mur capteur est composé d'un vitrage à forte émissivité devant un mur à grande inertie thermique. Le rayonnement solaire arrive et chauffe la lame d'air sise entre le vitrage et le mur, cette chaleur est ensuite redistribuée avec un certain déphasage à l'intérieur (Noé21, 2012).

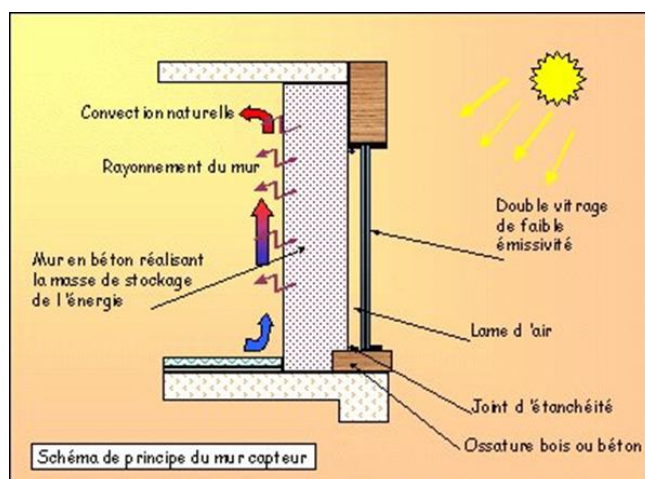


Figure II-63 : Schéma de principe du mur capteur.  
(Source : [http://www.cobse.fr/images/mur\\_capteur.jpg](http://www.cobse.fr/images/mur_capteur.jpg)).

#### 3.2. Le mur Trombe :

Le mur Trombe est basé sur le même phénomène physique que le mur capteur mais a en plus des clapets situés en partie supérieure et inférieure du mur permettant une circulation de l'air afin d'éviter les surchauffements en été (Noé21, 2012).

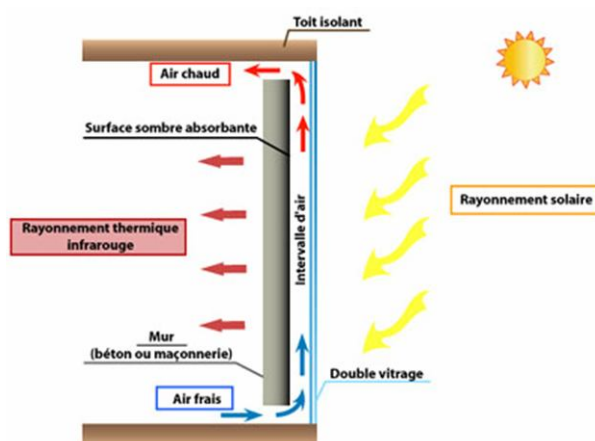


Figure II-64 : Schéma de principe du Mur Trombe  
(Source : <http://www.caue54.com/UPLOAD/glossaire/Mur%20Trombe.jpg>).

### 3.3. La véranda :

Le principe de véranda ou serre bioclimatique est similaire à celui du mur trombe, la seule différence est que la lame d'air se transforme en espace de vie (Noé21, 2012).

#### Typologie simplifiée des vérandas

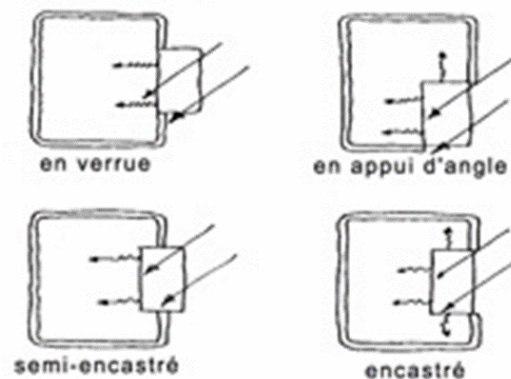


Figure II-65 : Schéma de principe d'une véranda.

(Source : [http://www.lfconseil.fr/img\\_archivos/isolation/verandatypologie.jpg](http://www.lfconseil.fr/img_archivos/isolation/verandatypologie.jpg)).

### 3.4. Illustrations des différentes techniques :

#### 3.4.1. Les façades vitrées :

Elles sont les plus répandues. Le vitrage situé avant la façade du bâtiment, permet de filtrer le rayonnement solaire. Elles permettent également une ventilation naturelle, une isolation thermique et phonique.



Figure II-66 : Façade vitrée

(Source : <https://journal.hautehorlogerie.org/fr/omega-voit-loin/>).

#### 3.4.2. Les façades métalliques :

Elles se présentent généralement sous forme de lame brise-soleil ou de maille, en aluminium ou acier. La vocation première de cette façade est de diminuer l'apport solaire direct, de manière à éviter les surchauffes estivales. C'est donc une enveloppe métallique qui vient entourer, totalement ou partiellement, le bâtiment déjà existant.

Cette technique est souvent appliquée dans les bâtiments tertiaires, afin de réconcilier esthétique et confort thermique. Là encore, la lame d'air présente entre l'écran et le bâtiment joue le rôle d'espace tampon, et permet une ventilation naturelle.





**Figure II-67 : Façade métalliques.**

(Source : <https://www.pinterest.fr/pin/431501208033213533/?lp=true>).

### 3.4.3. Les façades végétalisées :

La surface de cette double peau est composée de murs végétalisés, dont les parois sont couvertes de plantes sur les deux faces. Ce système de murs végétalisés apporte un rafraîchissement de l'air en été. Grâce au principe de l'évapotranspiration, un environnement végétal augmente le taux d'humidité dans l'air, ce qui crée une atmosphère plus fraîche. Grâce à une circulation aéroulque appropriée il est ainsi possible de rafraîchir l'air ambiant du bâtiment sans avoir recours à un système de climatisation.

- En été, les plantes sont verdoyantes et favorisent deux phénomènes : d'une part, le rayonnement solaire est filtré par le rideau végétal ce qui permet de garantir un confort thermique à l'intérieur, et d'une autre part, la circulation d'air frais, d'abord dans l'espace intermédiaire, puis au sein du bâtiment, permet de palier à l'utilisation d'une climatisation.
- En hiver, les feuilles caduques permettent au rayonnement solaire de pénétrer dans le bâtiment et ainsi d'apporter de la chaleur.



**Figure II-68 : Façade végétalisée.**

(Source : <https://eduscol.education.fr/>).

#### 3.4.4. Les façades à lamelles :

Présentes devant des vitrages, les lames de bois ont la même vocation que leurs cousines métalliques.



**Figure II-69 : Façade à lamelles.**

(Source : <http://www.office-et-culture.fr/architecture/concept/pole-technologique-mantois>).

#### 3.5. Conclusion :

Les façades double peau (encore appelées façades bioclimatiques ou double façade ventilée) sont très prisées par les concepteurs et connaissent aujourd'hui un développement significatif.

Espace tampon entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment, la double façade ventilée représente une opportunité intéressante pour la création de grandes ouvertures vitrées. Elle offre ainsi aux maîtres d'ouvrage, de nombreux avantages tant sur le plan acoustique et thermique qu'esthétique.

Élément visuel de premier ordre, la façade double peau rend possible l'interaction entre l'environnement naturel et le bâti. Son automatiser permet d'optimiser le confort des usagers du bâtiment tout en favorisant les apports naturels (lumière, chaleur et ventilation).

## Chapitre III : L'ETAT DE L'ART.

### Introduction :

Le thème « **L'effet de la double façade ventilée dans une enveloppe architecturale sur le confort thermique** » que nous traitons dans le cadre de master a été aussi discuté et étudié par plusieurs chercheurs. Des ouvrages, des périodiques (articles scientifiques), ou même des interventions et des communications scientifiques effectués à travers des célèbres architectes, des séminaires et des rencontres scientifiques dans le monde entier ont constitué les différents canaux de diffusion des connaissances scientifiques par des chercheurs.

Ces derniers n'ont pas manqué de développer des recherches antérieures et au même temps n'ont pas hésité à la fois de développer et enrichir diverses opinions. Dans ce contexte, nous avons essayé d'opter pour quelques travaux qui ont relation avec notre thème selon des critères scientifiques. Dans ce qui suit, nous proposons des synthèses de quelques travaux réalisés jusqu'à nos jours : 3 articles scientifiques.

### 1. L'analyse des articles.

#### 1.1. Le premier article :

Cet article est intitulé : « L'effet de la double façade ventilée sur le confort thermique et la consommation énergétique dans les immeubles de bureaux », dont l'auteur est Ahmed Atef Faggal, membre au département d'Architecture, Faculté des sciences et d'engineering, université Ain Shams en Egypte. Il a été publié en 2014.

(Source : [https://www.researchgate.net/publication/312040800\\_Double\\_Skin\\_Facade\\_Effect\\_on\\_Thermal\\_Comfort\\_and\\_Energy\\_Consumption\\_in\\_Office\\_Buildings](https://www.researchgate.net/publication/312040800_Double_Skin_Facade_Effect_on_Thermal_Comfort_and_Energy_Consumption_in_Office_Buildings)).

##### 1.1.1. Présentation de l'article :

- **L'auteur** : Ahmed Atef Faggal.
- **Source** : Département d'Architecture – Faculté d'engineering – Université Ain Shams, Egypte.
- **L'intitulé** : L'effet de la double façade ventilée sur le confort thermique et la consommation énergétique dans les immeubles de bureaux.
- **Les mots clés** : Façade à double peau, performances thermiques, consommation énergétique, contrôle de l'environnement.

##### 1.1.2. L'analyse de l'article :

###### 1.1.2.1. La problématique :

Quel est l'effet de la double façade ventilée sur le confort thermique et la consommation énergétique dans les immeubles de bureaux dans les climats régionaux de l'Égypte (Alexandrie, le Caire et Assouan) ?

###### 1.1.2.2. L'objectif de l'article :

Cet article vise à évaluer les performances thermiques d'un immeuble de bureaux standard climatisé utilisant des façades à double peau par rapport aux performances d'un mur conventionnel existant (murs combinés opaques et transparents) comme cas de référence dans les climats régionaux de l'Égypte (Alexandrie, Le Caire et Assouan). Les conditions thermiques intérieures définies par la baisse de température de l'air et les besoins en énergie du chauffage et du refroidissement, ont été analysés, l'indice de vote moyen prédit (PMV) et le pourcentage prédit de personnes insatisfaites (PPD) ont été définis.

### **1.1.2.3. La méthodologie :**

Cet article fait partie d'une analyse de simulation séquencée qui vise à améliorer les performances thermiques des immeubles de bureaux par le biais de variations de murs extérieurs en Égypte ; La modélisation énergétique du bâtiment (BEM) est la méthode de prévision de la consommation énergétique du bâtiment par le biais d'un processus de simulation prenant en compte les nombreuses caractéristiques thermiques du bâtiment, notamment les matériaux de l'enveloppe, l'orientation, l'occupation du bâtiment et les données climatiques locales. Dans cet article, les performances prévues du bâtiment ont été analysées à l'aide d'un outil de simulation thermique dynamique appelé environnement virtuel de solutions environnementales intégrées (IES VE). Ce logiciel peut être utilisé pour réaliser une simulation thermique en régime permanent et dynamique à l'aide de données météorologiques horaires et d'une entrée détaillée pour la structure du bâtiment.

### **1.1.2.4. Les résultats :**

Les résultats de cet article présentent une analyse thermique préliminaire effectuée pour un immeuble de bureaux climatisé standard. La première étape a porté sur la température de l'air et la consommation d'énergie toute l'année pour définir le jour de pointe et la pire orientation parmi les quatre principales orientations. Les résultats de la deuxième étape ont été axés sur le temps d'occupation maximal et la pire performance d'orientation du bâtiment en utilisant un mur conventionnel.

Les résultats des jours de pointe ont été analysés et comparés dans les trois villes étudiées. Les résultats de la troisième étape se sont concentrés sur le temps d'occupation et la pire performance d'orientation du bâtiment en utilisant une double façade (FDP). Il est devenu évident que les performances thermiques des matériaux de mur conventionnels montraient que le pourcentage prédit d'insatisfaits était respectivement de (21%) et (27,5%) dans les régions côtières d'Alexandrie et de la Méditerranée et dans la région semi désertique du Caire. Alors que le pourcentage prévu de personnes insatisfaites (34%) était atteint dans l'extrême désert aride d'Assouan.

### **1.1.2.5. L'exploitation de l'article (Relation de l'article avec le thème de recherche) :**

- **Concept de façade à double peau :** Le terme façade à double peau peut être défini comme une combinaison d'une façade à une seule couche traditionnelle doublée à l'extérieur par une seconde couche, essentiellement une façade vitrée supplémentaire. Chacune de ces couches est communément appelée «peau», d'où le terme largement utilisé de «façade à double peau». En outre, une cavité à ventilation naturelle, scellée ou autorégulatrice, située entre chaque peau, a une largeur pouvant aller de quelques centimètres au plus étroit à plusieurs mètres pour les cavités accessibles les plus larges.

Le vitrage peut s'étendre sur une structure entière ou sur une partie seulement de celle-ci. La couche interne de verre, généralement isolante, fait partie d'un mur structurel conventionnel ou d'un mur-rideau, tandis que la couche supplémentaire, généralement à simple vitrage, est placée devant le vitrage principal et crée ainsi un espace d'air.

#### **- Utilisation de l'énergie :**

- Réduction de la demande de chauffage en hiver.
- Réduction de la demande de refroidissement en été.
- Réduction des charges de pointe en chauffage / climatisation.
- Utilisation de la lumière naturelle au lieu de la lumière artificielle autant que possible.

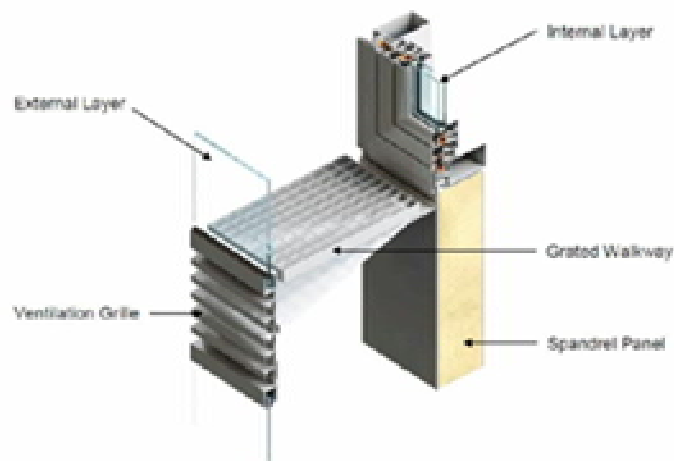


Figure III-1 : Plan et coupe typiques à mi-étage. (Faggal, 2014).

- **La structure d'un système de façade à double peau :**

- **Vitrage extérieur:** Il s'agit généralement d'un simple vitrage durci. Cette façade extérieure peut être entièrement vitrée. Cet habillage supplémentaire réduit les niveaux sonores dans les lieux particulièrement bruyants, tels que les aéroports ou les zones urbaines très fréquentées.
- **Vitrage intérieur:** Double vitrage isolant (on peut utiliser du vernis transparent, à faible émissivité, du vitrage à contrôle solaire, etc.). Presque toujours, cette couche n'est pas complètement émaillée. La fenêtre intérieure peut être ouverte par l'utilisateur, même dans le cas d'immeubles de grande hauteur soumis à la pression du vent. Cela peut permettre une ventilation naturelle des bureaux.
- **La cavité d'air (également appelée couloir d'air ou espace intermédiaire) :** située entre les peaux est naturellement ou mécaniquement ventilée. La stratégie de ventilation de la cavité d'air peut varier avec le temps. sa largeur allant de 20 cm à plusieurs mètres, cette largeur influence le maintien de la façade. Le changement d'air entre l'environnement et la cavité dépend des conditions de pression du vent sur la peau du bâtiment, de l'effet de superposition et du coefficient de décharge des ouvertures. Ces événements peuvent être laissés ouverts tout le temps (systèmes passifs), ou ouverts à la main ou à la machine (système actif). Les systèmes actifs sont très compliqués et donc coûteux en construction et en maintenance.

- **Protection solaire contrôlée manuellement ou automatiquement:**

Tels que les stores vénitiens et les persiennes, est intégré entre les deux peaux afin d'améliorer le climat intérieur avec des techniques actives ou passives. Son emplacement entre les deux peaux les protège des influences du temps et de la pollution de l'air, de sorte que ces dispositifs d'ombrage sont moins coûteux que les systèmes montés à l'extérieur. Pendant les conditions de refroidissement, les stores vénitiens (ou stores à enroulement) couvrent toute la hauteur de la façade et sont inclinés pour bloquer le soleil direct. Le rayonnement solaire absorbé est soit convecté dans l'espace intermédiaire, soit réémis vers l'intérieur et l'extérieur. Les revêtements à faible émittance sur la façade de verre intérieure réduisent les gains de chaleur radiative vers l'intérieur.

- **Types de façades à double peau :**

Les types sont décrits ci-dessous, comme illustré à la figure :

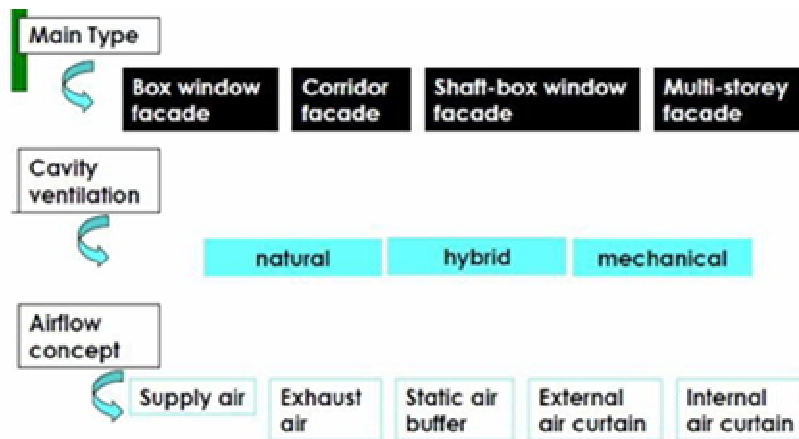


Figure III-2 : Types de façades à double peau. (Faggal, 2014).

### A. Type de fenêtre (Box- Window) :

Dans ce cas, des cloisons horizontales et verticales divisent la façade en boîtes plus petites et indépendantes.

- La façade en caisson est l'une des formes les plus anciennes de configuration de façade à double peau.
- Elle est composée de caissons modulaires de façade à double paroi et à double paroi, divisés par la largeur des baies structurelles ou par pièce.
- La peau extérieure simple vitrage comporte des ouvertures pour permettre l'entrée d'air frais et la sortie d'air vicié. Il en résulte une capacité de ventilation naturelle de l'espace intermédiaire et des pièces internes.
- La configuration Box Façade est le plus souvent utilisée dans les situations où il est tenu compte des niveaux de bruit externe élevés et lorsqu'il existe des exigences particulières en ce qui concerne la transmittance du son entre les pièces adjacentes.

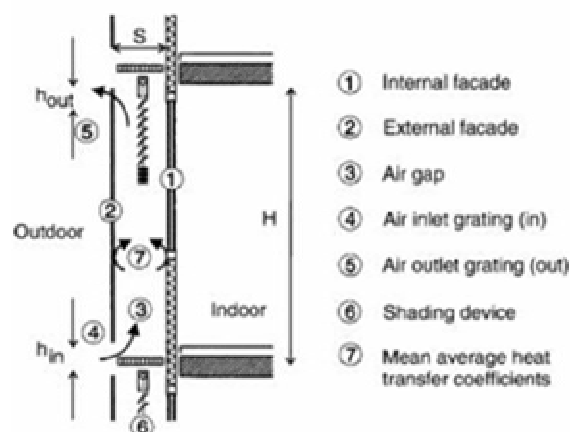


Figure III-3: Section typique du type de fenêtre Box. (Faggal, 2014).

### B. Type de boîte d'arbre (shaft-box) :

- Dans ce cas, un ensemble d'éléments de fenêtre en boîte sont placés dans la façade. Ces éléments sont reliés par des puits verticaux situés dans la façade. Ces arbres assurent un effet de pile accru.
- La façade Shaft-Box est une variante unique d'une configuration Box Façade combinant à la fois une façade à double peau avec une cavité à plusieurs étages et une autre avec une cavité à un étage.



- La hauteur verticale de la gaine crée des forces de soulèvement importantes en raison de l'effet de pile accru et tire l'air des éléments de façade du caisson jusqu'au sommet de la gaine où il est épuisé.
- La configuration de la façade Shaft-Box est généralement utilisée dans les bâtiments de faible hauteur.

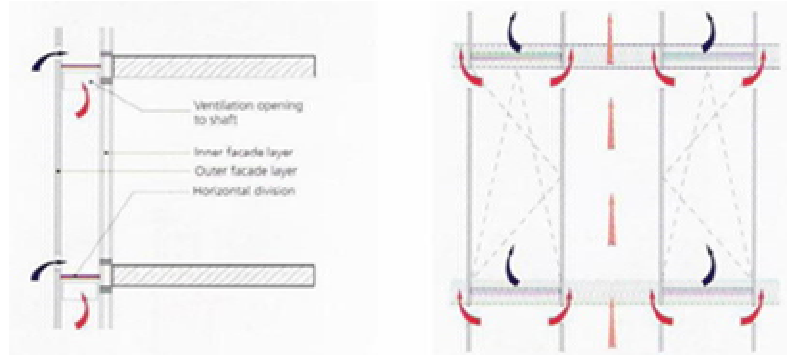


Figure III-4 : Section typique du type de boîte d'arbre. (Faggal, 2014).

### C. Façade du couloir :

- La séparation horizontale est réalisée pour des raisons acoustiques, de sécurité incendie ou de ventilation.
- Il ne contient pas de divisions verticales, à l'exception de celles requises au coin du bâtiment ou ailleurs pour des raisons de structure, d'acoustique ou de protection incendie.
- La peau extérieure simple vitrage contient des ouvertures généralement disposées en quinconce d'une baie à l'autre afin d'empêcher l'air vicié extrait à un étage de pénétrer dans la cavité située juste au-dessus.
- Une configuration de façade de couloir est généralement utilisée dans les cas de grande hauteur.

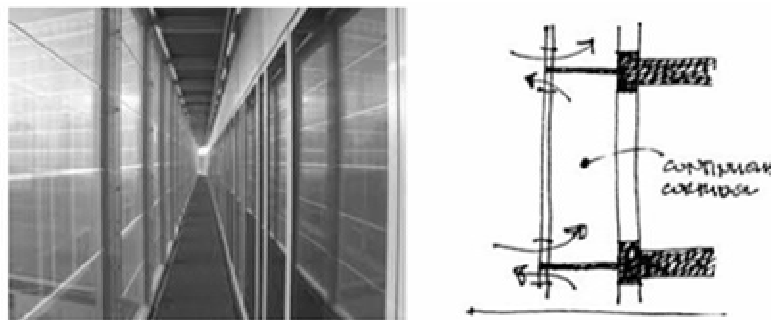


Figure III-5 : Section typique de la façade du couloir. (Faggal, 2014).

### D. Façade à double peau à plusieurs étages :

- Dans ce cas, il n'existe pas de partitionnement horizontal ou vertical entre les deux peaux.
- La ventilation de la cavité d'air se fait par de grandes ouvertures près de l'étage et le toit de l'immeuble.
- Une configuration de façade à plusieurs étages est la mieux adaptée là où les niveaux de bruit externe sont élevés et l'isolation acoustique est essentielle exigence de conception.

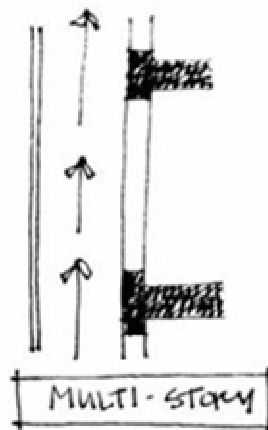


Figure III-6 : Section typique d'une façade à double peau et à plusieurs étages. (Faggal, 2014).

#### E. Les façades à lamelles :

- Avec ce genre de façade, la peau extérieure est composée de rotative transparente motorisée persiennes.
- En position fermée, ces persiennes constituent une façade relativement hermétique. En position ouverte, ils permettent une ventilation accrue de l'air cavité.



Figure III-7 : Section typique des façades à lames. (Faggal, 2014).

#### 1.1.3. Les recommandations :

Les façades à double peau pour les immeubles de bureaux ont été développées principalement en Europe afin de parvenir à une transparence accrue associant un environnement intérieur acceptable à une consommation d'énergie réduite. Le principal inconvénient de ce système est que, dans les pays à gains solaires élevés, la température de l'air à l'intérieur de la cavité augmente pendant les périodes de forte chaleur, ce qui entraîne des problèmes de surchauffe. La façade double peau doit être conçue pour un emplacement de bâtiment et une orientation de façade donnés, sans quoi les performances du système ne seront pas satisfaisantes.

Les paramètres de conception qui doivent être étudiés pour améliorer les performances de la façade et assurer une consommation d'énergie réduite et un bon environnement intérieur sont les suivants :

- Conception et type de la façade.
- Conception structurelle de la façade.
- Géométrie de la cavité.
- Utilisation de l'air à l'intérieur de la cavité - type de ventilation de la cavité.
- Principes d'ouverture de la cavité, de l'intérieur et de la façade extérieure.
- Type de vitrage, d'ombrage et d'éclairage.
- Choix du matériau pour les vitres et les dispositifs d'ombrage.
- Positionnement des dispositifs d'ombrage.

Les expériences des systèmes de façade double peau en zone chaude sont optimales lorsque les bâtiments sont orientés vers le nord et le sud, avec des systèmes d'ombrage horizontal et des fenêtres à ouverture automatique, ainsi qu'une largeur de cavité égale à 30 cm, ce qui permet d'obtenir de meilleurs résultats. De système d'ombrage, ventilation naturelle, durabilité et efficacité énergétique.

## **1.2. Le deuxième article :**

Cet article est intitulé : « Cavités de façade à double peau non uniformes : une étude exploratoire sur la stratification thermique de la cavité et les niveaux de lumière de jour », dont les auteurs : Neveen Hamza et Islam Abohela, membres à l'école d'Architecture, d'urbanisme et d'aménagement paysager, université de Newcastle, Newcastle upon tyne en Royaume-Uni. Il a été publié en 2013 dans PLEA 2013, 19ème conférence, Architecture durable pour un avenir renouvelable.

(Source : <https://eprint.ncl.ac.uk/195977>).

### **1.2.1. Présentation de l'article :**

- **L'auteur :** Neveen Hamza et Islam Abohela.
- **Source :** PLEA 2013, 19ème conférence, Architecture durable pour un avenir renouvelable.
- **L'intitulé :** Cavités de façade à double peau non uniformes : une étude exploratoire sur la stratification thermique de la cavité et les niveaux de lumière de jour.
- **Les mots clés :** Façade à double peau, stratification thermique, lumière du jour, climat tempéré.

### **1.2.2. L'analyse de l'article :**

#### **1.2.2.1. La problématique :**

Quel est la meilleure configuration de cavité des façades double peau afin d'obtenir une bonne stratification thermique et des niveaux de lumière de jour satisfaisantes ?

#### **1.2.2.2. L'objectif de l'article :**

Connaître la meilleure configuration de cavité des façades à double peau réalisées dans des environnements climatiques de différentes régions afin d'obtenir une bonne stratification thermique et des niveaux de lumière de jour satisfaisantes.

#### **1.2.2.3. La méthodologie :**

Cet article présente une étude exploratoire utilisant la modélisation thermique et à la lumière du jour pour trois cavités de différentes configurations des Façades doubles peau dans le nord-est de l'Angleterre.

#### 1.2.2.4. Les résultats :

Les résultats indiquent que thermiquement la masse interne échelonnée tout en ratisser la façade risque de subir moins de stratification thermique car la façade interne se protège du rayonnement solaire direct l'absence de lumière du jour appropriée peut rendre cette solution volumineuse en énergie en raison de la nécessité de lumière artificielle.

#### 1.2.2.5. L'exploitation de l'article (Relation de l'article avec le thème de recherche) :



Figure III-8 : Façade extérieure double peau pliée (à gauche), sociale espace libre dans la cavité du FDP (à droite). (Neveen, Islam, 2013).

#### A. L'impact des façades non uniformes sur stratification de la température dans la cavité :

- La stratification thermique dans la cavité est influencée par un certain nombre de facteurs de conception et paramètres climatiques, y compris les niveaux de rayonnement solaire, l'orientation de la construction, l'utilisation des dispositifs d'ombrage et leur couleur, opaques rapports mur / fenêtre de la façade intérieure, profondeur de la cavité, des types de vitrage double peau sur les deux façades et la conception des entrées et des sorties par rapport à direction et vitesse du vent dominant.
- La meilleure configuration est (1m) dans un climat chaud et aride à l'est orientation.

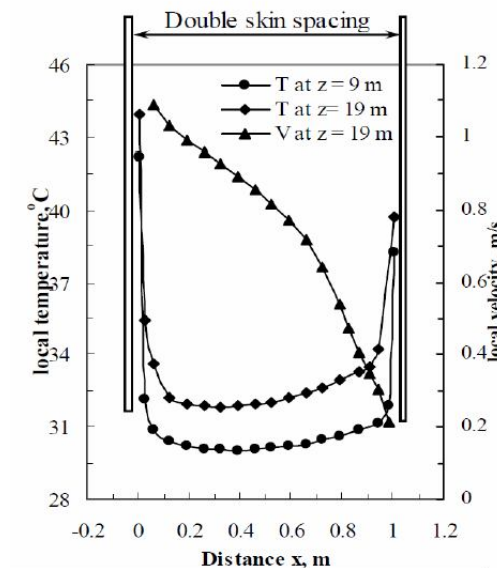


Figure III-9 : Profil de stratification thermique dans un croisement FDP. Section et vitesse de l'air au sommet de la cavité. (Neveen, Islam, 2013).

- Les résultats ont indiqué qu'il y avait différences mineures dans la stratification de la température de la cavité et les taux de changement d'air de ventilation naturelle introduits à l'intérieur.

### B. Modèles de géométrie :

Trois modèles géométriques :

- La cavité droite de la façade double peau.
- La cavité rasée de la façade double peau.
- La cavité décalée / inclinée de la façade double peau.

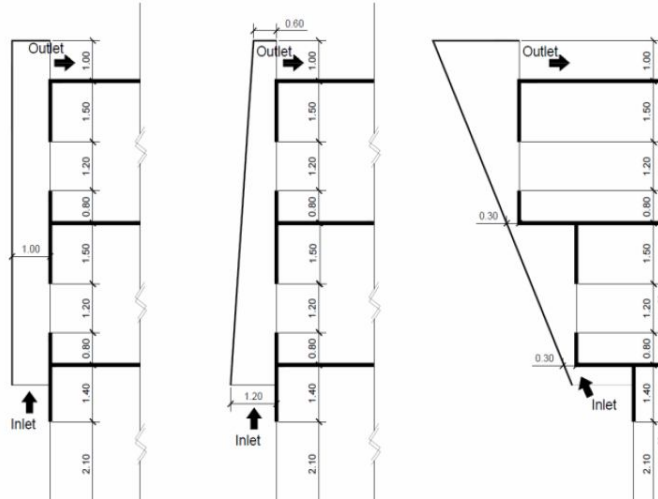


Figure III-10 : FDP droit (à gauche), FDP rasée (au milieu, décalé) FDP (droite). (Neveen, Islam, 2013).

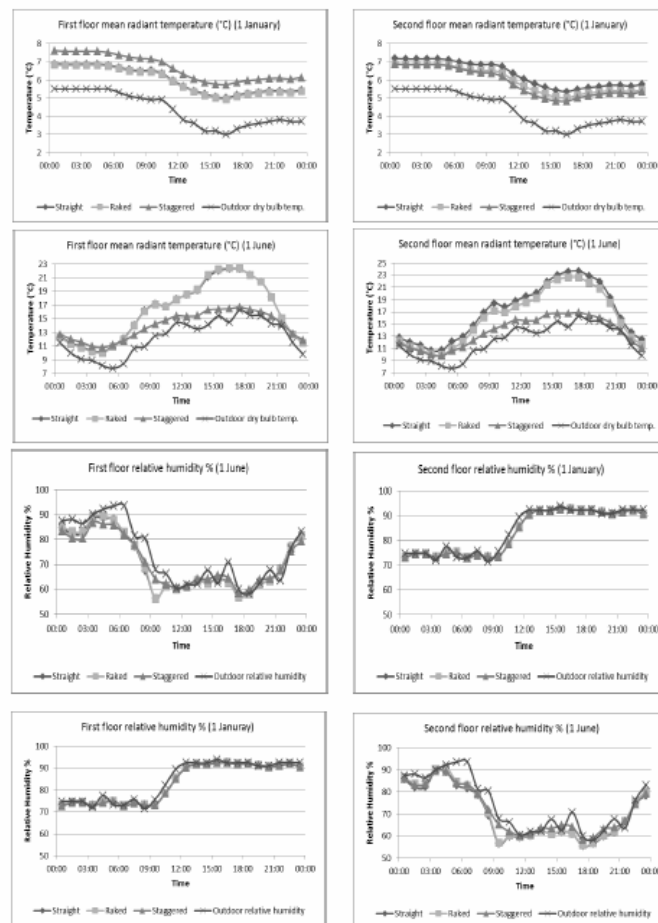


Figure III-11 : Analyse comparative des trois configurations de la cavité de FDP entre été et hiver, par étage.

### 1.2.3. Résultats et discussion :

- L'impact du rayonnement solaire direct est plus prononcé que le transfert thermique par convection et par conduction dans la cavité de la façade à double peau.
- Une tendance constante des trois configurations de façade indique que les températures de la cavité interne sont toujours plus élevées que les conditions ambiantes.
- Les différences entre les trois configurations de façade sont minimes et constamment supérieures d'environ 3 ° C à la température ambiante.
- En été, les configurations rectiligne et inclinée montrent un comportement thermique presque identique avec des températures s'élevant fortement (7-8 ° C) au-dessus de la température ambiante pendant les heures de rayonnement solaire incident direct. En été, on prévoit que la configuration échelonnée suivra davantage le profil ambiant, car elle se couvrira de lumière par la projection de la masse de la façade interne.
- L'étude du niveau d'humidité relative indique également si l'air de la cavité peut être introduit pour la ventilation naturelle. Il existe un schéma cohérent entre les trois configurations selon lequel le deuxième étage a une humidité relative inférieure, car la stratification thermique entraîne des températures plus élevées dans la cavité du deuxième étage.
- Le rayonnement solaire incident direct associé à l'effet de flottabilité joue également un rôle dans la diminution de l'humidité relative de la cavité en été, car il élève la température de la cavité au-dessus de la température ambiante au deuxième étage.
- Les températures dans la cavité du deuxième étage sont environ 2 ° C plus élevées que celles du premier étage, ce qui limite encore la possibilité de ventilation naturelle, en particulier lorsque l'air de la cavité est introduit dans des zones avec des gains de chaleur internes élevés et qu'un air plus froid est nécessaire.

### 1.2.4. Conclusions :

- Les conditions thermiques indiquent que le premier étage a une distribution de température plus basse et températures moyennes que la seconde. Cela est attendu en raison de la force motrice réduite de la flottabilité à l'étage supérieur.
- Les performances thermiques de la cavité droite et de la cavité inclinée sont presque similaires, ce qui est conforme aux simulations précédentes utilisant la CFD.
- Pour la configuration en quinconce, tout en maintenant un profil de stratification thermique plus faible, l'ombrage réduit considérablement la pénétration de la lumière du jour.
- L'ouverture entre les deux étages est de 0,3 m et doit être étudiée en modifiant son ouverture sur d'autres dimensions. L'impact sur le débit d'air et la qualité de l'air dans la cavité doit être étudié.

### 1.3. Le troisième article :

Cet article est intitulé : « La classification des façades à double peau et leur fonction pour réduire la consommation énergétique et créer la durabilité dans les bâtiments », dont les auteurs sont : Arash Yazdizad, Firooze Rezaei et « Foad Faizi, membres au département d'Architecture, Faculté d'art et architecture, université de Téhéran en Iran.



Il a été publié en 2014 dans le 2ème congrès international sur la structure, l'architecture et le développement urbain, 16-18 décembre 2014, Tabriz, Iran.

(Source : [https://www.researchgate.net/publication/293333056\\_Classification\\_of\\_Double\\_Skin\\_Facade\\_and\\_Their\\_Function\\_to\\_Reduce\\_Energy\\_Consumption\\_and\\_create\\_sustainability\\_in\\_Buildings](https://www.researchgate.net/publication/293333056_Classification_of_Double_Skin_Facade_and_Their_Function_to_Reduce_Energy_Consumption_and_create_sustainability_in_Buildings)).

### **1.3.1. Présentation de l'article :**

- **L'auteur :** Arash Yazdizad, Firooze Rezaei et Foad Faizi.
- **Source :** 2ème congrès international sur la structure, l'architecture et le développement urbain, 16-18 décembre 2014, Tabriz, Iran.
- **L'intitulé :** La classification des façades à double peau et leur fonction pour réduire la consommation énergétique et créer la durabilité dans les bâtiments.
- **Les mots clés :** Façade à double peau, ventilation naturelle, durabilité, efficacité énergétique.

### **1.3.2. L'analyse de l'article :**

**1.3.2.1. La problématique :** Quel sont les caractéristiques et la classification des façades double peau et quels sont leurs fonctions pour réduire la consommation énergétique et créer la durabilité dans les bâtiments ?

**1.3.2.2. L'objectif de l'article :** Les caractéristiques et la classification des façades à double peau, et leurs avantages et inconvénients afin de préciser si ces systèmes représentent ou non un avantage appréciable de l'efficacité énergétique et de la durabilité dans la construction ou sont juste une architecture mode.

**1.3.2.3. La méthodologie :** Cette étude a été effectuée par le biais d'une méthodologie analytique tournant autour de la collecte des données bibliographiques.

**1.3.2.4. Les résultats :** les systèmes de façade à double peau créent un environnement intérieur avec une consommation d'énergie réduite, et ils sont le point de départ pour convertir la hauteur des bâtiments dans le domaine de l'architecture durable.

**1.3.2.5. L'exploitation de l'article (Relation de l'article avec le thème de recherche) :**

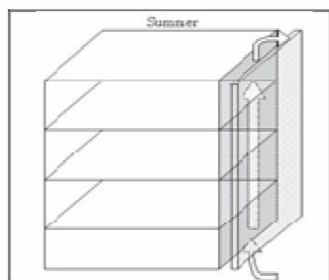
### **Classification des systèmes de façade à double peau :**

#### **A. Les types de ventilations :**

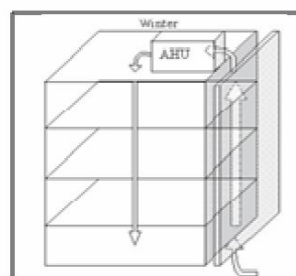
- **ventilation naturelle :** Dans ce type de ventilation, l'air chaud monte et l'air circule dans la cavité. Les occupants ont accès au flux d'air. La ventilation naturelle provoque une réduction de consommation d'énergie si bien effectuée. La figure 1 montre la ventilation naturelle.

- **Ventilation mécanique** En ventilation mécanique, l'air circule à l'aide d'un composant de circulation d'air motorisé.

- **ventilation hybride :** La ventilation hybride inclut la ventilation naturelle et mécanique dans laquelle nous utilisons ventilation mécanique lorsque la ventilation naturelle n'est pas suffisante ou qu'elle ne peut pas fonctionner correctement.



**Figure III-12 : Système de ventilation naturelle.**  
(Arash, Firooze, Foad, 2014).



**Figure III-13 : Système de ventilation mécanique.**  
(Arash, Firooze, Foad, 2014).

### B. Le compartimentage de la façade :

<b>Le compartimentage de la cavité</b>	Module juxtaposé	Les modules de la façade de classe restreignent la cavité, horizontalement et verticalement.
		La façade est limitée à un étage.
	Type de couloir	La cavité est un couloir dans lequel on peut traverser.
		Les cavités de chaque étage sont distinctes d'autres.
		Il n'est pas limité verticalement.
	Boîte d'arbre	Il n'est pas limité verticalement. Composé de modules de façade juxtaposés et d'un conduit de ventilation vertical.
		L'air est naturellement noyé dans le conduit de ventilation et évacué au moyen de la sortie située aux étages supérieurs.
	Multi étages	La cavité n'est pas partitionnée ni horizontalement ou verticalement.
		La cavité est assez grande pour un individu accès pour nettoyage ou entretien.
		Il y a une haute performance acoustique.

**Tableau III-1 : Différents types de modules pour le compartimentage.** (Arash, Firooze, Foad, 2014).

### C. Les modes de ventilation de la cavité :

<b>Les modes de ventilation de la cavité</b>	Rideau d'air extérieur {3}, {4}	L'air vient de l'extérieur et est évacué vers l'extérieur.
	Rideau d'air intérieur {1}, {2}	L'air vient de l'intérieur de la pièce et retourne à l'intérieur de la pièce, naturellement ou mécaniquement.
	Arrivée d'air {6}, {8}	L'air extérieur circule dans la pièce ou dans le système de ventilation.
	Échappement d'air {5}, {7}	L'air vient de l'intérieur de la pièce et est rejeté à l'extérieur.
	Ouvrir {9}	L'air peut venir de l'extérieur et de l'intérieur (pas de ventilation dans la cavité).
	Fermer {dix}	La cavité forme une zone tampon entre l'intérieur et l'extérieur et aucune ventilation dans la cavité n'est possible.

**Tableau III-2 : Les différents types de ventilation de la cavité.** (Arash, Firooze, Foad, 2014).

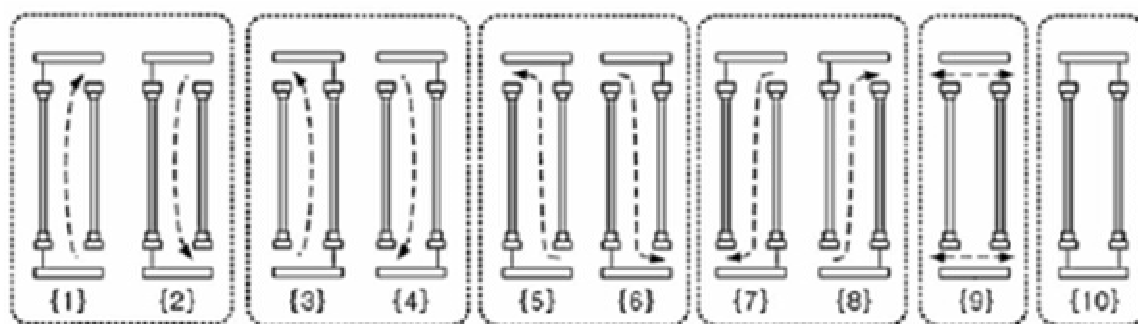


Figure III-14 : Six modes de ventilation et dix régimes d'écoulement d'air. (Lattes aveugles non dessinées pour plus de clarté). (Arash, Firooze, Foad, 2014).

#### D. Avantages et inconvénients de la double façade en verre :

Avantages et inconvénients de la double façade en verre		Durabilité
Avantages	Isolation sonore.	-
	Isolation thermique.	*
	Ventilation nocturne.	-
	Économies d'énergie et impacts environnementaux réduits.	*
	Meilleure protection des dispositifs d'ombrage ou d'éclairage.	*
	Réduction des effets de la pression du vent.	*
	Transparence - conception architecturale.	-
	Ventilation naturelle	-
	Confort thermique - températures de mur intérieur .	*
	Escalier de secours.	-
	Faible Valeur U et Valeur G.	*
Désavantages	Coûts de construction plus élevés.	-
	Réduction des surfaces de bureaux louables.	-
	Frais d'entretien et d'exploitation supplémentaires.	-
	Problèmes de surchauffe.	-
	Augmentation de la vitesse du flux d'air.	-
	Augmentation du poids de construction.	-

Tableau III-3 : Avantages et inconvénients de la double peau. (Arash, Firooze, Foad, 2014).

#### 1.3.3. Résumé :


- Dans cette recherche, les caractéristiques et la classification des façades à double peau ont été étudiées afin de déterminer si ce système est efficace pour réduire la consommation d'énergie dans les bâtiments ou les architectes l'utilisent uniquement à des fins esthétiques.
- En résumé, nous concluons que, sur la base de la capacité des façades à double peau à préparer la ventilation naturelle et la climatisation, et transparence dans les bâtiments, cela peut sans aucun doute être un facteur de durabilité dans les bâtiments.
- Ce système peut réduire l'énergie thermique en été en fournissant une bonne ventilation à travers sa cavité (naturellement ou mécaniquement), et utilise la récupération de chaleur solaire pour chauffer le bâtiment en hiver.

## 2. L'analyse des exemples.

Il sera exposé, ci-dessous, des exemples de projets avec la double façade ventilée.

### 2.1. Le premier exemple : Tour de bureaux de Doha (Qatar) :

#### 2.1.1. Fiche technique de projet :

Le nom de projet	Doha Tower.		
 <p data-bbox="240 1182 671 1265"><b>Figure III-15 : Tour de bureaux de Doha (Qatar).</b> (Source : <a href="https://www.archdaily.com/">https://www.archdaily.com/</a>).</p>	Pays :	Qatar.	
	Ville :	Doha.	
	Situation :	Rue Al Corniche, West Bay Doha, Qatar.	
	Architectes :	Ateliers Jean Nouvel Paris, France.	
	Surface :	60 000 m <sup>2</sup> / 110 000 m <sup>2</sup> .	
	Année :	2012.	
	Montant des travaux (€) :	125 million \$.	
	Site web :	<a href="http://burjdoha.qa/">http://burjdoha.qa/</a>	
	Le maître d'ouvrage :	Sheikh Saud Bin Mohammed Bin Ali Al-Thani.	
	Style :	Mouvement moderne.	
	Étage :	45.	
	Type	Bureaux commerciaux.	
	Hauteur :	231 m.	

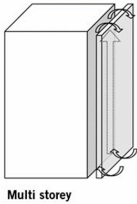
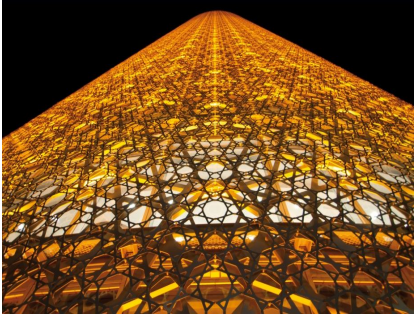
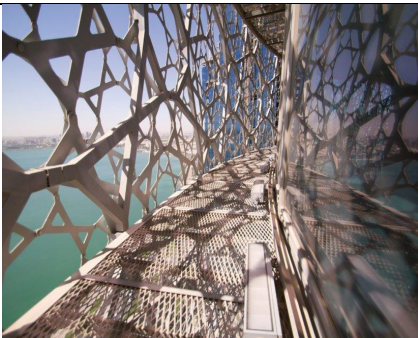
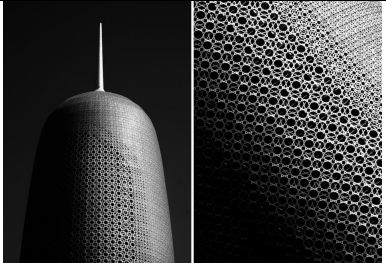
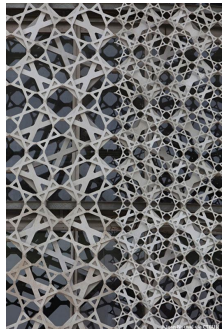
La Doha Tower est une tour de 45 étages de 238 m située dans la baie ouest de Doha, Qatar. Conçu par Jean Nouvel, la forme cylindrique de la tour de Doha a été conçue pour prendre en compte plusieurs des facteurs tels que l'efficacité, la lumière du jour, la résistance au vent et l'iconicité.

Le noyau du bâtiment est décentré, permettant des espaces de travail plus flexibles. Le revêtement extérieur évoque la tradition islamique "Mashrabiya", une forme populaire d'écran en treillis en bois trouvée dans l'architecture islamique vernaculaire utilisé pour atteindre l'intimité tout en réduisant l'éblouissement solaire et le gain de chaleur.

Placé le long de la façade du bâtiment, le « mashrabiya modernisé » utilise un seul motif géométrique superposé à plusieurs échelles et densités pour produire l'effet désiré. C'est-à-dire que les recouvrements correspondent à la dynamique solaire locale avec une valeur de 25% opacité à l'élévation nord, à 40% à l'élévation sud et 60% aux élévations est et ouest.

Dans l'ensemble, on estime que la façade du bâtiment réduit les charges de refroidissement de 20%. Achievé en 2012, Doha Tower a reçu le prix CTBUH Skyscraper du meilleur grand immeuble dans le monde entier en 2012 aussi.

**2.1.2. La double façade ventilée dans ce projet :**

<p><b>1. Le type de ventilation :</b></p>	<p>Naturelle.</p>	
<p><b>2. Le compartimentage de la façade :</b></p>	<p>La double façade ventilée est de type multi-étages.</p>  <p>Multi storey</p> <p><b>Figure III-16 : Multi storey.</b> (Source : <a href="http://www.bestfacade.com/textde/bild.htm?img=doubleskin03">http://www.bestfacade.com/textde/bild.htm?img=doubleskin03</a>).</p>	 <p><b>Figure III-17 : La façade double peau.</b> (Source : <a href="https://www.designboom.com/">https://www.designboom.com/</a>).</p>
<p><b>3. Le mode de ventilation de l'espace tampon :</b></p>	<p><b>Rideau d'air extérieur :</b> L'air introduit dans la cavité provient de l'extérieur et est doucement rejeté vers l'extérieur ; la ventilation de l'espace tampon forme un rideau d'air enveloppant la façade extérieure.</p>	 <p><b>Figure III-18 : La cavité de la façade double peau.</b> (Source : <a href="https://www.designboom.com/">https://www.designboom.com/</a>).</p>
<p><b>4. L'épaisseur du canal :</b></p>	<p>1m (l'espace tampon a une largeur suffisante pour permettre la circulation des personnes pour l'entretien et la maintenance).</p>	
<p><b>5. La géométrie de la cavité :</b></p>	<p>Droite.</p>	
<p><b>6. Détails :</b></p>	<p>La variation de densité de Mashrabiya.</p>	 <p><b>Figure III-19 : La variation de densité de Mashrabiya.</b> (Source : <a href="https://www.arch2o.com/doha-tower-jean-nouvel/">https://www.arch2o.com/doha-tower-jean-nouvel/</a>)</p>  <p><b>Figure III-20 : La variation de densité de Mashrabiya</b> (Source : <a href="https://www.arch2o.com/doha-tower-jean-nouvel/">https://www.arch2o.com/doha-tower-jean-nouvel/</a>).</p>

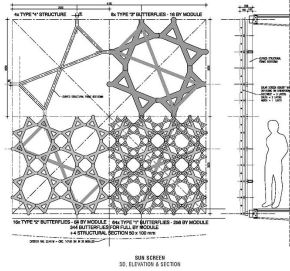
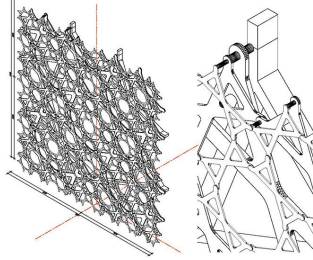
<p>L'utilisation des écrans solaires :</p> <p><b>Est / Ouest : 3 couches. (60%).</b></p> <p><b>Sud : 2 couches. (40%).</b></p> <p><b>Nord : 1 couche. (25%).</b></p>	
 <p><b>Figure III-21 : Elvation et coupe des écrans solaires.</b> (Source : <a href="https://archnet.org/sites/15150/media_contents/113249">https://archnet.org/sites/15150/media_contents/113249</a>).</p>	 <p><b>Figure III-22 : Assemblage 3D des écrans solaires papillons.</b> (Source : <a href="https://archnet.org/sites/15150/media_contents/113249">https://archnet.org/sites/15150/media_contents/113249</a>).</p>

Tableau III-4 : La double façade ventilée de Doha Tower à Doha, Qatar.  
(Source : L'auteur 2019).

## 2.2. Le deuxième exemple : O-14 à Dubai (Émirats Arabes Unis) :

### 2.2.1. Fiche technique de projet :


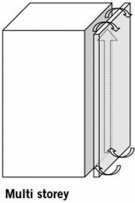
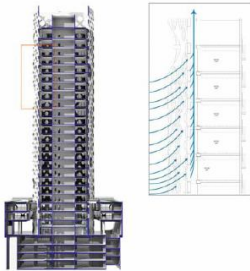
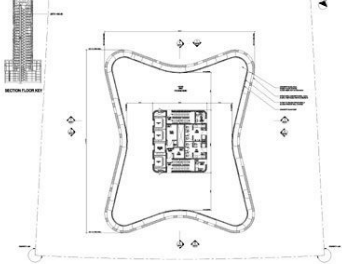
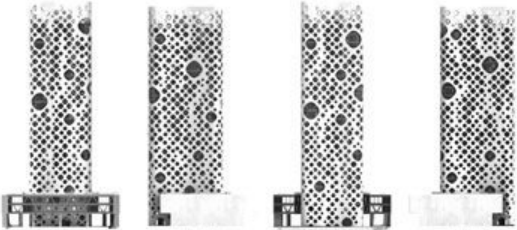
Le nom de projet :	O-14.	
 <p><b>Figure III-23 : O-14 à Dubai (Émirats Arabes Unis).</b> (Source : <a href="https://www.archdaily.com/">https://www.archdaily.com/</a>).</p>	Pays :	Émirats Arabes Unis.
	Ville :	Dubai.
	Situation :	O-14 - Dubai - Émirats Arabes Unis.
	Architectes :	- Reiser + Umemoto RUR Architecture - ERGA Progress.
	Surface :	28,000 m <sup>2</sup>
	Année :	2010.
	Le maître d'ouvrage :	Société de développement Creekside.
	Type :	Tour de bureaux.
	Hauteur :	105.7 m.
	Étage :	24.

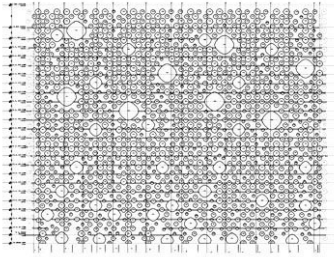
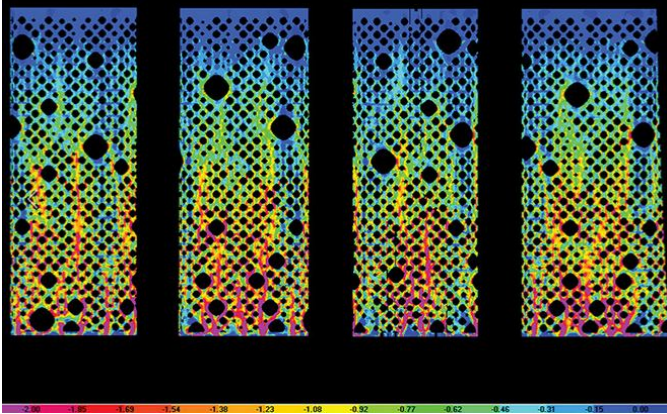
Achevé en 2010, O-14 est une tour de 24 étages située à Dubaï, aux Émirats arabes unis, qui emploie une façade en béton exosquelette avec ouvertures circulaires. Conçu par RUR Architecture, le bâtiment possède un extérieur unique sert d'écran solaire qui protège le mur rideau de verre du dur soleil du désert, tout en offrant des vues à la lumière du jour et cadrant à l'extérieur.



L'espace d'un mètre entre la façade et la surface de verre du bâtiment produit également un effet de cheminée par lequel l'air chaud monte pour créer système de refroidissement passif. La façade sert également d'exosquelette structural qui supporte les charges latérales de la tour. En 2012, le CTBUH a reconnu O-14 comme « Meilleur grand immeuble du Moyen-Orient et de l'Afrique Finaliste ». Le conseil a loué l'exosquelette du bâtiment en déclarant: «La forme courbée et poreuse crée une coquille sculpturale monumentale et ambiguë à l'extérieur, intime et protégée à l'intérieur ».

**2.2.2. La double façade ventilée dans ce projet :**

<p><b>1. Le type de ventilation :</b></p>	<p>Naturelle.</p>	 <p><b>Figure III-25 : La façade double peau.</b> (Source : <a href="https://www.skyscrapercenter.com/building/o-14/8970">https://www.skyscrapercenter.com/building/o-14/8970</a>).</p>
<p><b>2. Le compartimentage de la façade :</b></p>	<p><b>La double façade ventilée est de type multi-étages.</b></p>  <p>Multi storey</p> <p><b>Figure III-24 : Multi storey.</b> (Source : <a href="http://www.bestfacade.com/textde/bild.htm?img=doubleskin03">http://www.bestfacade.com/textde/bild.htm?img=doubleskin03</a>).</p>	
<p><b>3. Le mode de ventilation de l'espace tampon :</b></p>	<p><b>Rideau d'air extérieur :</b> l'air introduit dans la cavité provient de l'extérieur et est doucement rejeté vers l'extérieur ; la ventilation de l'espace tampon forme un rideau d'air enveloppant la façade extérieure.</p>	 <p><b>Figure III-26 : L'effet de cheminée thermique.</b> (Source : <a href="http://global.ctbuh.org/paper/27">global.ctbuh.org/paper/27</a>).</p>
<p><b>4. L'épaisseur du canal :</b></p>	<p>1m (l'espace tampon a une largeur suffisante pour permettre la circulation des personnes pour l'entretien et la maintenance).</p>	 <p><b>Figure III-27 : plan RDC de O-14.</b> (Source : <a href="https://arcspace.com/feature/o-14/">https://arcspace.com/feature/o-14/</a>).</p>
<p><b>5. La géométrie de la cavité :</b></p>	<p>Droite.</p>	
 <p><b>Figure III-28 : les façades de O-14.</b> (Source : <a href="https://arcspace.com/feature/o-14/">https://arcspace.com/feature/o-14/</a>).</p>		

<p><b>6. Détails :</b></p>	<p>La variation de densité de Mashrabiya.</p>	 <p><b>Figure III-29 : La variation de densité de Mashrabiya.</b> (Source : <a href="https://arcspace.com/feature/o-14/">https://arcspace.com/feature/o-14/</a>).</p>
 <p><b>Figure III-30 : Simulation thermique des températures dans les façade de O-14.</b> (Source : <a href="http://www.reiser-umemoto.com/o-14.html">http://www.reiser-umemoto.com/o-14.html</a>).</p>		

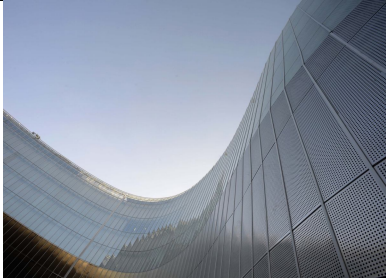
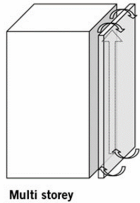
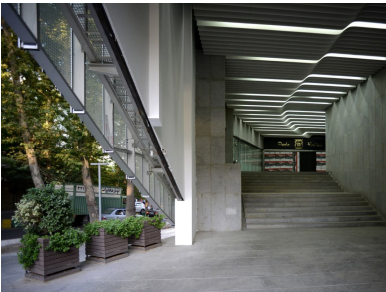
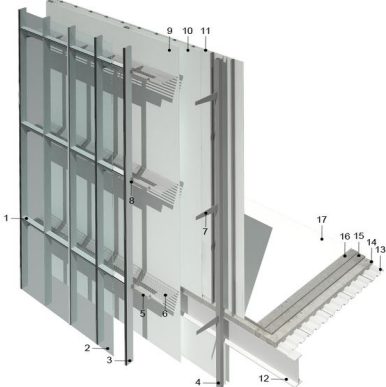
**Tableau III-5 : La double façade ventilée O-14 à Dubai, Émirats Arabes Unis.**  
(Source : L'auteur 2019).

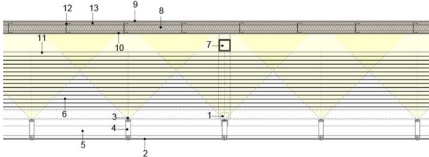
### 2.3. Le troisième exemple : L'ARG shopping mall à Téhéran (Iran) :

#### 2.3.1. Fiche technique de projet :

<p><b>Le nom de projet :</b></p>	<p><b>ARG shopping mall.</b></p>		
	<p>Pays :</p>	<p>L'Iran.</p>	
	<p>Ville :</p>	<p>Téhéran.</p>	
	<p>Situation :</p>	<p>Tehran Province, Tehran, District 1, Sa'dabad St, Iran.</p>	
	<p>Architectes :</p>	<p>ARSH 4D Studio.</p>	
	<p>Surface :</p>	<p>ZONE DE CHANTIER: 11500 m<sup>2</sup> . ZONE DE PROJET: 78000 m<sup>2</sup>.</p>	
	<p>Année :</p>	<p>2015.</p>	
	<p>Montant des travaux (€) :</p>	<p></p>	
	<p>Site web :</p>	<p><a href="http://www.argetejari.com/">http://www.argetejari.com/</a></p>	
<p>Le maître d'ouvrage :</p>	<p>Saba Mihan Company.</p>		
<p><b>Figure III-31 : L'ARG shopping mall à Téhéran (Iran).</b> (Source : <a href="https://www.archdaily.com/">https://www.archdaily.com/</a>).</p>			

2.3.2. La double façade ventilée dans ce projet :

<p><b>1. Le type de ventilation :</b></p>	<p>Naturelle.</p>	 <p><b>Figure III-33 : La façade double peau.</b> (Source : <a href="https://www.archdaily.com/">https://www.archdaily.com/</a>).</p>
<p><b>2. Le compartimentage de la façade :</b></p>	<p>La double façade ventilée est de type multi-étages.</p>  <p><b>Figure III-32 : Multi storey.</b> (Source : <a href="http://www.bestfacade.com/textde/bild.htm?img=doubleskin03">http://www.bestfacade.com/textde/bild.htm?img=doubleskin03</a>).</p>	
<p><b>3. Le mode de ventilation de l'espace tampon :</b></p>	<p><b>Rideau d'air extérieur :</b> L'air introduit dans la cavité provient de l'extérieur et est doucement rejeté vers l'extérieur ; la ventilation de l'espace tampon forme un rideau d'air enveloppant la façade extérieure.</p>	 <p><b>Figure III-34 : La cavité de la façade double peau.</b> (Source : <a href="https://www.archdaily.com/">https://www.archdaily.com/</a>).</p>
<p><b>4. L'épaisseur du canal :</b></p>	<p>1m (l'espace tampon a une largeur suffisante pour permettre la circulation des personnes pour l'entretien et la maintenance).</p>	
<p><b>5. La géométrie de la cavité :</b></p>	<p>Droite.</p>	 <p><b>Figure III-35 : Détail isométrique de la façade double peau.</b> (Source : <a href="https://www.archdaily.com/">https://www.archdaily.com/</a>).</p>
<p><b>6. Détails :</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1- Profil de mur-rideau sans cadre.</li> <li>2- Verre imprimé.</li> <li>3- Profil du rideau.</li> <li>4- Profil métallique 14x14 mm.</li> <li>5- Profilé métallique 10x10 mm.</li> <li>6- Caillebotis.</li> <li>7- Strut.</li> <li>8- Support en métal.</li> <li>9- panneau en PVC.</li> <li>10- Panneau de ciment.</li> <li>11- Plaque de gypse.</li> <li>12- Poutre métallique.</li> <li>13- Pont métallique.</li> <li>14- Dalle de béton.</li> <li>15- Mousse Conc.</li> <li>16- Mortier.</li> <li>17- Pierre d'ingénierie.</li> </ol>	

	<p>1- Profilé métallique 10x10 mm.                  2- Verre imprimé.                  3- Luminaire.                  4- Profil de mur rideau vertical.                  5- Profil de mur rideau horizontal.                  6- Caillebotis.                  7- Profilé métallique 14x14 mm.                  8- Isolement.                  9- Plaque de gypse.                  10- Panneau de ciment.                  11- panneau en PVC.                  12- Stud.                  13- Cloison sèche.</p>	 <p><b>Figure III-36 : Plan de détail d'une façade double peau.</b>                  (Source : <a href="https://www.archdaily.com/">https://www.archdaily.com/</a>).</p>
--	--	---

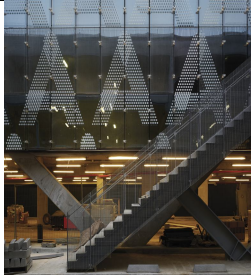
**Tableau III-6 : La double façade ventilée d'ARG shoppin mall à Téhéran, Iran.**  
 (Source : L'auteur 2019).

## 2.4. Le quatrième exemple : Le centre commercial d'Aéroville à Paris :

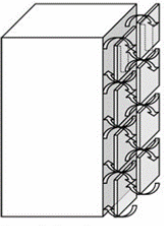
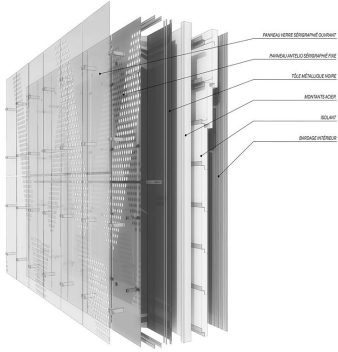

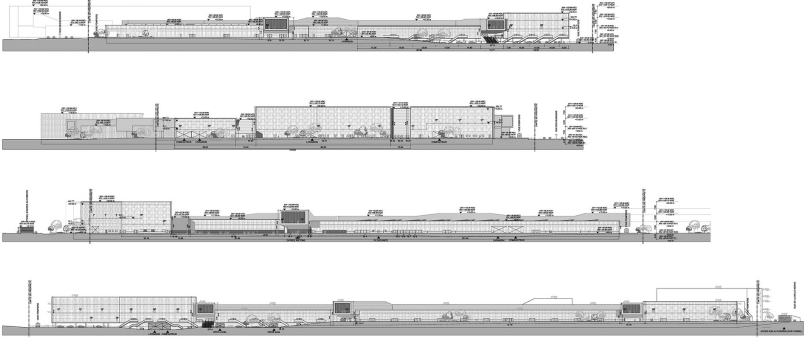
### 2.4.1. Fiche technique de projet :

Le nom de projet :	Le centre commercial d'Aéroville		
 <p><b>Figure III-37 : Le centre commercial d'Aéroville à Paris (France).</b>                  (Source : <a href="https://www.archdaily.com/">https://www.archdaily.com/</a>).</p>	Pays :	La France	
	Ville :	Paris	
	Situation :	48 Rue des Buissons, Aéroport Charles De Gaulle (CDG), 93290 Tremblay-en-France, France.	
	Architectes :	Philippe Chiambaretta / PCA Stream	
	Surface :	110000.0 m <sup>2</sup> (280 000 <sup>2</sup> SHOB (incluant parkings et toitures) 110 000m <sup>2</sup> surface de plancher 80 000m <sup>2</sup> GLA surface de vente)	
	Année :	2013	
	Montant des travaux (€) :	185 millions	
	Site web :	<a href="http://www.aeroville.com">www.aeroville.com</a>	
	Le maître d'ouvrage :	Unibail-Rodamco, en partenariat avec Aéroports de Paris :	

### 2.4.2. La double façade ventilée dans ce projet :

1. Le type de ventilation :	Naturelle.	 <p><b>Figure III-38 : La façade double peau.</b> Source : <a href="https://www.archdaily.com/">https://www.archdaily.com/</a></p>
2. Le compartimentage de la façade :	La double façade ventilée est de type de double fenêtre ventilée « Box-window ».	




	 <p>Box window type</p> <p><b>Figure III-39 : Box-window.</b> (Source : <a href="http://www.bestfacade.com/textde/bild.htm?img=doubleskin03">http://www.bestfacade.com/textde/bild.htm?img=doubleskin03</a>).</p>	
<p><b>3. Le mode de ventilation de l'espace tampon :</b></p>	<p><b>Alimentation en air :</b> la ventilation de la façade est réalisée avec de l'air extérieur ; cet air est ensuite amené vers l'intérieur du local ou dans le système de ventilation ; la ventilation de la façade permet ainsi d'alimenter le bâtiment en air.</p>	
<p><b>4. L'épaisseur du canal :</b></p>	<p>40 cm.</p>	<p><b>Figure III-40 : Détail isométrique de la façade double peau.</b> (Source : <a href="https://www.archdaily.com/">https://www.archdaily.com/</a>).</p>
<p><b>5. La géométrie de la cavité :</b></p>	<p>Droite</p>	
		
<p><b>Figure III-41 : Vue de centre commercial d'Aéroville à Paris.</b> (Source : <a href="https://www.archdaily.com/">https://www.archdaily.com/</a>).</p>		
		
<p><b>Figure III-42 : Les façades d'Aéroville.</b> (Source : <a href="https://www.archdaily.com/">https://www.archdaily.com/</a>).</p>		

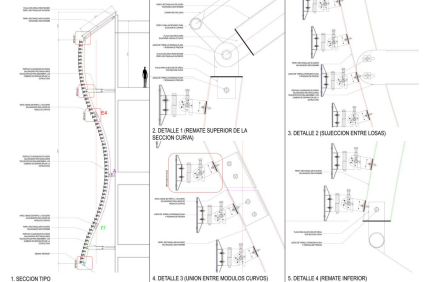
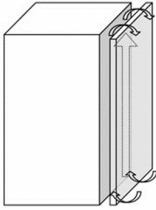

**Tableau III-7 : La double façade ventilée de centre commercial d'Aéroville à Paris, France.**  
(Source : L'auteur 2019).

## 2.5. Le cinquième exemple : Centre commercial de Liverpool Toluca, Mexique :

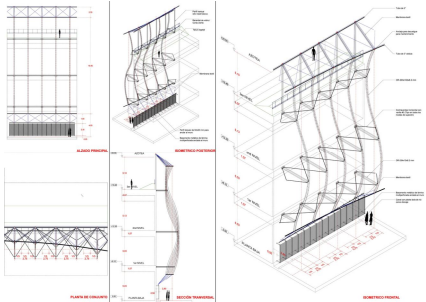
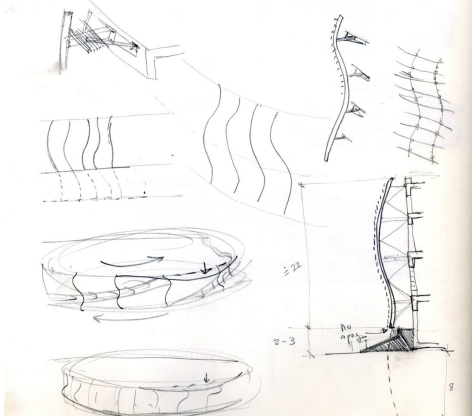
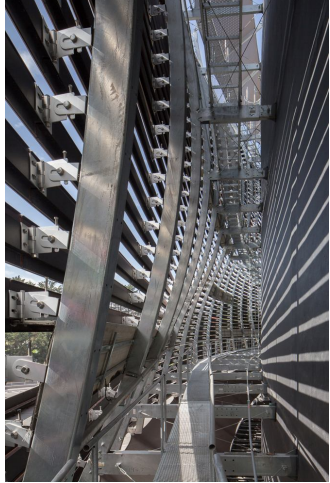
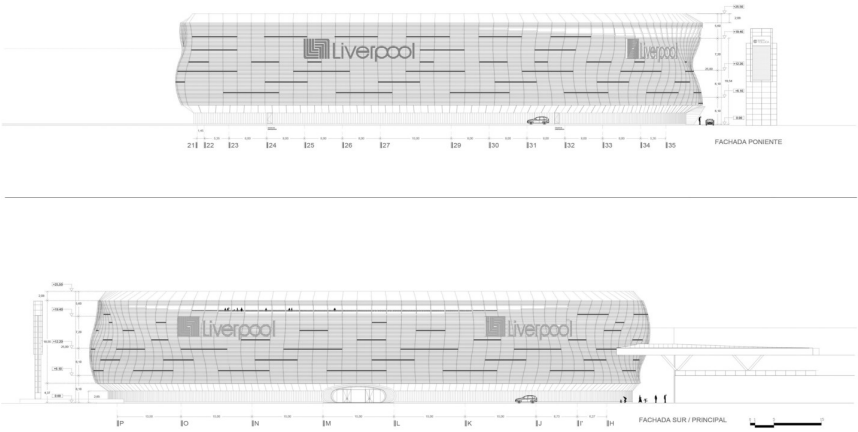
### 2.5.1. Fiche technique de projet :

Le nom de projet :	Centre commercial de Liverpool Toluca	
 <p><b>Figure III-43 : Centre commercial de Liverpool Toluca (Mexique).</b> (Source : <a href="https://www.archdaily.com/">https://www.archdaily.com/</a>).</p>	Pays :	Mexique.
	Ville :	Mexico.
	Situation :	Paseo Tollocan, Universitaria, 50130 Toluca de Lerdo, Mexique, Mexique.
	Architectes :	SPRINGALL + LIRA.
	Surface :	3000 m <sup>2</sup>
	Année :	2013.
	Site web :	<a href="https://www.liverpool.com.mx/tienda/home.jsp">https://www.liverpool.com.mx/tienda/home.jsp</a>
	Le maître d'ouvrage :	FunderMax, Graphisoft, Serge Ferrari Stamisol, exprfeso, Ikos, Aluskin.
	Type :	Centre commercial.

### 2.5.2. La double façade ventilée dans ce projet :

<p><b>1. Le type de ventilation :</b></p>	<p><b>La double façade ventilée naturellement de type multi-étages à lamelles</b></p>	 <p><b>Figure III-44 : Détails de la ventilation hybride dans la façade double peau.</b> (Source : <a href="https://www.archdaily.com/">https://www.archdaily.com/</a>).</p>
<p><b>2. Le compartimentage de la façade :</b></p>	<p><b>La double façade ventilée naturellement est de type multi-étages à lamelles.</b> Elle est presque semblable à la multi storey, sauf que la façade extérieure est composée de lamelles pivotantes horizontalement qui ne la rendent pas étanche à l'air.</p>  <p>Multi storey</p> <p><b>Figure III-45 : Multi storey.</b> (Source : <a href="http://www.bestfacade.com/textde/bild.htm?img=doubleskin03">http://www.bestfacade.com/textde/bild.htm?img=doubleskin03</a>).</p>	 <p><b>Figure III-46 : la façade double peau.</b> (Source : <a href="https://www.archdaily.com/">https://www.archdaily.com/</a>).</p>



<p><b>3. Le mode de ventilation de l'espace tampon :</b></p>	<p><b>Evacuation de l'air :</b> l'air provient de l'intérieur du local et est évacué vers l'extérieur ; la ventilation de la façade permet ainsi d'évacuer l'air du bâtiment.</p>	 <p><b>Figure III-47 : Détails de la cavité de la façade double peau.</b> (Source : <a href="https://www.archdaily.com/">https://www.archdaily.com/</a>).</p>
<p><b>4. L'épaisseur du canal :</b></p>	<p>1m / 2m (l'espace tampon a une largeur suffisante pour permettre la circulation des personnes pour l'entretien et la maintenance).</p>	
<p><b>5. La géométrie de la cavité :</b></p>	<p>Courbée.</p>	
<p><b>6. Détails :</b></p>	 <p><b>Figure III-48 : Esquisse de la façade double peau.</b> (Source : <a href="https://www.archdaily.com/">https://www.archdaily.com/</a>).</p>	 <p><b>Figure III-49 : La cavité d'air de la façade double peau.</b> (Source : <a href="https://www.archdaily.com/">https://www.archdaily.com/</a>).</p>
 <p><b>Figure III-50 : les façades double peau du centre commercial Liverpool.</b> (Source : <a href="https://www.archdaily.com/">https://www.archdaily.com/</a>).</p>		

**Tableau III-8 : La double façade ventilée de centre commercial de Liverpool Toluca à Mexico au Mexique.**  
(Source : L'auteur 2019).

### 2.6. Conclusion :

Chaque zone dans le monde est caractérisée par un climat bien déterminé, lequel est le résultat de l'interférence de plusieurs paramètres climatiques (température, humidité, précipitations, vent, etc.). Au fil du temps, et suite au long processus de l'essai-erreur,

l'homme a pu s'adapter à son environnement même dans les conditions climatiques les plus dures. Le savoir-faire acquis au fil des siècles, transmis de génération en génération, s'est traduit par l'harmonie que l'homme a réussi à établir entre son bâtiment et l'environnement qui l'englobe. Cette harmonie relève de l'application de certaines stratégies et principes conceptuels qui participent à la relation entre le bien-être de l'occupant, le bâtiment et l'environnement.

Parmi ces principes figurent quatre paramètres fondamentaux : l'implantation du bâtiment, sa morphologie, les matériaux de construction et la distribution des espaces intérieurs. L'enveloppe architecturale et particulièrement la façade avec ses paramètres constitue l'un des composants les plus influents sur le fonctionnement du bâtiment et sa performance thermique.

Les bâtiments tertiaires représentent une part importante du secteur du bâtiment. Du point de vue de l'efficacité thermique de ces bâtiments, l'élément déterminant est certainement l'enveloppe. La façade, en particulier, représente un élément médiateur entre le bâtiment et son environnement. Elle peut être assimilée à une surface protectrice vis-à-vis des ambiances thermiques et une zone d'échange et de transfert thermique entre l'intérieur et l'extérieur. Son mode de fonctionnement thermique dépend de plusieurs facteurs conceptuels, matériels et techniques. L'évaluation de la performance climatique de la façade est basée principalement sur les principes de la thermique du bâtiment qui détermine son fonctionnement thermique propre et celui du bâtiment dans sa globalité. Implicitement, le confort des usagers ainsi que l'efficacité énergétique de l'édifice sont dépendants des attributs de la façade.

Chaque projet a des configurations de la double façade ventilée, différentes et propres à lui uniquement car cela dépend essentiellement du type de projet et du climat de son emplacement.

## **Chapitre IV : LE CENTRE COMMERCIAL.**

### **1. Définition.**

Le centre commercial est un lieu clos et souvent volontairement coupé du monde extérieur pour favoriser l'acte de consommation. Son objectif : rassembler tous les commerces dans un endroit unique et offrir un vaste choix de produits. Il renferme une galerie marchande, ou des boutiques sont associées, selon sa taille, à des enseignes spécialisées, à une supérette, à un grand magasin, à un supermarché ou à un hypermarché. Il est toujours doté d'un parc de stationnement. Ces surfaces commerciales présentent des organisations spatiales et des morphologies diverses et évoluent constamment au gré des besoins de la clientèle.

Administré comme une entité à part entière, le centre commercial est géré par un ou plusieurs locataires principaux. Si les plus anciens centres commerciaux ne comportent guère de cent magasins et services divers, sur une surface allant jusqu'à 100 000 mètres carrés.

La grande majorité des centres commerciaux s'organise autour d'une ou de plusieurs enseignes locomotives, surtout des magasins non alimentaires, dont la notoriété attire le chaland ; en périphérie de ville, ce sont les hypermarchés qui jouent ce rôle d'attraction. (Carol Maillard, 2007).

### **2. Les principaux types des centres commerciaux :**

Deux types principaux se dégagent, en fonction de leur taille et de leur localisation.

#### **2.1. Selon la localisation :**

##### **2.1.1. Au cœur des cités :**

On trouve surtout les petits centres commerciaux de voisinage, dont la superficie varie de 5 000 à 20 000 mètres carrés, et réunissant une vingtaine de magasins et de services : ils prennent parfois la forme d'une galerie, dans laquelle les boutiques se rangent le long d'une rue couverte ; leur parking souterrain est étagé sur plusieurs niveaux. Ce type comporte de nombreux commerces spécialisés, en général non alimentaires. (Carol Maillard, 2007)

##### **2.1.2. En périphérie de bourg ou de ville :**

La surface de vente du centre commercial régional s'étend de 40 000 à 100 000 mètres carrés ; il dessert une population de 20 000 à 500 000 personnes habitant dans une ou plusieurs agglomérations. Bien équipé, il propose presque tous les services d'un centre-ville : le supermarché d'alimentation, les magasins spécialisés (prêt-à-porter, équipement de la maison, sport, parfumerie...), les petits commerces, les services (banques, pharmacie, agence de voyage...), les restaurants, les cinémas. Atout supplémentaire, la vaste aire de stationnement extérieure facilite son accès. (Carol Maillard, 2007).

#### **2.2. Selon la taille :**

Selon le CNCC (Conseil National des Centres Commerciaux), un centre est « un ensemble d'au moins 20 magasins et services totalisant une surface commerciale utile (dite surface GLA) minimale de 5 000 m<sup>2</sup>, conçu, réalisé et géré comme une entité ».

##### **2.2.1. Les Centres Commerciaux Super Régionaux :**

Ces centres commerciaux présentent une surface GLA supérieure à 80 000 m<sup>2</sup> et / ou accueillent au moins 150 magasins et services.

### **2.2.2. Les Centres Commerciaux Régionaux :**

Plus petits que les précédents, les centres commerciaux régionaux présentent une surface GLA de plus de 40 000 m<sup>2</sup> et / ou au moins 80 magasins et services.

### **2.2.3. Les Grands Centres Commerciaux :**

Pour ces centres, la surface GLA minimale est de 20 000 m<sup>2</sup> et / ou un total d'au moins 40 magasins et services.

### **2.2.4. Les Petits Centres Commerciaux :**

Ces centres commerciaux de proximité présentent une surface GLA d'un minimum de 5000 m<sup>2</sup> et / ou un minimum de 20 magasins ou services.

**Les Centres à Thèmes :** Ces centres commerciaux se définissent non plus sur une surface GLA ou un nombre de magasins/services mais plutôt sur un critère thématique.

## **3. Les différentes surfaces commerciales :**

De la boutique à l'hypermarché, les centres commerciaux regroupent des magasins de taille et de type très variés.

### **3.1. La galerie marchande :**

Elle est constituée de boutiques traditionnelles, commerce de détail et de proximité : alimentation, presse, fleurs, tabac, mais aussi vêtements, équipements de la maison, articles de loisirs et de santé. Face aux grandes enseignes, elles confèrent au centre commercial une dimension plus humaine et plus conviviale ; leur principal atout est la vente de produits artisanaux qui se démarquent de la production standardisée, propre à la grande distribution. (Carol Maillard, 2007).

### **3.2. La supérette :**

Elle est un magasin de proximité qui vend en libre-service des denrées à dominante alimentaire. (Carol Maillard, 2007).

### **3.3. Les grandes surfaces de distribution :**

Elles sont reines dans les centres commerciaux dont elles constituent l'attraction principale. Le supermarché qui se décline en trois catégories (petit, moyen et grand super) propose en libre-service 3 000 à 4 000 articles courants, produits alimentaires (épicerie, denrées fraîches et boissons) et non alimentaires (parfumerie, vêtements). Variante du supermarché, le magasin populaire existe de longue date et partage sa surface de vente en deux secteurs : l'alimentation assez réduit et organisé en libre-service ; le non alimentaire (hygiène, textile, librairie) placé sous la responsabilité de vendeurs.

Certains grands magasins possèdent également des antennes dans les centres commerciaux, surtout en centre-ville. Ils proposent un large choix de produits non alimentaires, jusqu'à 300 000 références (équipement de la maison, textile, articles de sport et de loisirs), suivant la formule de vente en rayon. Il peut parfois s'adjoindre un supermarché alimentaire en libre-service ainsi que des services (agence de voyages, restaurants). (Carol Maillard, 2007).

### **3.4. L'hypermarché :**

Il est localisé à 80% en périphérie de ville. Ce géant de la grande distribution se divise en petit hyper - 52% de la totalité -, en moyen hyper - 28% - et en grand hyper. La vente s'y effectue essentiellement en libre-service et repose sur une politique de discount appliquée sur un grand nombre d'articles. Les produits non alimentaires – articles de la maison, du jardin et

des loisirs – sont majoritairement représentés dans les rayons ; le choix est de 25 000 à 100 000 références. (Carol Maillard, 2007).

### **3.5. Les magasins à enseigne spécialisée, ou grandes surfaces spécialisées (GSS) :**

Ils sont très répandus dans les centres commerciaux. Par souci d'économie, ils sont de plus en plus représentés dans les parcs d'activités, en lisière de ville. Ces magasins couvrent des secteurs aussi variés que l'équipement de la maison, de la personne, des loisirs, du sport et de l'informatique, et proposent des articles à tous les prix, des conseils et des animations. Leur offre très uniforme associée à leur forte croissance risque de faire disparaître les particularités régionales au profit d'une banalisation certaine. (Carol Maillard, 2007).

Ces enseignes se regroupent parfois pour offrir, autour d'un thème donné, une riche variété de marchandises.

## **4. La qualité architecturale :**

Aujourd'hui, les centres commerciaux de la première génération sont souvent perçus comme des hangars sombres – des « boîtes à chaussures » -, peu attrayants et devenus inhospitaliers avec le temps. La clientèle, qui vient y consommer ou simplement s'y promener, recherche d'avantage de convivialité et réclame un meilleur accueil. Devant ces nouvelles exigences, les différents opérateurs commerciaux intègrent depuis peu la qualité architecturale dans leurs objectifs pour enrichir les bâtiments autant que leur environnement. Cette démarche, qui remet en cause toutes les réalisations de ces dernières décennies, a conduit certains promoteurs à travailler en étroite collaboration avec des architectes pour offrir des espaces esthétiques, lumineux et agréables à vivre. Les innovations architecturales portent essentiellement sur les éclairages, les volumes et les entrées.

- A l'image des passages couverts du XIXe siècle, les centres commerciaux s'habillent de vastes verrières qui diffusent la lumière naturelle à l'intérieur des espaces de vente. L'éclairage apporte des transparences et des percées sur l'extérieur, grâce auxquelles le bâtiment ne semble plus opaque et replié sur lui-même, mais ouvert.
- Le traitement des volumes, associé à l'apport de lumière naturelle, cherche à gommer l'effet de boîte ; il s'agit de donner vie à l'édifice en lui conférant une dimension spatiale plus complexe. Des décrochements de volumes, des jeux de niveaux et de circulations, une plus grande variété de matériaux également contribue au dynamisme de l'architecture. Souvent agrémentées de végétation, les coursives, par exemple, participent à cette tendance en multipliant les points de vue.
- Les entrées sont signalées par des boîtes vitrées ou grandes auvents, qui jouent le rôle de repères. Au Carré Sénart, par exemple, tous les accès de l'édifice sont accompagnés d'imposants auvents en verre (figure IV-1) ; à Copenhague, ce sont d'immenses piliers lumineux qui signalent l'entrée (figure IV-2).

Enfin, une plus grande attention est portée à la qualité des matériaux utilisés. Ainsi, par exemple, le sol des circulations au centre commercial Cora de Nancy-Houdemont est en parquet ; ailleurs, on trouve des dallages de couleurs qui dessinent un tapis décoratif, comme à Boulogne-Billancourt (figure IV-3). Des éléments de décoration spécialement dessinés viennent parfois animer les espaces, comme à Mont-Saint-Martin, ou d'immenses lustres de verre coloré marquent les entrées dans le mail principal (figure IV-4). (Carol Maillard, 2007).



Figure IV-1 : Auvent en verre.



Figure IV-2 : La signalisation de l'entrée.  
(Source : 25 centres commerciaux p.108, p.90, p.46 et p.80).



Figure IV-3 : Un tapis décoratif en dallage.



Figure IV-4 : Immenses lustres de verre coloré.

### 5. Type d'établissement / superficie :

Type d'établissement	Superficie
Petit commerce	De 20 à 200 m <sup>2</sup>
Grandes surfaces de distribution	De 200 à 100 000 m <sup>2</sup>
Supérette	De 100 à 800 m <sup>2</sup>
Petite	< 400 m <sup>2</sup>
Grande	De 400 à 800 m <sup>2</sup>
Supermarché / magasin populaire	De 800 à 4 000 m <sup>2</sup>
Petit	< 1 200 m <sup>2</sup>
Moyen	De 1 200 à 25 000 m <sup>2</sup>
Grand	De 25 000 à 4 000 m <sup>2</sup>
Grand magasin	5 700 m <sup>2</sup> en moyenne
Hypermarché	De 4 000 à 100 000 m <sup>2</sup>
Petit	< 7 000 m <sup>2</sup>
Moyen	De 7 000 à 10 000 m <sup>2</sup>
Grand	>10 000 m <sup>2</sup>
Magasin à enseigne spécialisée	De 1 000 à 10 000 m <sup>2</sup>

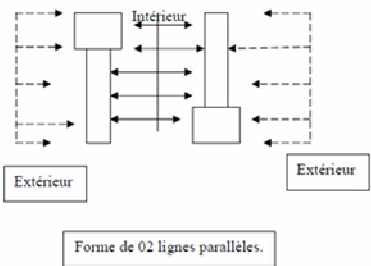
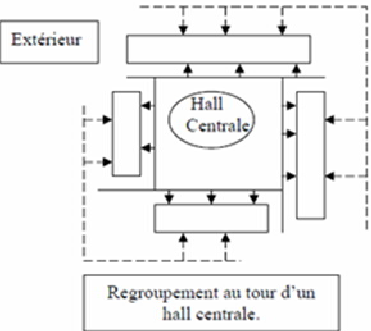
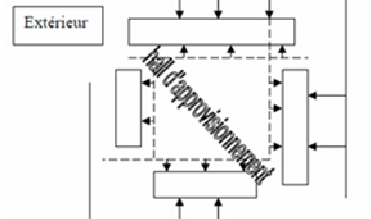
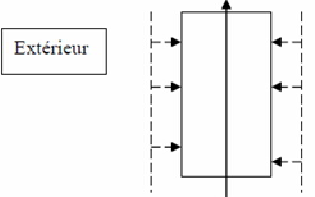
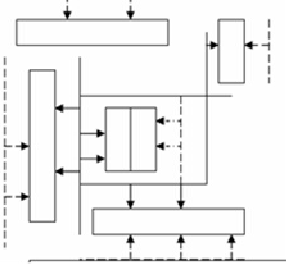
Tableau IV-1 : Type d'établissement / superficie.  
(Source : 25 centres commerciaux, p.12).

### 6. Circuit des clients et marchandise dans les centres commerciaux :

La circulation varie en fonction de la forme et la répartition des magasins :

<p><b>A.</b> La circulation des clients se fait de l'avant et celle de l'approvisionnement se fait de derrière.</p>	
<p><b>B.</b> La circulation des clients se fait à l'intérieur et celle de l'approvisionnement se fait de l'extérieur.</p>	



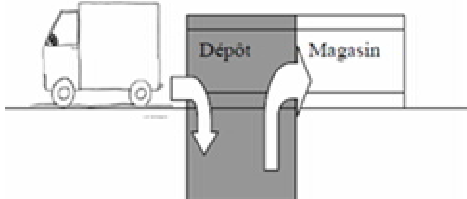
<p><b>C.</b> La circulation des clients se fait à l'intérieur et celle de l'approvisionnement se fait de l'extérieur.</p>	 <p>Forme de 02 lignes parallèles.</p>
<p><b>D.</b> La circulation des clients se fait à l'intérieur et celle de l'approvisionnement se fait de l'extérieur.</p>	 <p>Regroupement au tour d'un hall centrale.</p>
<p><b>E.</b> Le même que D sauf que la circulation des clients se fait à l'extérieur et celle de l'approvisionnement se fait de l'intérieur.</p>	 <p>Hall d'approvisionnement</p>
<p><b>F.</b> Les magasins sont alignés à l'intérieur d'un centre linéaire couvert donc la circulation des clients se fait à l'extérieur et celle de l'approvisionnement se fait de l'intérieur.</p>	
<p><b>G.</b> Les magasins sont éparpillés sans ordre : à l'intérieur du centre la circulation des clients et approvisionnement se croisent par contre celle des magasins latéraux la circulation est normale l'approvisionnement se fait de l'extérieur et de client à l'intérieur.</p>	

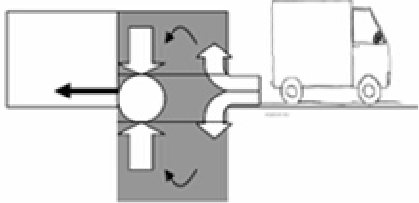
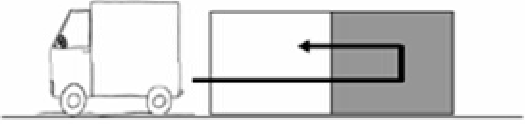
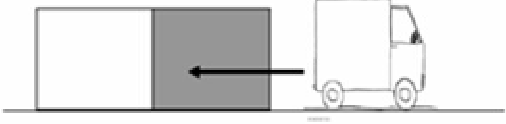
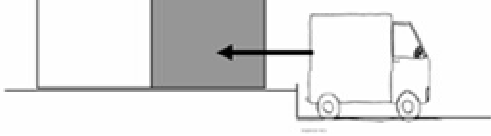
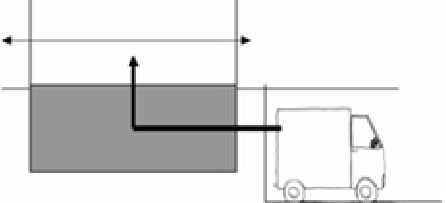
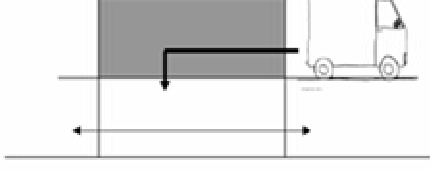
**Tableau IV-2 : Circuit des clients et marchandise dans les centres commerciaux.**

(Source : L'auteur s'est inspiré de l'ouvrage de HAIDAR Ali :  
« Principes de conception des réalisations commerciales », p. 45).

### 7. Modes de livraison des boutiques commerciales :

On a plusieurs types de méthodes d'approvisionnement :

<p><b>A. Type A :</b> Le dépôt se compose de 02 niveaux :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Au-dessous le dépôt principal.</li> <li>- En haut se trouve le garage qui joue le rôle d'espace de transition.</li> </ul>	
--	--

<p><b>B. Type B :</b> Le dépôt se compose de 03 niveaux :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Au centre c'est le dépôt principal qui joue le rôle d'espace de transition.</li> <li>- Les 02 autres sont pour le stockage.</li> </ul>	
<p><b>C. Type C :</b> L'approvisionnement se fait directement par la boutique vers le dépôt en arrière (création de conflit entre circulation du client et marchandise).</p>	
<p><b>D. Type D :</b> L'approvisionnement se fait à l'arrière directement dans le dépôt (c'est la bonne méthode de livraison).</p>	
<p><b>E. Type E :</b> La rue d'approvisionnement est de niveau inférieur a celui du dépôt sa facilite le transport de la marchandise.</p>	
<p><b>F. Type F :</b> L'approvisionnement se fait directement dans le dépôt qui se trouve au niveau inférieur du magasin qui a 02 entrées.</p>	
<p><b>G. Type G :</b> Contraire au type F.</p>	

**Tableau IV-3 : Modes de livraison des boutiques commerciales.**

(Source : L'auteur s'est inspiré de l'ouvrage de HAIDAR Ali :  
« Principes de conception des réalisations commerciales », p. 45).





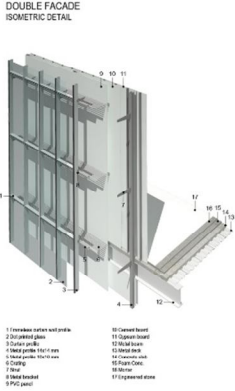
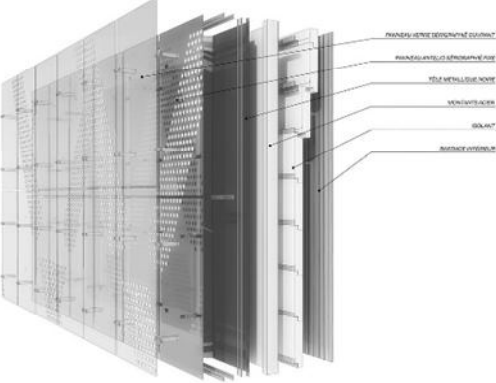
## 8. Conclusion :

Ce chapitre se focalise sur la définition du centre commercial, les principaux types des centres commerciaux (selon la localisation soit au cœur des cités ou en périphérie de bourg ou de ville, ou selon la taille (les centres commerciaux super régionaux, les centres commerciaux régionaux, les grands centres commerciaux et les petits centres commerciaux) ou bien les centres à thèmes, les différentes surfaces commerciales (la galerie marchande, la supérette, les grandes surfaces de distribution, l'hypermarché, les magasins à enseigne spécialisée, ou grandes surfaces spécialisées).

Ce chapitre aborde aussi la qualité architecturale d'un centre commercial bien conçu, les types des établissements et leurs superficies, le circuit des clients et marchandise dans les centres commerciaux ainsi que les modes de livraison des boutiques commerciales. Cette base théorique du projet architecturale (centre commercial) nous permettra d'analyser des exemples des centres commerciaux dans le chapitre suivant.

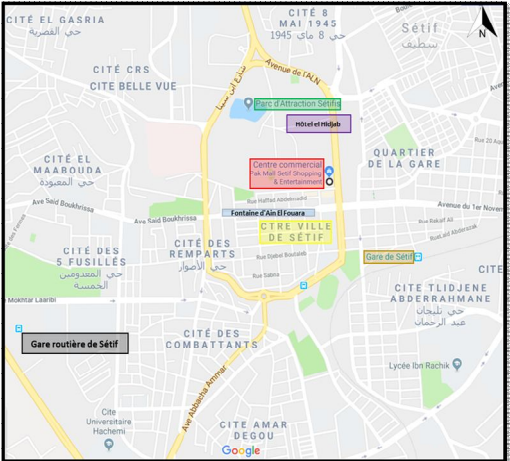
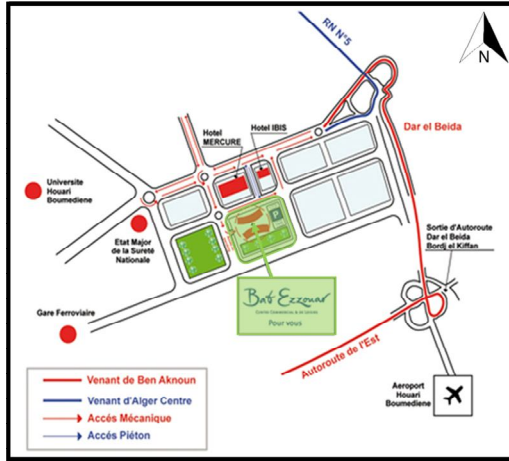

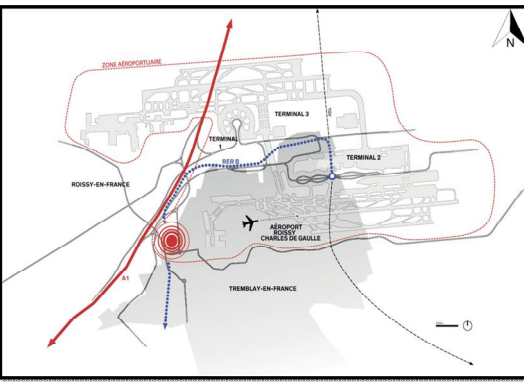
# Chapitre V : LE CHAPITRE ANALYTIQUE.

## 1. Les analyses des exemples.

	Analyse des exemples existants		Analyse des exemples livresques	
<b>Le projet</b>	<b>Le Park Mall</b>	<b>Le centre commercial de Bab Ezzouar</b>	<b>ARG shopping mall</b>	<b>Le centre commercial d'Aéroville</b>
				
<b>Raisons du choix :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le plus grand mall de l'Afrique après le Morocco Mall, le plus grand mall en Algérie .</li> <li>- C'est un mall commercial et de loisirs .</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le plus grand centre commercial en Algérie après le Park mall de Sétif .</li> <li>- C'est un centre commercial et de loisirs .</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'utilisation des stratégies durable .</li> <li>- C'est un centre commercial avec une enveloppe architecturale ( une double façade ventilée ).</li> <li>- Voir son organisation spatiale et fonctionnelle .</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'utilisation des stratégies durable .</li> <li>- C'est un centre commercial avec une enveloppe architecturale ( une double façade ventilée ).</li> <li>- Voir son organisation spatiale et fonctionnelle .</li> </ul>
				

		Analyse des exemples existants		Analyse des exemples livresques	
Le nom de projet		Le Park Mall	Le centre commercial de Bab Ezzouar	ARG shopping mall	Le centre commercial d'Aéroville
La fiche technique	Pays	L'Algérie	L'Algérie	L'Iran	La France
	Ville	Sétif	Alger	Téhéran	Paris
	Situation	Centre commercial Park mall, magasin u 0.04 2eme sous sol à côté de UNO, 19000.	Centre commercial et de loisirs de Bab Ezzouar, Bab-Ezzouar, Alger, 16000, Algérie.	Tehran Province, Tehran, District 1, Sa'dabad St, Iran.	48 Rue des Buissons, Aéroport Charles De Gaulle (CDG), 93290 Tremblay-en-France, France.
	Architectes	Arte Charpentier Architectes	Weber Philippe	ARSH 4D Studio	Philippe Chiambaretta / PCA Stream
	Surface	Surface Utile : 70.000m <sup>2</sup> Surface totale : 140.000m <sup>2</sup>	Surface au sol : 16 000 m <sup>2</sup>	ZONE DE CHANTIER: 11500 m <sup>2</sup> ZONE DE PROJET: 78000 m <sup>2</sup>	110000.0 m <sup>2</sup> (280 000 <sup>2</sup> SHOB (incluant parkings et toitures) 110 000m <sup>2</sup> surface de plancher 80 000m <sup>2</sup> GLA surface de vente)
	Année	2016	2010	2015	2013
	Montant des travaux (€) :	100 000 000	80 millions		185 millions
	Site web	<a href="http://www.parkmallsetif-dz.com">http://www.parkmallsetif-dz.com</a>	<a href="http://www.babezzouar-dz.com/">www.babezzouar-dz.com/</a>	<a href="http://www.argetejari.com/">http://www.argetejari.com/</a>	<a href="http://www.aeroville.com">www.aeroville.com</a>
Le maître d'ouvrage	Prombati	SCCA (Société des centres commerciaux d'Algérie)	Saba Mihan Company	Unibail-Rodamco, en partenariat avec Aéroports de Paris	



		Analyse des exemples existants		Analyse des exemples livresques																																									
Le projet		Le Park Mall		Le centre commercial de Bab Ezzouar																																									
		Le centre commercial de Bab Ezzouar		ARG shopping mall																																									
		Le centre commercial de Bab Ezzouar		Le centre commercial d'Aéroville																																									
A – DIMENSION URBAINE	a-Situation de projet par rapport à la ville	 <p><b>Plan de situation de Park mall de Sétif</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Centre commercial Park mall Sétif</li> <li>Parc d'Attraction Sétifis</li> <li>Centre ville de Sétif</li> <li>Fontaine d'Ain El Fouara</li> <li>Gare de Sétif</li> <li>Gare routière de Sétif</li> <li>Station Tramway</li> </ul>	 <p><b>Plan de Situation de centre commercial Bab Ezzouar</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Venant de Ben Aknoun</li> <li>Venant d'Alger Centre</li> <li>Accès Mécanique</li> <li>Accès Piéton</li> </ul>	 <p><b>Plan de situation de ARG Shopping Mall</b></p>	 <p><b>Plan de situation de centre commercial d'Aéroville à Paris</b></p>																																								
		<table border="1"> <tr><th colspan="2">Les limites du projet :</th></tr> <tr><td>Au nord</td><td>Hôtel el Hidjab</td></tr> <tr><td>Au sud</td><td>Fontaine d'Ain El Fouara , Le centre ville</td></tr> <tr><td>A l'est</td><td>Le siège de la Wilaya , Quartier de la gare , La gare de Sétif</td></tr> <tr><td>A l'ouest</td><td>Parc d'attraction Sétifis , La gare routière de Sétif</td></tr> </table>	Les limites du projet :		Au nord	Hôtel el Hidjab	Au sud	Fontaine d'Ain El Fouara , Le centre ville	A l'est	Le siège de la Wilaya , Quartier de la gare , La gare de Sétif	A l'ouest	Parc d'attraction Sétifis , La gare routière de Sétif	<table border="1"> <tr><th colspan="2">Les limites du projet :</th></tr> <tr><td>Au nord</td><td>Hôtel MERCURE , Hôtel IBIS</td></tr> <tr><td>Au sud</td><td>L'Aéroport internationale Houari Boumediene</td></tr> <tr><td>A l'est</td><td>Les nouveaux sièges de sociétés: Algérie Poste - Mobilis - Cosider - BNP - Air Algérie - Aigle Azur - Natixis CPA - KPMG - Trust Bank - Sonatrach...</td></tr> <tr><td>A l'ouest</td><td>Université Houari Boumediene , Etat major de la sureté nationale , Gare ferroviaire d'Alger</td></tr> </table>	Les limites du projet :		Au nord	Hôtel MERCURE , Hôtel IBIS	Au sud	L'Aéroport internationale Houari Boumediene	A l'est	Les nouveaux sièges de sociétés: Algérie Poste - Mobilis - Cosider - BNP - Air Algérie - Aigle Azur - Natixis CPA - KPMG - Trust Bank - Sonatrach...	A l'ouest	Université Houari Boumediene , Etat major de la sureté nationale , Gare ferroviaire d'Alger	<table border="1"> <tr><th colspan="2">Les limites du projet :</th></tr> <tr><td>Au nord</td><td>Complexe historique Saadabad , musée de Mellat , musée d'Art</td></tr> <tr><td>Au sud</td><td>Mosquée Giahi , musée du cinéma d'Iran</td></tr> <tr><td>A l'est</td><td>Rivière Darband , Habitats, Tarjich</td></tr> <tr><td>A l'ouest</td><td>Parc de Ghalamestan</td></tr> </table>	Les limites du projet :		Au nord	Complexe historique Saadabad , musée de Mellat , musée d'Art	Au sud	Mosquée Giahi , musée du cinéma d'Iran	A l'est	Rivière Darband , Habitats, Tarjich	A l'ouest	Parc de Ghalamestan	<table border="1"> <tr><th colspan="2">Les limites du projet :</th></tr> <tr><td>Au nord</td><td>Aéroport de Paris Charles De Gaulle</td></tr> <tr><td>Au sud</td><td>Parc départemental du Sausset</td></tr> <tr><td>A l'est</td><td>Tremblay-en-France</td></tr> <tr><td>A l'ouest</td><td>Roissy-en-France</td></tr> </table>	Les limites du projet :		Au nord	Aéroport de Paris Charles De Gaulle	Au sud	Parc départemental du Sausset	A l'est	Tremblay-en-France	A l'ouest	Roissy-en-France
		Les limites du projet :																																											
		Au nord	Hôtel el Hidjab																																										
Au sud	Fontaine d'Ain El Fouara , Le centre ville																																												
A l'est	Le siège de la Wilaya , Quartier de la gare , La gare de Sétif																																												
A l'ouest	Parc d'attraction Sétifis , La gare routière de Sétif																																												
Les limites du projet :																																													
Au nord	Hôtel MERCURE , Hôtel IBIS																																												
Au sud	L'Aéroport internationale Houari Boumediene																																												
A l'est	Les nouveaux sièges de sociétés: Algérie Poste - Mobilis - Cosider - BNP - Air Algérie - Aigle Azur - Natixis CPA - KPMG - Trust Bank - Sonatrach...																																												
A l'ouest	Université Houari Boumediene , Etat major de la sureté nationale , Gare ferroviaire d'Alger																																												
Les limites du projet :																																													
Au nord	Complexe historique Saadabad , musée de Mellat , musée d'Art																																												
Au sud	Mosquée Giahi , musée du cinéma d'Iran																																												
A l'est	Rivière Darband , Habitats, Tarjich																																												
A l'ouest	Parc de Ghalamestan																																												
Les limites du projet :																																													
Au nord	Aéroport de Paris Charles De Gaulle																																												
Au sud	Parc départemental du Sausset																																												
A l'est	Tremblay-en-France																																												
A l'ouest	Roissy-en-France																																												
<p>Situé, le long de l'avenue de l'ALN, entre la Wilaya à l'est et le grand parc d'attractions à l'ouest, il comporte à sa base un centre commercial de dimension internationale avec plus de 41 250 m<sup>2</sup> utile, une tour de bureaux et de logements de 13 650 m<sup>2</sup> utile, une tour d'hôtel 4 étoiles d'une capacité de 192 chambres totalisant 16 000 m<sup>2</sup> utiles. En complément de ce programme, un centre de congrès indépendant et polyvalent de 900 places, accompagné de parkings en sous-sol d'environ 1.400 places de stationnements pour les locataires et les clients.</p>	<p>Le centre commercial et de loisirs de Bab Ezzouar est situé dans le nouveau quartier d'affaires de la commune Bab Ezzouar à Alger à environ 15 minutes du centre ville d'Alger et à 5 minutes de l'aéroport international Houari Boumediene.</p>	<p>Le centre commercial Arg Mall, situé dans le quartier nord de Tadjrish, au nord de Téhéran, est un complexe commercial de cinq étages avec des magasins de bijoux, parfums, cosmétiques, vêtements, appareils électroniques et articles ménagers, ainsi qu'une aire de restauration, un espace de divertissement intérieur pour enfants, et un parking. 1000 voitures.</p>	<p>Un site à l'échelle d'un terminal et d'un quartier : Le site d'Aéroville se situe en bordure de la zone aéroportuaire aux extrémités des chemins de Roissy-Charles de Gaulle 2. Ce terrain de 11 hectares au cœur de la zone fret est suffisamment vaste pour contenir les terminaux 2E et 2F, Le Forum des Halles, ou une partie du quartier du Marais à Paris.</p>																																										


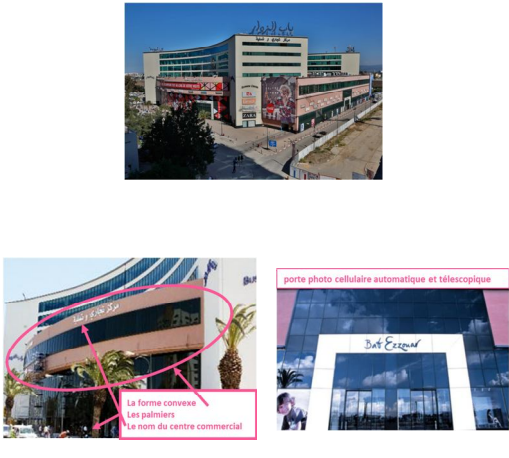
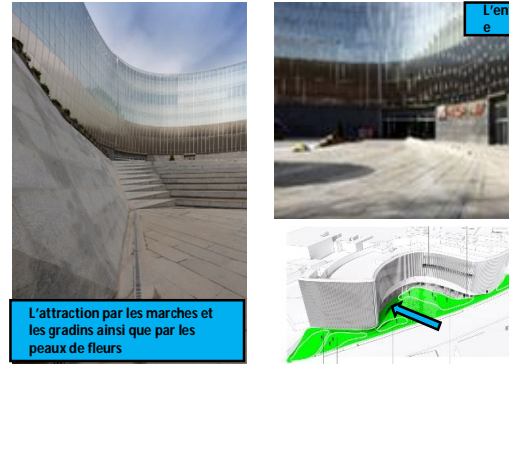
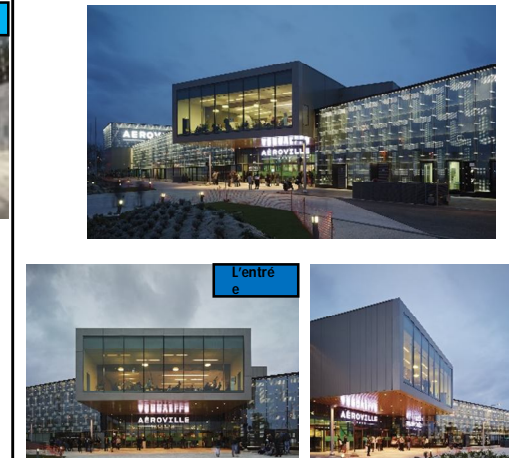
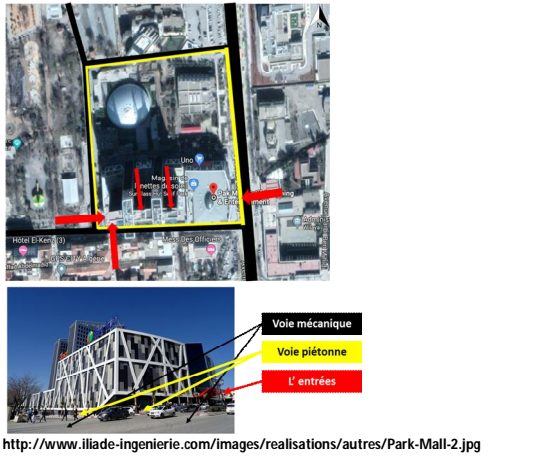
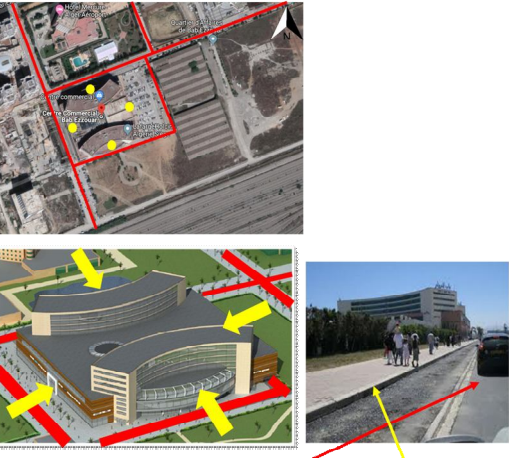
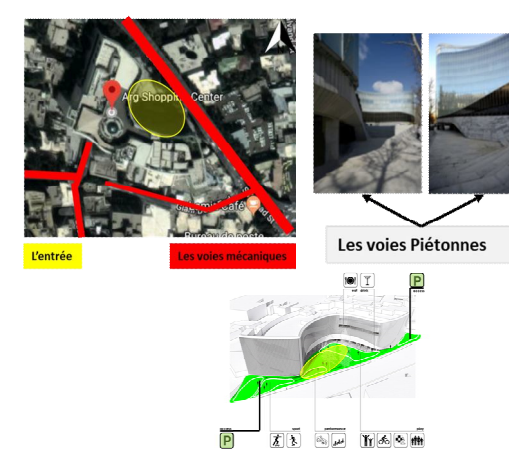
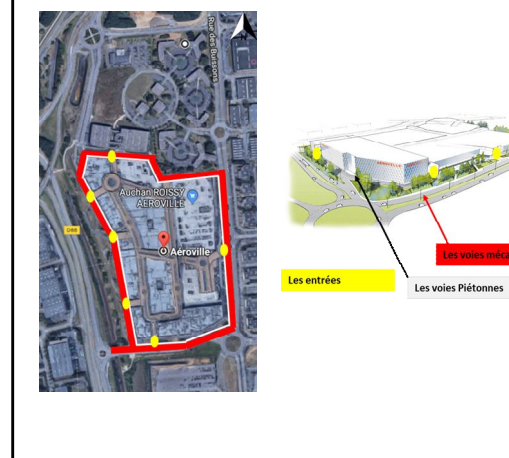


		Analyse des exemples existants		Analyse des exemples livresques		
Le projet		Le Park Mall	Le centre commercial de Bab Ezzouar	ARG shopping mall	Le centre commercial d'Aéroville	
A – DIMENSION URBAINE	b- Au niveau du quartier et d'environnement immédiat	Repérage	 <p>Tel un «phare», le nouveau complexe «Park Mall» de Sétif qui culmine à 85 mètre au-dessus de la ville, s'impose comme un nouveau repère urbain dans le paysage de la cité. Il dote la ville de Sétif d'installations modernes en matière d'hébergement hôtelier, de commerces et d'affaires</p>	  <p>Le centre commercial de Bab Ezzouar est réalisé dans le quartier d'affaires d'Alger sur la commune de Bab Ezzouar, composé de deux niveaux de parking au sous-sol, trois niveaux commerciaux (hypermarché, galerie marchande, commerces et loisirs) et quatre niveaux de bureaux.</p>	 <p>En recomposant la façade, ils ont décidés de simplifier la volumétrie et de créer une surface lisse et neutre pour contrer le chaos du quartier. Le verre est utilisé pour refléter les vieux arbres des environs et mettre en valeur les montagnes au nord.</p>	 <p>Source : <a href="https://images.adsttc.com/media/images/5284/3b58/e8e4/4e22/2500/0102/large.jpg/render.jpg?1384397646">https://images.adsttc.com/media/images/5284/3b58/e8e4/4e22/2500/0102/large.jpg/render.jpg?1384397646</a></p> <p>Au sein de la zone aéroportuaire de Roissy-Charles-de-Gaulle, PCA-STREAM a conçu et réalisé pour le groupe Unibail-Rodamco un centre de commerces et de loisirs voué à devenir une nouvelle centralité urbaine dans ce territoire. S'inspirant de l'imaginaire du voyage et détournant les codes du flagship international, Aéroville est un espace public hybridant les codes de l'aéroport avec l'activité mixte d'un centre-ville.</p>
		Intégration	  <p>Le projet est intégré avec son environnement avec <b>contraste</b> par:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- L'utilisation du verre comme matière principale au contraire de l'environnement de voisinage.</li> <li>- L'enveloppe architecturale ( façade ventilée) par des <b>panneaux des verres</b> et des <b>bondes en alucobond</b>.</li> <li>- Son hauteur.</li> </ul>	  <p>Le projet est intégré avec son environnement avec <b>contraste</b> par:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La transparence et la légèreté du bâtiment due à l'utilisation de mur rideaux VEC ( Verre collé à l' extérieure ) .</li> <li>- L'utilisation des couleurs chaudes .</li> <li>- La présence des baies vitrées le long de la façade.</li> <li>- Son hauteur ( 2 tour de bureaux ) .</li> </ul>	  <p>Le projet est intégré avec son environnement avec <b>contraste</b> par:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- L'utilisation du verre comme matière principale au contraire de l'environnement de voisinage ( une surface lisse et neutre ) .</li> <li>- L'enveloppe architecturale ( façade ventilée) cette façade est éclairée pendant la nuit .</li> <li>- Son hauteur .</li> <li>- Ses couleurs .</li> </ul>	  <p>Le projet est intégré avec son environnement avec <b>contraste</b> par:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- L'enveloppe architecturale (la façade sérigraphique).</li> <li>- Son hauteur.</li> <li>- Ses couleurs .</li> <li>- Ses matériaux de construction .</li> <li>- Le parking sur la toiture .</li> </ul>


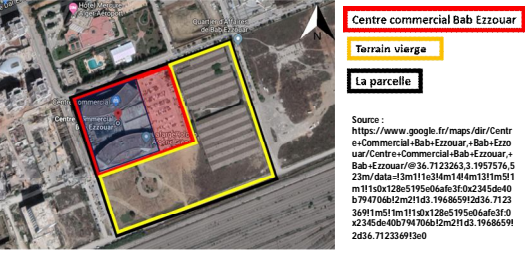
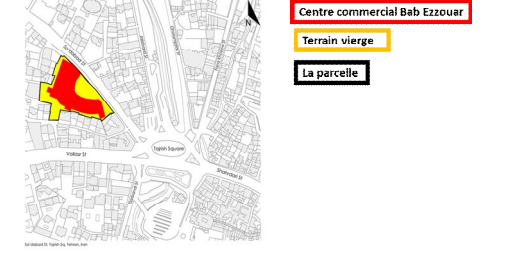

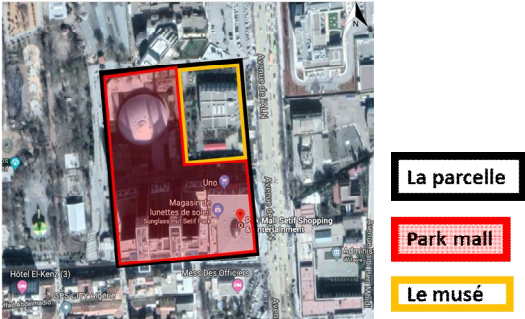
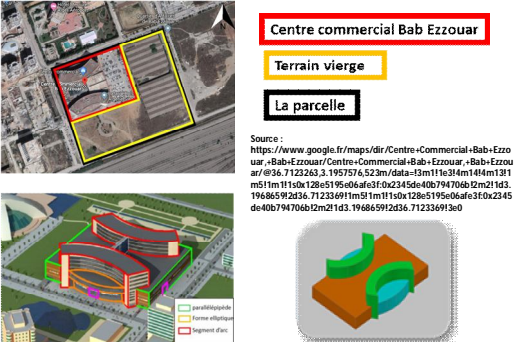
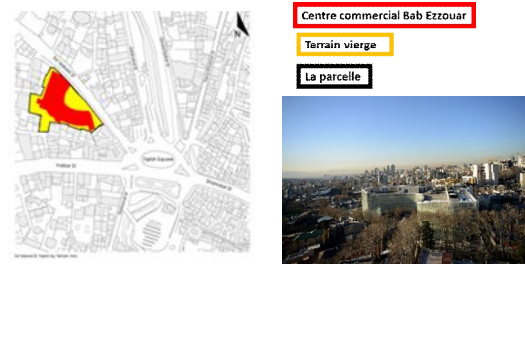
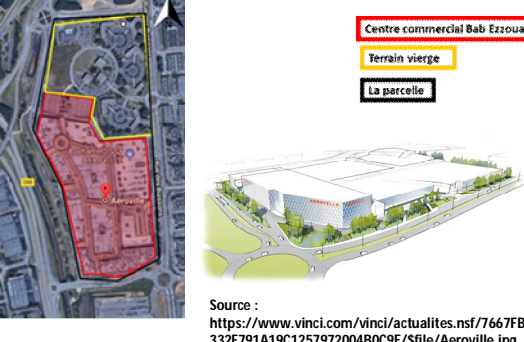
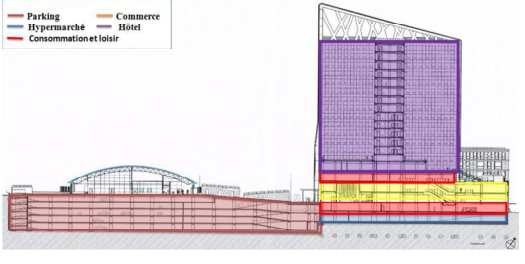
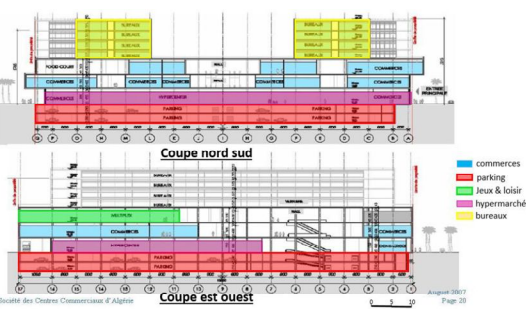
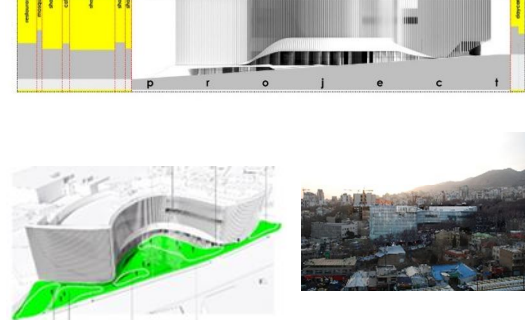
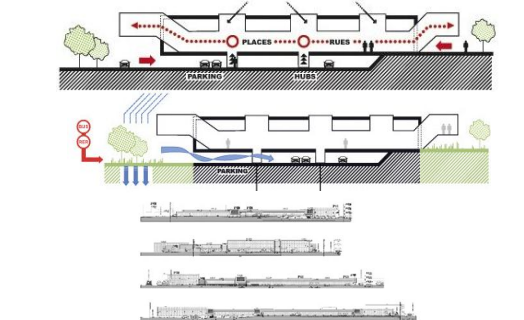


		Analyse des exemples existants		Analyse des exemples livresques	
Le projet		Le Park Mall	Le centre commercial de Bab Ezzouar	ARG shopping mall	Le centre commercial d'Aéroville
A – DIMENSION URBAINE	b- Au niveau du quartier et d'environnement immédiat	<p><b>Identité</b></p> <p><b>Architecture moderne :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-L'enveloppe est composé de verre réfléchissant au soleil , des barres esthétique en alucobond blanc .</li> <li>-La hauteur des deux tours comme un élément d'appel dans la ville de Sétif .</li> <li>-L'entrée principal marquée par un élément en relief .</li> </ul> 	<p><b>Architecture moderne :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Mur rideau (VEP).</li> <li>-La hauteur des deux tours de bureaux .</li> <li>-L'entrée principal marquée par un élément en relief .</li> </ul> 	<p><b>Architecture moderne :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-L'utilisation de la double façade ventilée ( une façade animée pendant les soirs ) .</li> <li>-Une volumétrie très simple et l'utilisation du verre .</li> <li>-L'utilisation d'une couleur neutre pour contrer le chaos du voisinage .</li> <li>-Son hauteur par rapport à son entourage .</li> <li>-L'entrée principal depuis l'auditorium extérieure .</li> </ul> 	<p><b>Architecture moderne :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-La façade sérigraphique .</li> <li>-L'entrée principale marquée par un volume en relief .</li> <li>-L'utilisation des formes pures dans la volumétrie .</li> </ul> 
		<p><b>Identification</b></p>  <p>L'architecte a utilisé des formes signifiantes, la forme de l'édifice se compose d'un volume rectangulaire parallélépipédique avec un arrêt raccordé juxtaposé à un autre rectangle qui soutient deux volumes rectangulaires imposés verticalement et traversés perpendiculairement par un troisième semblable aux deux, le tout donne un contraste de forme horizontal /vertical.</p> <p>Partant de principe qui dit « un rectangle est plus rentable qu'un carré », l'architecte a utilisé Différentes formes dans sa conception, des formes convexes qui sont emboîtées partiellement dans une forme rectangulaire qui forme un parallélépipède de base, en déformant la face du parallélépipède qui se situe à l'intérieur de l'arc pour avoir une forme elliptique, tout ça en formant une symétrie parfaite par rapport à l'axe est -ouest..</p>	 <p>Une forme très simple avec une enveloppe architecturale animée tout les soirs (Une façade double peaux ventilée ).</p>	 <p>Une forme très simple ( un parallélépipède ) avec une enveloppe architecturale (Une façade double peaux ventilée ).</p>	

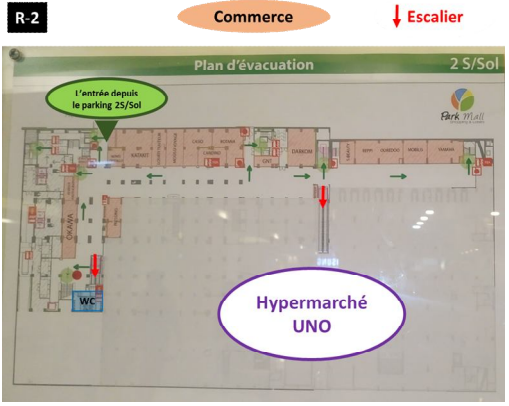
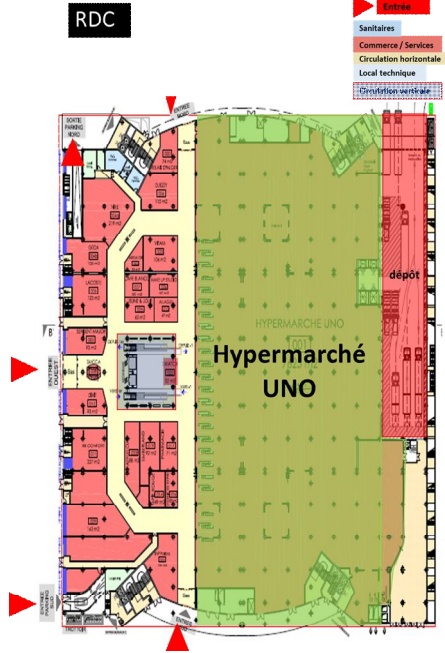

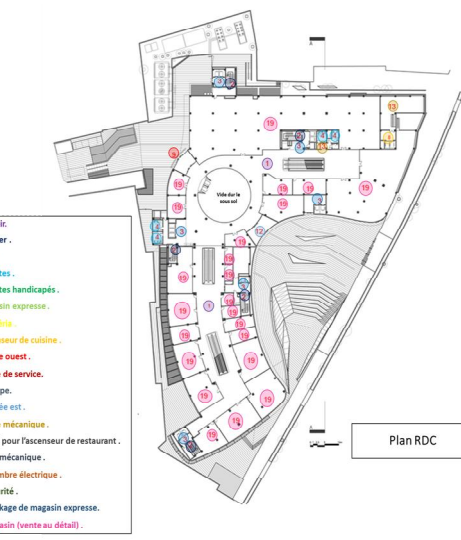
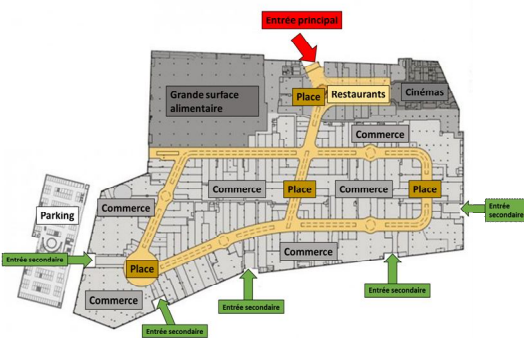
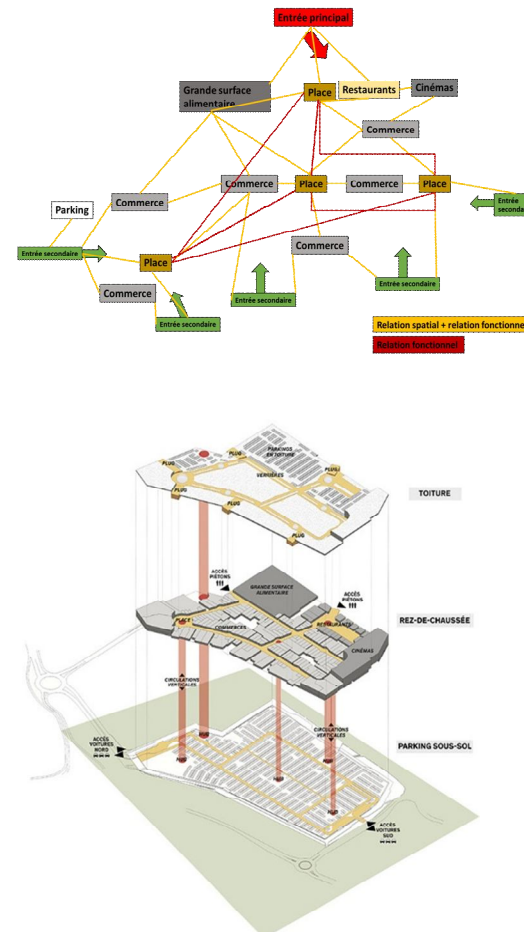
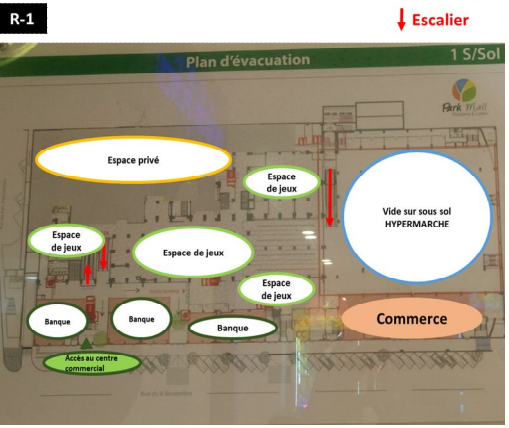
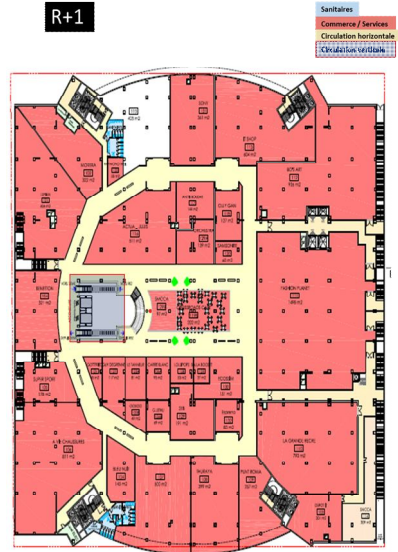


		Analyse des exemples existants		Analyse des exemples livresques	
Le projet		Le Park Mall	Le centre commercial de Bab Ezzouar	ARG shopping mall	Le centre commercial d'Aéroville
A – DIMENSION URBAINE	b- Au niveau du quartier et d'environnement immédiat	<p><b>Accueil , attraction</b></p>  <p>Le verre , la hauteur , la forme parallélépipède et l'enveloppe dans la façade principale sont des élément d'attraction . Il est marqué par l'accordement des courbes douces à l'extérieure qui attire la curiosité , sa couleur chaude qui diffère de l'ensemble et par ça monumentalité .</p>	 <p>L'entrée est caractérisée par ces dimensions monumentales, porte d'entrée de 5m de hauteur et de 4m de largeur, qui permet le passage d'un grand nombre de clients au même temps, elle est entièrement vitrée et d'une forme convexe.</p>	 <p>Le marquage d'entrée est signalé par les marches et les gradins d' auditorium extérieure à travers les quels on accède aux portes d'entrées du ARG shopping mall .</p>	 <p>L'entrée est marquée par le volume de parallélépipède en relief , la signalisation du nom du centre commercial par des grands lettres lumineuses et l'attraction est assurée par les espaces verts et l'aménagement urbain comme les arrêt de bus .</p>
		<p><b>Accessibilité</b></p>  <p><a href="http://www.illade-ingenierie.com/images/realisations/autres/Park-Mall-2.jpg">http://www.illade-ingenierie.com/images/realisations/autres/Park-Mall-2.jpg</a></p> <p>-Le passage vers le centre commercial est directe et facile, il est entouré par des voies mécanique et piétonnes et contient 4 accès au niveau des 4 point cardinaux , il y'a un très fort flux piéton car le projet est situé au centre ville . -La présence de 4 voies mécanique et piétonnes. -Le projet est accessible de tous les cotés pour les véhicules et les piétons .</p>	 <p>Grâce à les 4 voies mécanique et l'absence de contraintes topographiques le site est accessible de tous les cotés aussi bien pour les véhicules que pour les piéton , et contient 4 entrées au niveau des 4 façade .</p>	 <p>-Le projet est devant une route principale entouré par des voies de plus faible importance , l'entrée principale pour les piéton est directement depuis l' auditorium extérieure , pour le parking il y'a une entrée depuis la route principale et une autre entrée depuis la voie secondaire .</p>	 <p>-le projet est entouré par 4 voies mécanique et 4 trottoirs pour les piétons et contient une entrée principale et plusieurs entrées secondaires depuis toute les directions .</p>



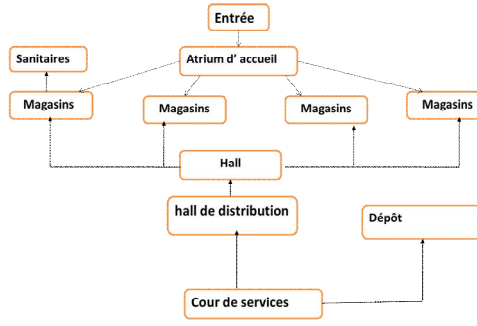
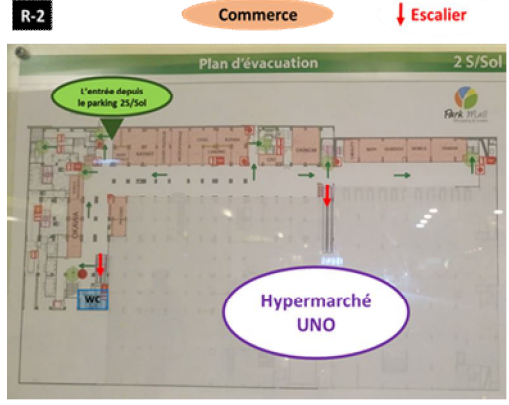
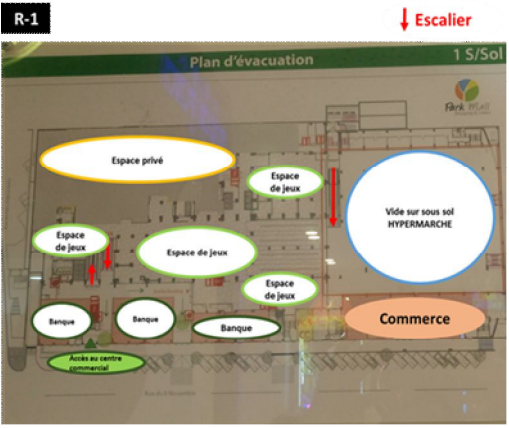
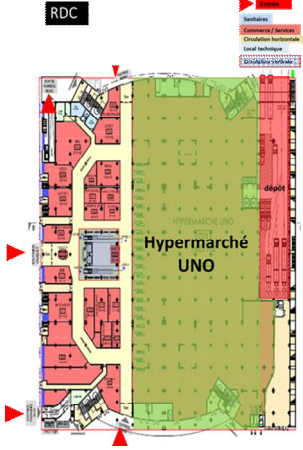
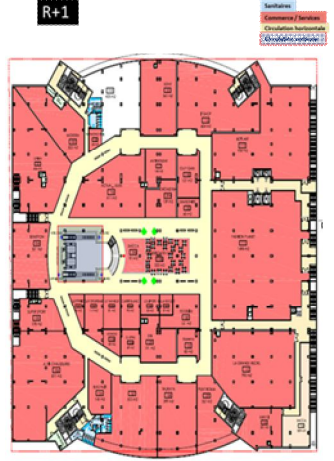


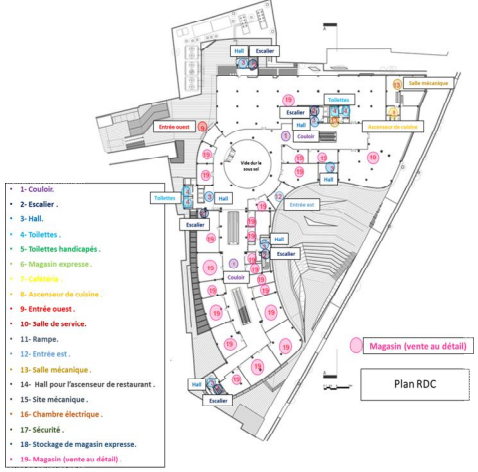
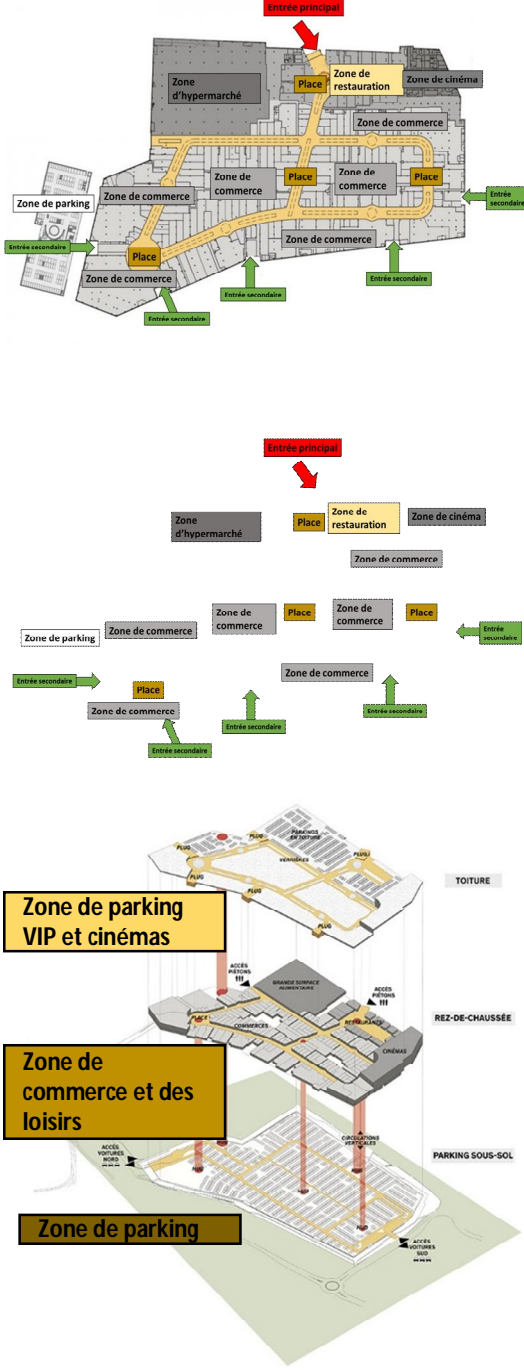
		Analyse des exemples existants		Analyse des exemples livresques			
Le projet		Le Park Mall		ARG shopping mall		Le centre commercial d'Aéroville	
A – DIMENSION URBAINE	C-Le site ( la parcelle )	<b>Implantation</b>  <p>-Le projet occupe presque plus de ¾ de la parcelle et le ¼ qui reste est déjà un ancien musée . Dont le Park mall : -Bâti 70%. -Non bâti 30%.</p>	 <p>-Le projet occupe presque 1/3 de la parcelle et les 2/3 qui reste sont des terrains vierge . Dont le centre commercial de Bab Ezzouar : -Bâti 70%. -Non bâti 30%.</p>	 <p>-Le projet occupe presque ¾ de la parcelle et le ¼ qui reste est l'espace extérieure de shopping mall : Dont le ARG shopping mall: -Bâti 80%. -Non bâti 20%.</p>	 <p>-Le projet occupe presque 2/3 de la parcelle et le 1/3 qui reste est un quartier résidentielle : Dont le centre commercial Aéroville : -Bâti 80%. -Non bâti 20%.</p>		
		<b>Forme / Configuration de la parcelle</b>  <p>-Le projet à une forme de trapézoïdale au niveau de plan de masse donc il suit la forme de la parcelle .</p>	 <p>-Le projet à une forme d'un parallépipède au niveau de plan de masse donc il suit la forme de la parcelle .</p>	 <p>-Le projet à une forme irrégulière au niveau de plan de masse donc il ne suit la forme de la parcelle .</p>	 <p>-Le projet à une forme de trapézoïdale au niveau de plan de masse donc il suit la forme de la parcelle .</p>		
		<b>Topographie</b>  <p>Le terrain de ce projet est un terrain horizontale presque plat .</p>	 <p>Le terrain de ce projet est un terrain horizontale presque plat .</p>	 <p>Le terrain de ce projet est un terrain en pente ; les différences d'élévation du site sont résolues par le paysage - des marches se transformant en longs bancs permettent de relier le trottoir et de créer un auditorium public extérieur.</p>	 <p>Le terrain de ce projet est un terrain en pente .</p>		



		Analyse des exemples existants		Analyse des exemples livresques			
Le projet		Le Park Mall		Le centre commercial de Bab Ezzouar			
		Le centre commercial de Bab Ezzouar		ARG shopping mall			
		Le centre commercial de Bab Ezzouar		Le centre commercial d'Aéroville			
<p><b>B – DIMENSION FONCTIONNELLE</b></p>	<p><b>a – Organisation spatiale (organigramme spatial)</b></p>	 <p>R-2 Commerce Escalier Plan d'évacuation 2 S/Sol Hypermarché UNO</p>	 <p>RDC Hypermarché UNO Sanitaires, Commerce/Services, Circulation horizontale, Local technique, Circulation verticale</p>	 <p>Plan sous-sol</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1- L'entrée principale.</li> <li>2 - Ascenseur et escalier.</li> <li>3- Magasin (vente au détail).</li> <li>4 - Administration.</li> <li>5 - salle mécanique.</li> </ul>	 <p>Plan RDC</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1- Couloir.</li> <li>2- Escalier.</li> <li>3- Hall.</li> <li>4- Toilettes.</li> <li>5- Toilettes handicapés.</li> <li>6- Magasin express.</li> <li>7- Cabine à ascenseur.</li> <li>8- Accrochage de cuisine.</li> <li>9- Entrée ouest.</li> <li>10- Salle de service.</li> <li>11- Rampe.</li> <li>12- Entrée est.</li> <li>13- Salle mécanique.</li> <li>14- Hall pour l'ascenseur de restaurant.</li> <li>15- Site mécanique.</li> <li>16- Chambre électrique.</li> <li>17- Sécurité.</li> <li>18- Stockage de magasin express.</li> <li>19- Magasin (vente au détail).</li> </ul>	 <p>Le centre commercial d'Aéroville</p>	 <p>Relation spatiale = relation fonctionnelle Relation fonctionnelle</p>
		<p>Le RDC est constitué d'un espace central qui permet la facilité d'accéder aux différentes activités, on constate la dominance du commerce à ce niveau, on trouve un hypermarché de 7625m<sup>2</sup> qui occupe plus de moitié de ce niveau.</p> <p>On trouve dans ce niveau d'autres commerces comme des pharmacies, des opérateurs téléphoniques et des banques ...</p>	<p>Le premier étage est constitué d'une trentaine de boutiques des modes, des jouets et de décoration toutes les marques confondues hommes et femmes.</p>				
			 <p>R-1 Escalier Plan d'évacuation 1 S/Sol Espace privé, Espace de jeux, Vide sur sous sol HYPERMARCHÉ, Commerce, Banque</p>	 <p>R+1 Sanitaires, Commerce/Services, Circulation horizontale, Circulation verticale</p>			

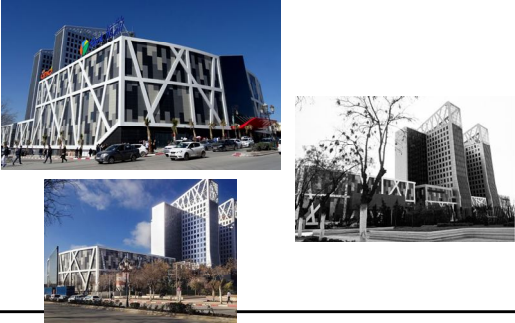

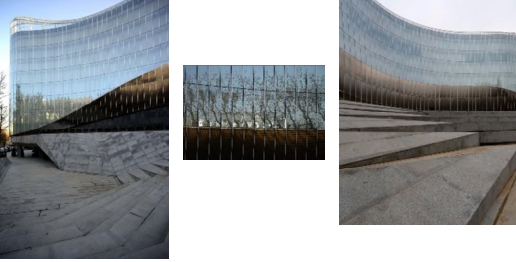
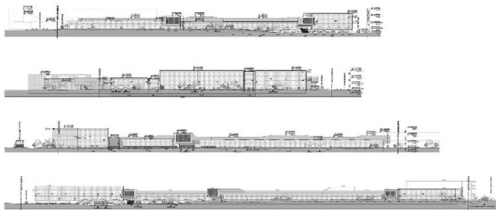

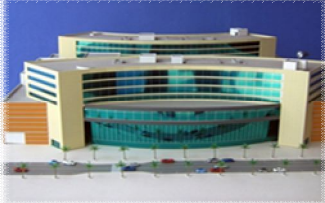
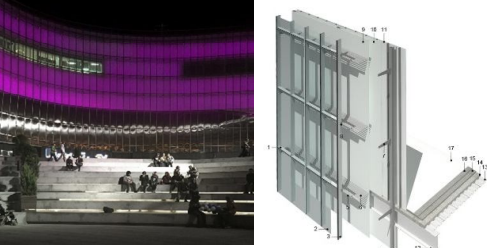

		Analyse des exemples existants		Analyse des exemples livresques	
Le projet		Le Park Mall		Le centre commercial de Bab Ezzouar	
		Le centre commercial de Bab Ezzouar		ARG shopping mall	
		Le centre commercial de Bab Ezzouar		Le centre commercial d'Aéroville	
<b>B – DIMENSION FONCTIONNELLE</b>	<b>a – Organisation spatiale (organigramme spatial)</b>				
				<p>Le deuxième étage est entièrement consacré aux loisirs et à la restauration. Un bowling de 18 pistes, un Food-court avec de la cuisine multiethnique, un espace de jeux pour enfants, une galerie d'art gratuitement mise à disposition des artistes locaux ainsi qu'un podium d'animation permettent aux familles de se divertir., un cinéma multiplex de huit salles, totalisant 1400 sièges.</p>	
				<p>Concernant le (3 – 4 – 5 -6) ème niveau du business centre est constitué de 02 tours de 4 niveaux (3 – 4 – 5 -6) ème étage Le 1<sup>er</sup> niveau comporte des petits bureaux a été réservé par des sociétés locales, mais les grands sont pris par des sociétés étrangères</p>	




		Analyse des exemples existants		Analyse des exemples livresques	
Le projet		Le Park Mall		ARG shopping mall	
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);"><b>B – DIMENSION FONCTIONNELLE</b></p> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);"><b>a – Organisation fonctionnelle (organigramme fonctionnel)</b></p>		<p style="text-align: center; color: #e91e63;"><b>Le centre commercial de Bab Ezzouar</b></p>     		<p style="text-align: center; color: #0070c0;"><b>Le centre commercial d'Aéroville</b></p>    	



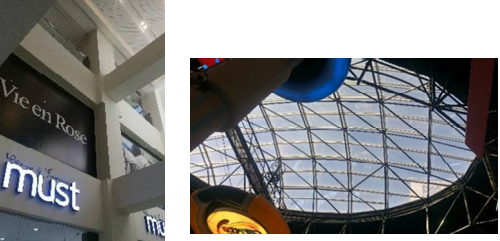
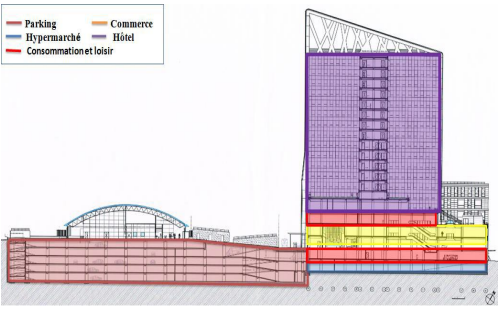
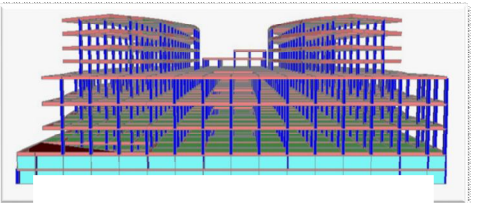
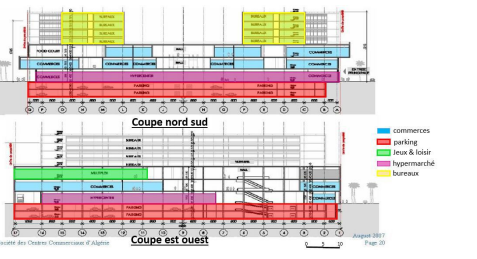
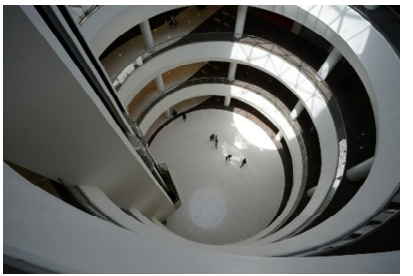
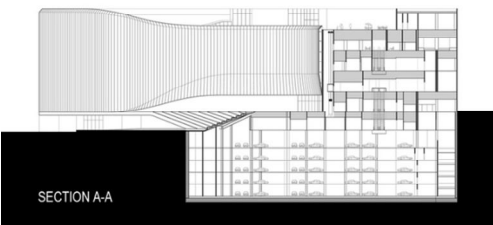

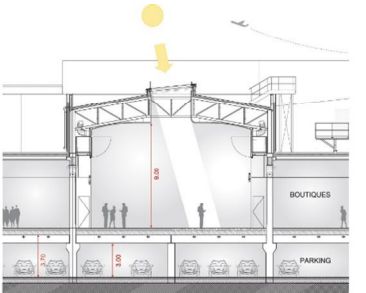

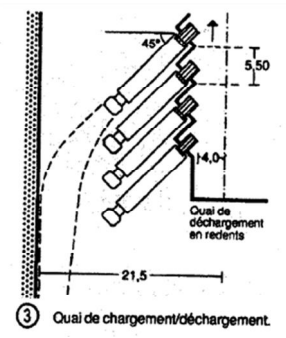
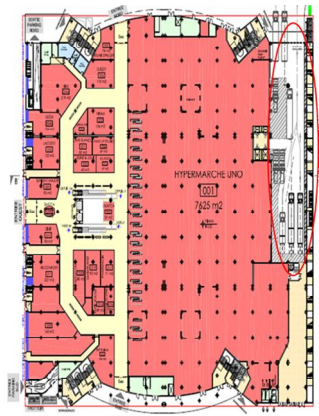
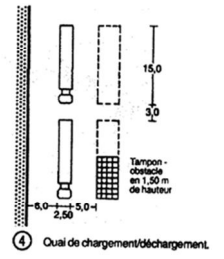

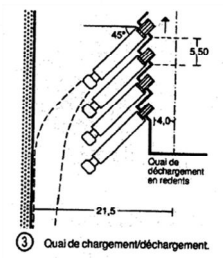
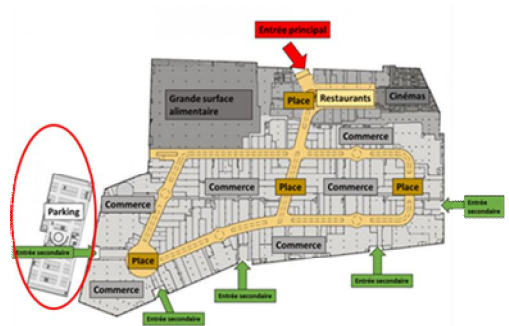
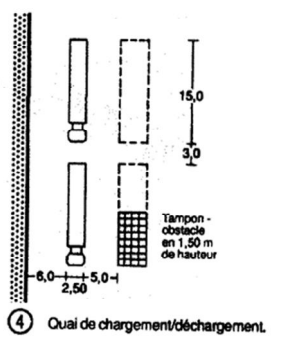
		Analyse des exemples existants		Analyse des exemples livresques	
Le projet		Le Park Mall		Le centre commercial de Bab Ezzouar	
		Le centre commercial de Bab Ezzouar		ARG shopping mall	
				Le centre commercial d'Aéroville	
<p><b>B – DIMENSION FONCTIONNELLE</b></p>	<p><b>a – Organisation fonctionnelle (organigramme fonctionnel)</b></p>				
				<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1- Couloir.</li> <li>• 2- Escalier.</li> <li>• 3- Hall.</li> <li>• 4- Toilettes.</li> <li>• 5- Stockage.</li> <li>• 6- Cuisine du restaurant.</li> <li>• 7- Entrée du restaurant.</li> <li>• 8- Restaurant.</li> <li>• 9- Salle de conférence.</li> <li>• 10- Salle d'attente.</li> <li>• 11- Restaurant VIP.</li> <li>• 12- Restaurant en plein air.</li> <li>• 13- Ticket kiosque.</li> <li>• 14- Loisirs.</li> <li>• 15- Bureau du loisirs.</li> <li>• 16- Cuisine du restaurant en plein air.</li> <li>• 17- Salle mécanique.</li> <li>• 18- Salle électrique.</li> </ul>	

		Analyse des exemples existants		Analyse des exemples livresques	
Le projet		Le Park Mall	Le centre commercial de Bab Ezzouar	ARG shopping mall	Le centre commercial d'Aéroville
<b>C – DIMENSION CONCEPTUELLE ET IDEELLE</b>	e – Ordre des façades				
	f – Ordre issu d'une tendance	 L'enveloppe architecturale moderne .	 Le vitrage pour renforcer la relation intérieure / extérieure comme dans l'architecture moderne .	 L'enveloppe architecturale moderne avec la double façade ventilée .	 L'enveloppe architecturale moderne avec la double façade ventilée .
	g - Concepts et principes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le marquage d'entrée principale avec un élément monumentale en relief .</li> <li>- Le marquage d'entrée secondaire avec des marches et des abaque à fleurs .</li> <li>- Après l'espace de sas d'entrée on trouve un espace de forme ovale qui sert comme un espace de distribution horizontale et verticale .</li> <li>- L' accesseur panoramique .</li> <li>- L'approvisionnement se fait à partir d'une cours de service loin des clients.</li> <li>- Les passages sont très large.</li> <li>- L'éclairage zénithale depuis la toiture.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Le patio qui sert comme un espace de distribution horizontale et verticale et d'éclairage à la fois .</li> <li>-L'entrée monumentale.</li> <li>-Plusieurs entrées secondaires .</li> <li>-L' accesseur panoramique .</li> <li>-L'approvisionnement se fait à partir d'une cours de service loin des clients.</li> <li>-L'éclairage zénithale depuis la toiture.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Un espace central qui est l'atrium qui relie les deux hall du centre commercial est qui sert comme un espace de distribution horizontal et vertical .</li> <li>-L' accesseur panoramique .</li> <li>-La double façade ventilée pour améliorer la qualité d'aire à l'intérieure du centre commercial.</li> <li>-L'approvisionnement se fait à partir d'une cours de service loin des clients.</li> <li>-L'éclairage zénithale depuis la toiture.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Parking au toiture.</li> <li>- Le projet est d'un seul niveau commercial d'une sorte qu'il doit organiser comme une ville qui assure tout les besoins de la zone aéroportuaire .</li> <li>- Des places qui relient les halls quartiers qui sont utiliser comme des passages .</li> <li>- Les places comme lieux de rencontre .</li> <li>- La double façade ventilée pour améliorer la qualité d'aire à l'intérieure du centre commercial.</li> <li>-L'éclairage zénithale depuis la toiture.</li> </ul>



		<b>Analyse des exemples existants</b>		<b>Analyse des exemples livresques</b>			
<b>Le projet</b>		<b>Le Park Mall</b>	<b>Le centre commercial de Bab Ezzouar</b>	<b>ARG shopping mall</b>	<b>Le centre commercial d'Aéroville</b>		
<b>D – DIMENSION ENVIRONNEMENTALE ET AMBIANCES</b>	<b>a – Environnement physique</b>	<b>Microclimat</b>	 Plantation et espaces verts	 Plantation et espaces verts	 Plantation, espaces verts et double façade ventilée	 Plantation, espaces verts et double façade ventilée	
		<b>Pollution sonore</b>	 La source principale de nuisances sonore est le Park d'attraction et l'étage de loisirs	 La source principale de nuisances sonore est la route principale	 La source principale de nuisances sonore est la route principale	 La source principale de nuisances sonore est l'aéroport	
	<b>b - Ambiance</b>	<b>Mode exclusif / sélectif</b>	<b>Mode sélectif</b> 	<b>Mode exclusif</b> 	<b>Mode exclusif</b> 	<b>Mode sélectif</b> 	<b>Mode sélectif</b> 
				<b>Mode exclusif</b> 	<b>Mode exclusif</b> 	<b>Mode exclusif</b> 	



		Analyse des exemples existants		Analyse des exemples livresques	
Le projet		Le Park Mall	Le centre commercial de Bab Ezzouar	ARG shopping mall	Le centre commercial d'Aéroville
E – DIMENSION STRUCTURELLE ET TECHNIQUE	a – Structure	 <p>Mixte</p> 	 <p>Poteaux / poutres</p> 	 <p>Poteaux / poutres</p> 	 <p>Métallique</p> 
	b-Approvisionnement	  <p>③ Quai de chargement/déchargement.</p>	  <p>④ Quai de chargement/déchargement.</p>	  <p>③ Quai de chargement/déchargement.</p>	  <p>④ Quai de chargement/déchargement.</p>



Synthèse d'analyse des exemples :

	<b>Le Park Mall</b>	<b>Le centre commercial de Bab Ezzouar</b>	<b>ARG shopping mall</b>	<b>Le centre commercial d'Aéroville</b>
<b>Le choix stratégique du site de projet soit au centre ville soit au périphéries ou zone d' extension de la ville</b>	Centre ville 	Centre ville et à proximité de l'aéroport 	Centre ville 	À proximité de l'aéroport 
<b>Les entrées sont très remarquable et monumentales</b>				
<b>L' ascenseur panoramique</b>				
<b>L'atrium comme espace de distribution horizontale et verticale</b>				



Synthèse d'analyse des exemples :

	Le Park Mall	Le centre commercial de Bab Ezzouar	ARG shopping mall	Le centre commercial d'Aéroville
L'éclairage zénithale				
Une entrée principale et plusieurs entrées secondaires (+ une entrés depuis le parking sous sol)				
Un très grands nombre de places dans le parking				
La facilité de la circulation horizontale avec les grands hall				



## 2. Le programme.

### 2.1. Les programmes des exemples analysés :

#### 2.1.1. Le programme de Bab Ezzouar (Alger, Algérie) :

Bab Ezzouar est un centre commercial et de loisirs de taille humaine à Alger :

- 70 enseignes sur 3 niveaux, totalisant 31 000 m<sup>2</sup> de surface de vente et de loisirs dont un hypermarché UNO sur 7 000 m<sup>2</sup> (groupe CEVITAL).
- 16 000 m<sup>2</sup> de bureaux.
- Un parking sous terrain de 850 places.

Tableau V-1 : Programme de Bab Ezzouar à Alger.

(Source : <http://www.babezzouar-dz.com/>).

SURFACES BRUTES			SURFACES BRUTES			Etape de Construction		
ETAPE	SURFACE BRUTE	TOTAL	Etape de Construction	Surfaces Brutes	Total	Etape de Construction	Surfaces Brutes	Total
	AIRE BRUTE	13673 m2		AIRE BRUTE	15498 m2		AIRE BRUTE	15628 m2
		13673 m2			15498 m2			15628 m2

SURFACES NETTES			SURFACES NETTES			SURFACES NETTES		
Num.	Locataire	Surfaces	Num.	Locataire	Surfaces	Num.	Locataire	Surfaces
001	HYPERMARCHÉ UNO	7625 m2	101	LUFIAN	606 m2	200	STRIKE BOWLING	3175 m2
002	SEGENT MAJOR	95 m2	102	MORERA	322 m2	201	CINEMAS	2006 m2
003	SAN MARINA	106 m2	103	DEPOT IT	201 m2	202	SMCCA	529 m2
004a	NIKE	219 m2	104	BENETTON	321 m2	203	PIZZERIA	668 m2
004b	GEOX	105 m2	105	SUPER SPORT	178 m2	204	ENTRECOTE ALGER	342 m2
005	LACOSTE	123 m2	106	A VIE CHAUSSURES	811 m2	205	MOD'S HAIR	100 m2
006	DJEZZY	115 m2	107		500 m2	207	WWW.BAZ	29 m2
007	CAFE BLANCO	50 m2	108	THURAYA	399 m2	208	FITNESS	1101 m2
008	SMCCA	8 m2	109	PUNT ROMA	257 m2	209a	SUSHI LOUNGE	139 m2
009		163 m2	110	LA GRANDE RECRE	793 m2	209b	YA LEIL YA EIN	92 m2
010	KLAIRS	47 m2	111	FASHION PLANET	1498 m2	210	METRO EXPRESS	88 m2
011	BB CONFORT	227 m2	112	BO'S ART	936 m2	211	VIVAREA FOOD	171 m2
012	DIXIT	93 m2	113	IT SHOP	604 m2	212	ROSTOMIA	54 m2
013	LOUATI	18 m2	114	SMCCA	209 m2	213	SAMSUNG	77 m2
014	TAPIS ROUGE	49 m2	116	ACTUA_JULES	511 m2	214B	CROSSROADS DINER	215 m2
015	BNP Paribas	136 m2	117	ANTRI BOUZAR	144 m2	215	NATURAL LOUNGE	277 m2
016	O'DELICES EXPRESS	38 m2	118	OLLY GAN	127 m2	216	CASA MJA	162 m2
017	PHARMACIE	71 m2	119B	CROSSROADS CAFE	202 m2	217	NOMADE	216 m2
018		166 m2	120	SAMSONITE	60 m2	218	Ô COCKTAIL	77 m2
019	HUGO BOSS	92 m2	121	GOTTFRIED	45 m2	219	ABRACADABRA	58 m2
020	RELAJ D'ALGER	74 m2	123A	LE TANNEUR	81 m2	220	TEX MEX	39 m2
021	SMCCA	55 m2	123B	OOXOO	49 m2	221	ORCHESTRA LAND	747 m2
022	SWATCH	32 m2	124	BLEU NUIT	145 m2	222	DJEZZY	16 m2
023	AFFLELOU	88 m2	125	BALLA BOOSTE	37 m2	224	AROMA CAFE	103 m2
024	MEGA OR	35 m2	126A	CARRE BLANC	95 m2	225	ALGAUFRA	38 m2
025	JEUNE & JOLIE	60 m2	126B	G.LETHU	69 m2	226	O'Delices	33 m2
026	PABLOSKY	57 m2	127	GUY DEGRENNE	117 m2	227	ARLECHINO	59 m2
		9947 m2	128	LOLLIPOPS	53 m2	228	LEONARD CAFE	80 m2
			129	SEB	191 m2			
			129A	ORCHESTRA	139 m2			
			129B	SMCCA	97 m2			
			130	ECOSSIM	151 m2			
			131	SONY	361 m2			
			132	Espreno	83 m2			
			133	RAYMOND WEIL	33 m2			
					10428 m2			

RDC

1<sup>er</sup> étage

2<sup>eme</sup> étage

#### 2.1.2. Le programme de Park mall (Sétif, Algérie) :

un hypermarché.	6 600 m <sup>2</sup>
loisirs (attractions et bowling).	6 200 m <sup>2</sup>
une tour de bureaux et de logements.	13 650 m <sup>2</sup>
une tour d'hôtel 4 étoiles d'une capacité de 192 chambres.	16 000 m <sup>2</sup>
un centre de congrès indépendant et polyvalent de 800 places.	2 200 m <sup>2</sup>
une patinoire.	400 m <sup>2</sup>
110 boutiques.	
12 restaurants (Food court).	
1 400 places de stationnement en sous sol pour les locataires et les clients.	

Tableau V-2 : Programme de Park mall à Sétif.

(Source : <http://www.arte-charpentier.com/fr/projet/complexe-park-mall/>).

#### 2.1.3. Le programme d'Aéroville (Paris, France) :

Un hypermarché Auchan.
200 boutiques.
30 points de restauration.
Un complexe Cinéma Europa Corp de 12 salles nouvelle génération dont 2 premiums.
4000 places de parking.

Tableau V-3 : Programme de centre commercial d'Aéroville à Paris.

(Source : <https://www.batiactu.com/edito/aeroville-le-titanesque-centre-commercial-de-roiss-35186.php>).

#### 2.1.4. Le programme d'ARG shopping mall (Téhéran, Iran) :

34 Magasins.
Cafétéria.
2 Restaurants + Restaurant VIP.
Salle de conférence.
Loisirs.

Tableau V-4 : Le programme d'ARG shopping mall (Téhéran, Iran).

(Source : <https://www.archdaily.com/783535/arg-shopping-mall-arsh-4d>).

**2.2. Le programme proposé pour le centre commercial :**

**Tableau V-5 : Le programme proposé pour le centre commercial.**

(Source : L'auteur, 2018 inspiré de l'ouvrage d'Ali Haidar :  
« Principes de conception des réalisations commercial »).

Surface totale des commerces :					
Secteur	Espace	Nombre	Surface unitaire	Surface totale	
Commerces	Vêtements	Hommes	01	60 m <sup>2</sup>	60 m <sup>2</sup>
		Femmes	01	60 m <sup>2</sup>	60 m <sup>2</sup>
		Enfants	01	30 m <sup>2</sup>	30 m <sup>2</sup>
		Femmes et enfants	01	80 m <sup>2</sup>	80 m <sup>2</sup>
		Hommes, femmes et enfants	01	120 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>
					<b>350 m<sup>2</sup></b>
	Chaussures	Hommes	01	60 m <sup>2</sup>	60 m <sup>2</sup>
		Femmes	01	60 m <sup>2</sup>	60 m <sup>2</sup>
		Enfants	01	30 m <sup>2</sup>	30 m <sup>2</sup>
		Hommes, femmes et enfants	01	120 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>
	Sport	Vêtements hommes	01	60 m <sup>2</sup>	60 m <sup>2</sup>
		Vêtements femmes	01	60 m <sup>2</sup>	60 m <sup>2</sup>
		Vêtements enfants	01	60 m <sup>2</sup>	60 m <sup>2</sup>
		Article de camping	01	120 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>
		Article de sport	01	120 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>
					<b>420 m<sup>2</sup></b>
	Soin et beauté	Cosmétique	01	60 m <sup>2</sup>	60 m <sup>2</sup>
		Maquillage et beauté	01	120 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>
		Parfumerie	01	120 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>
					<b>300 m<sup>2</sup></b>
	Accessoires	Bijouterie	01	60 m <sup>2</sup>	60 m <sup>2</sup>
		Horlogerie	01	60 m <sup>2</sup>	60 m <sup>2</sup>
		Accessoires mobiles	01	80 m <sup>2</sup>	80 m <sup>2</sup>
		Jouets	01	120 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>
		Fleuriste	01	60 m <sup>2</sup>	60 m <sup>2</sup>
		Cadeaux et souvenirs	01	80 m <sup>2</sup>	80 m <sup>2</sup>
					<b>460 m<sup>2</sup></b>
Alimentation	Pâtisserie	01	60 m <sup>2</sup>	60 m <sup>2</sup>	
	Boulangerie	01	60 m <sup>2</sup>	60 m <sup>2</sup>	
	Boucherie	01	60 m <sup>2</sup>	60 m <sup>2</sup>	
	Poissonnerie	01	60 m <sup>2</sup>	60 m <sup>2</sup>	
	Confiserie	01	20 m <sup>2</sup>	20 m <sup>2</sup>	
	Hypermarché	01	500 m <sup>2</sup>	500 m <sup>2</sup>	
				<b>760 m<sup>2</sup></b>	
Maison	Meuble	01	300 m <sup>2</sup>	300 m <sup>2</sup>	
	Accessoires de la maison	01	120 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>	
	Vaisselle	01	100 m <sup>2</sup>	100 m <sup>2</sup>	
	Informatique	01	80 m <sup>2</sup>	80 m <sup>2</sup>	
	Téléphones	01	80 m <sup>2</sup>	80 m <sup>2</sup>	
	Magasin d'animaux domestiques	01	80 m <sup>2</sup>	80 m <sup>2</sup>	
	Electroménager	01	120 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>	
				<b>880 m<sup>2</sup></b>	
				<b>3 440 m<sup>2</sup></b>	

Surface totale des espaces techniques :				
Secteur	Espace	Nombre	Surface unitaire	Surface totale
Espaces techniques	Dépôt	04	350 m <sup>2</sup>	1400 m <sup>2</sup>
	Sécurité	04	25 m <sup>2</sup>	100 m <sup>2</sup>
	Espace matériaux de protection	10	3 m <sup>2</sup>	30 m <sup>2</sup>
	Local technique	1	200 m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>
	Sanitaire	08	60 m <sup>2</sup>	480 m <sup>2</sup>

Surface totale de l'administration :				
Secteur	Espace	Nombre	Surface unitaire	Surface totale
Administration	Bureau de directeur	01	60 m <sup>2</sup>	60 m <sup>2</sup>
	Bureau de vice directeur	01	60 m <sup>2</sup>	60 m <sup>2</sup>
	Bureau de sécuritaire	01	30 m <sup>2</sup>	30 m <sup>2</sup>
	Bureau de comptable	01	40 m <sup>2</sup>	40 m <sup>2</sup>
	Bureau d'avocat	01	40 m <sup>2</sup>	40 m <sup>2</sup>
	Salle de réunion	01	80 m <sup>2</sup>	80 m <sup>2</sup>
	Salle d'archive	01	50 m <sup>2</sup>	50 m <sup>2</sup>
	Salle des travailleurs	01	80 m <sup>2</sup>	80 m <sup>2</sup>
				<b>440 m<sup>2</sup></b>

Surface totale des services :					
Secteur	Espace	Nombre	Surface unitaire	Surface totale	
Services	Agence bancaire	02	60 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>	
	Agence touristique	02	60 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>	
	Assurance	02	60 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>	
	Société de publicité	01	60 m <sup>2</sup>	60 m <sup>2</sup>	
	Coiffeur	01	60 m <sup>2</sup>	60 m <sup>2</sup>	
	Coiffeuse	01	80 m <sup>2</sup>	80 m <sup>2</sup>	
	Dégraissage	02	40 m <sup>2</sup>	80 m <sup>2</sup>	
	Pharmacie	01	40 m <sup>2</sup>	40 m <sup>2</sup>	
	Opticien	01	80 m <sup>2</sup>	80 m <sup>2</sup>	
	Photographe	01	80 m <sup>2</sup>	80 m <sup>2</sup>	
	Librairie	01	120 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>	
	Salle de prière	02	25 m <sup>2</sup>	50 m <sup>2</sup>	
	Garderie d'enfant	01	150 m <sup>2</sup>	150 m <sup>2</sup>	
					<b>1 160 m<sup>2</sup></b>

Surface totale des loisirs :				
Secteur	Espace	Nombre	Surface unitaire	Surface totale
Loisirs	Billard	01	150 m <sup>2</sup>	150 m <sup>2</sup>
	Salle de jeux	03	120 m <sup>2</sup>	360 m <sup>2</sup>
	Salle de sport homme	01	200 m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>
	Salle de sport femme	01	200 m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>

Surface totale de la restauration :				
Secteur	Espace	Nombre	Surface unitaire	Surface totale
Restauration	Restaurant	02	200 m <sup>2</sup>	400 m <sup>2</sup>
	Restaurant VIP	01	500 m <sup>2</sup>	500 m <sup>2</sup>
	Cafétéria	02	120 m <sup>2</sup>	240 m <sup>2</sup>
	Fast Food	04	100 m <sup>2</sup>	400 m <sup>2</sup>
	Pizzeria	04	100 m <sup>2</sup>	400 m <sup>2</sup>
	Crêperie	02	60 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>
	Glasses	02	60 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>
	Salon de thé	02	120 m <sup>2</sup>	240 m <sup>2</sup>
				<b>2 420 m<sup>2</sup></b>

**Surface globale :**

- Surface totale = 10 580 m<sup>2</sup>
- Surface du parking = 5 x 2,5 = 12,5 m<sup>2</sup>
- Parking 145 places = 145 x 12,5 = 1 812,5 m<sup>2</sup>
- Surface du centre commercial avec le parking = 10 580 + 1 812,5 = 12 392,5 m<sup>2</sup>
- Surface de circulation = (10 580 x 30)/100 = 3 174 m<sup>2</sup>
- Surface globale = 12 392,5 + 3 174 = 15 566,5 m<sup>2</sup>



### 3. L'analyse de terrain.

#### 3.1. Présentation du site :

##### A. Situation géographique :

##### - Situation de la ville de Biskra :



Figure V-1 : Localisation de la wilaya de Biskra sur la carte de L'Algérie.

(Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d3/Algeria\\_07\\_Wilaya\\_locator\\_map-2009.svg/langfr-280px-Algeria\\_07\\_Wilaya\\_locator\\_map-2009.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d3/Algeria_07_Wilaya_locator_map-2009.svg/langfr-280px-Algeria_07_Wilaya_locator_map-2009.svg.png)).



Figure V-2 : La carte de la wilaya de Biskra.

(Source : <https://archive.is/0aceE/56418191d5e0f351defff23b2d7b98fa5e7f4c49.gif>).

<p><b>La wilaya de Biskra est situé au centre est de l'Algérie dans la région des Aurès aux portes du désert du Sahara.</b></p>	<b>Les limites de la wilaya de Biskra</b>	
	Au nord :	La wilaya de Batna.
	Au sud :	La wilaya de Ouargla.
	A l'est :	La wilaya de Khenchela.
	A l'ouest :	La wilaya de Djelfa.

Tableau V-6 : Les limites de la Wilaya de Biskra.

(Source : <http://www.algerie-monde.com/wilayas/biskra/>).

##### - Situation de terrain par rapport à la ville de Biskra :



Figure V-3 : Vue aérienne sur le terrain et son environnement.

(Source : Google maps).



Figure V-4 : Vue sur le terrain.

(Source : l'auteur 23 / 12 / 2018).

Le terrain du projet est situé dans la ville de Biskra, à côté d'El-Alia Est ; il est à 3 km du centre-ville. Ce terrain est proposé pour un centre commercial car situé dans la route principal N31 menant vers Chetma et à mis chemin entre Chetma et le centre-ville de Biskra.

##### B. Le tissu urbain :

##### - Situation de terrain par rapport aux équipements de la ville :

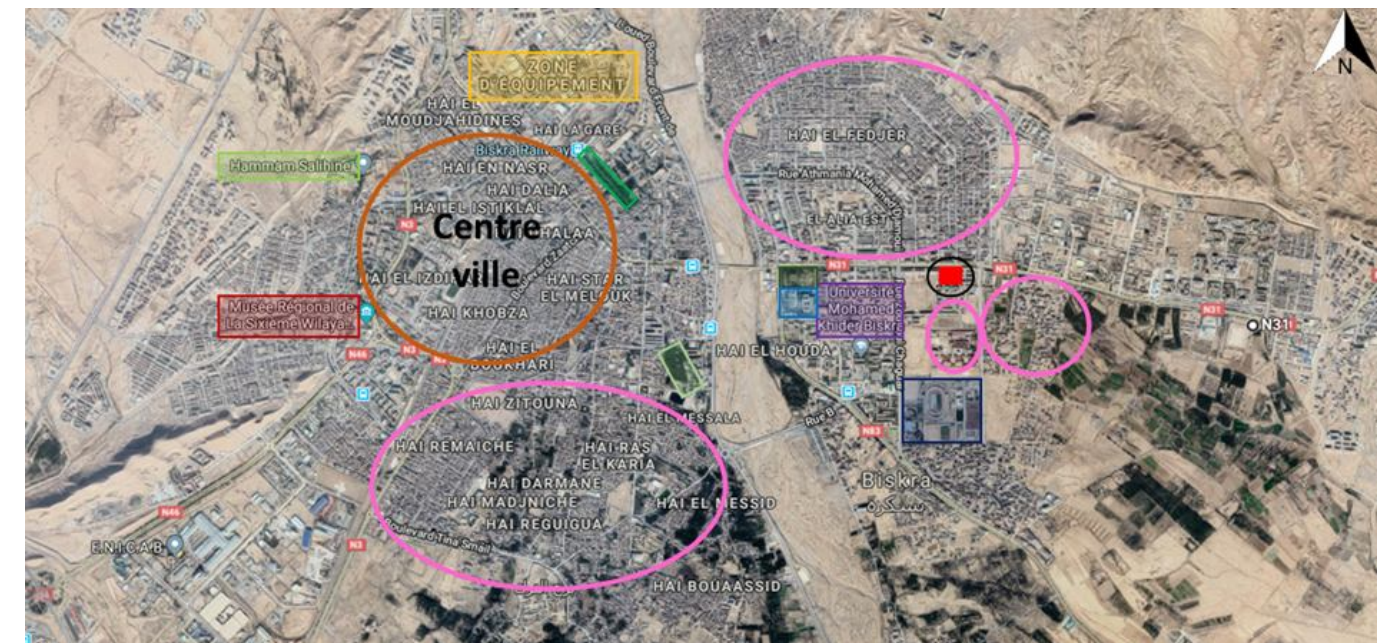


Figure V-5 : Plan de terrain et les équipements principaux de la ville de Biskra.

(Source : <https://www.google.fr/maps/dir/34.848088,5.7797158/@34.8553642,5.7310189,2288m/data=!3m1!1e3!4m2!4m1!3e0>).

	Le terrain de		Habitats
	Musée		Université Mohamed
	Complexe Hamam		Jardin Bachir Ben
	Jardin 5		Hôpital Bachir Ben
	Jardin		Complexe
	Le centre-ville		Zone

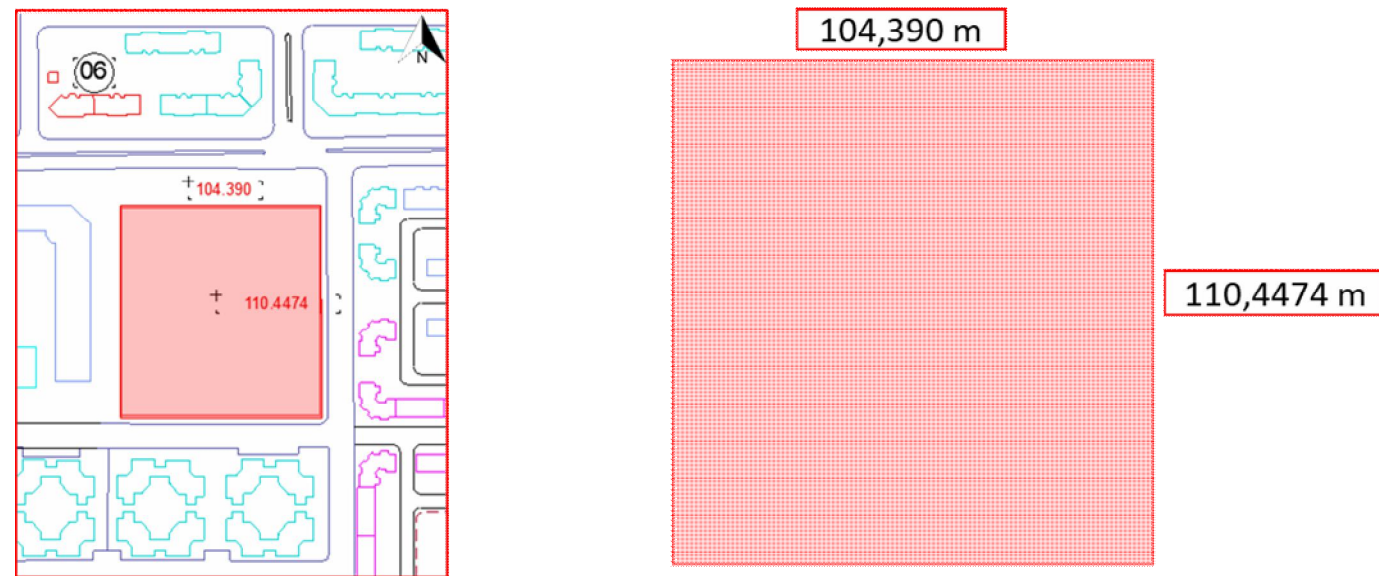


3.2. Analyse de site :

A. Analyse physique :

- Morphologie :

- La forme de terrain : Le terrain est d'une forme rectangulaire.

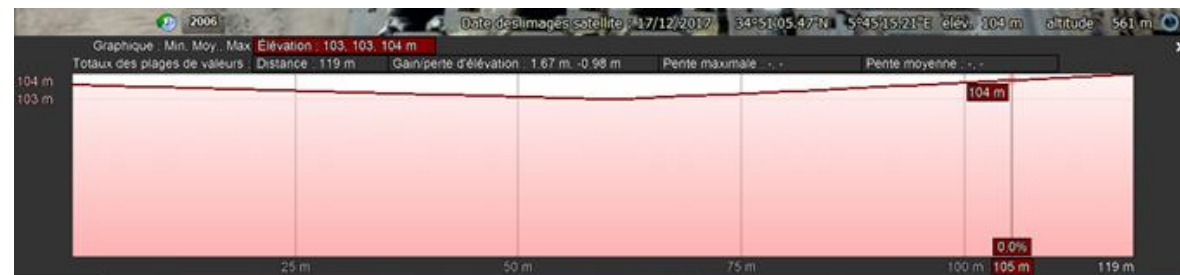


$Surface = 104,390 \times 110,4474 = 11529,604086 \text{ m}^2$

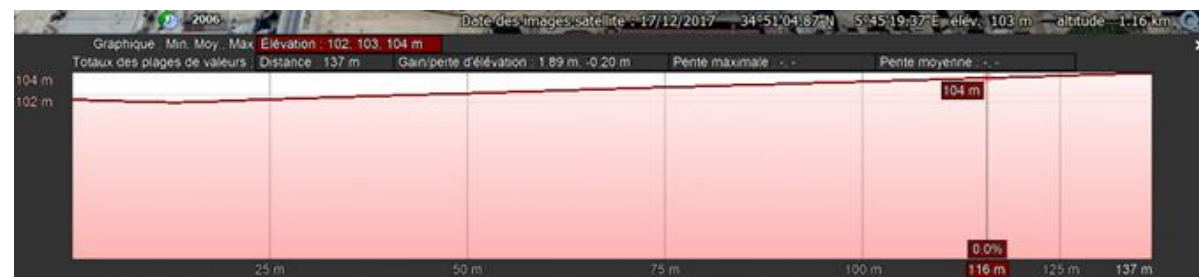
Figure V-6 : Plan pour dimensionnement de terrain.

(Source : PDAU Biskra 2016).

- La topographie de terrain :



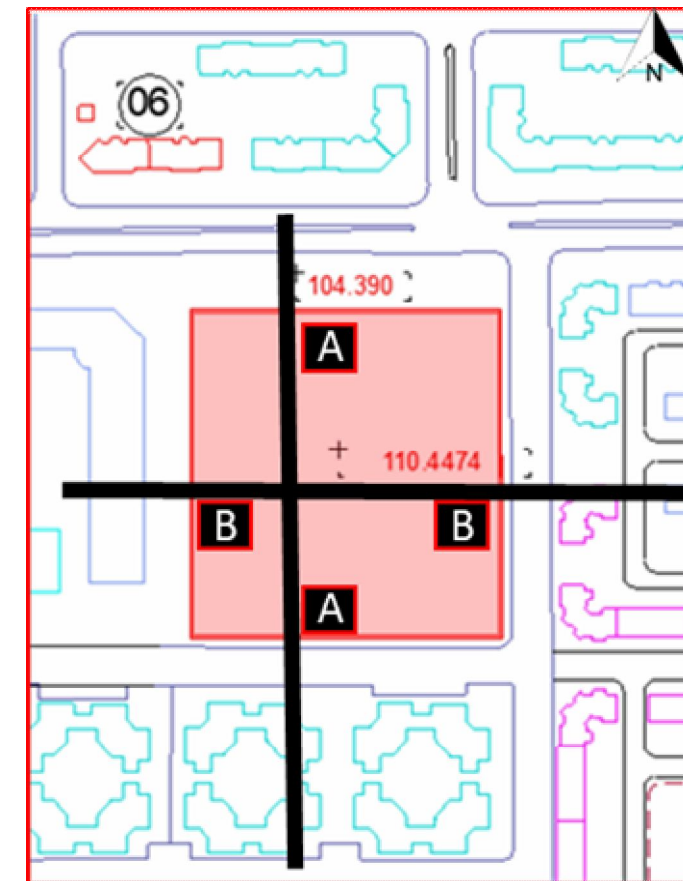
A-A (103 – 104) m



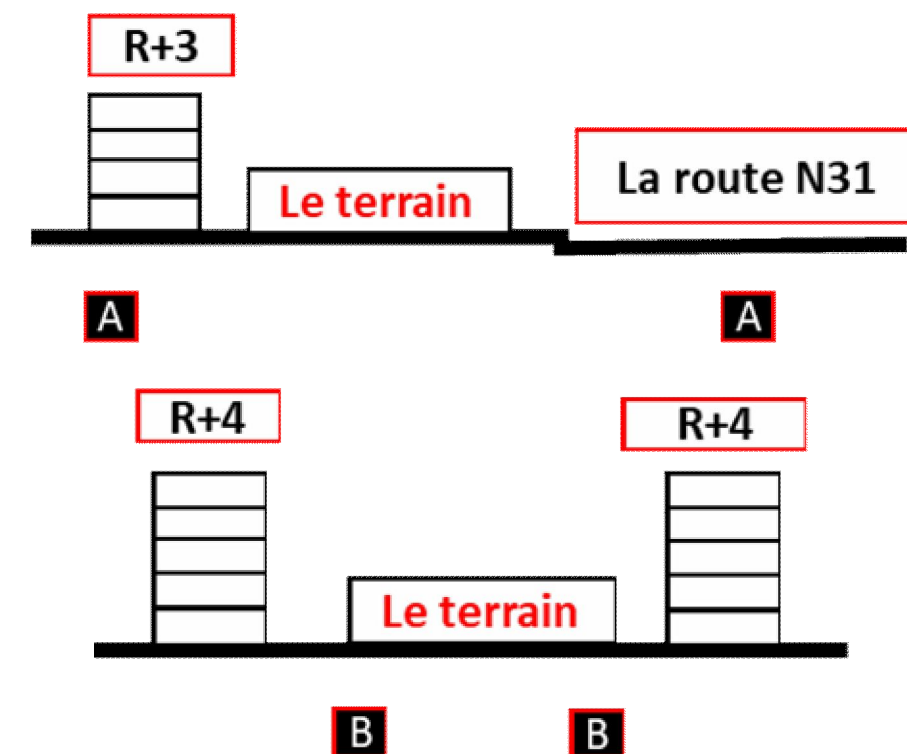
B-B (102 – 104) m

Figure V-7 : Deux coupes topographiques de terrain.

(Source : Google earth 2018).



L'altitude de ce terrain est de 103 m et depuis les coupe A-A et B-B le terrain est plat .





• L'environnement immédiat :



Les abords immédiats sont des bâtiments résidentiels collectifs.

Figure V-8 : Vue sur le terrain et l'environnement immédiat. (Source: l'auteur 2018).

• Des photos de terrain et son environnement immédiat :

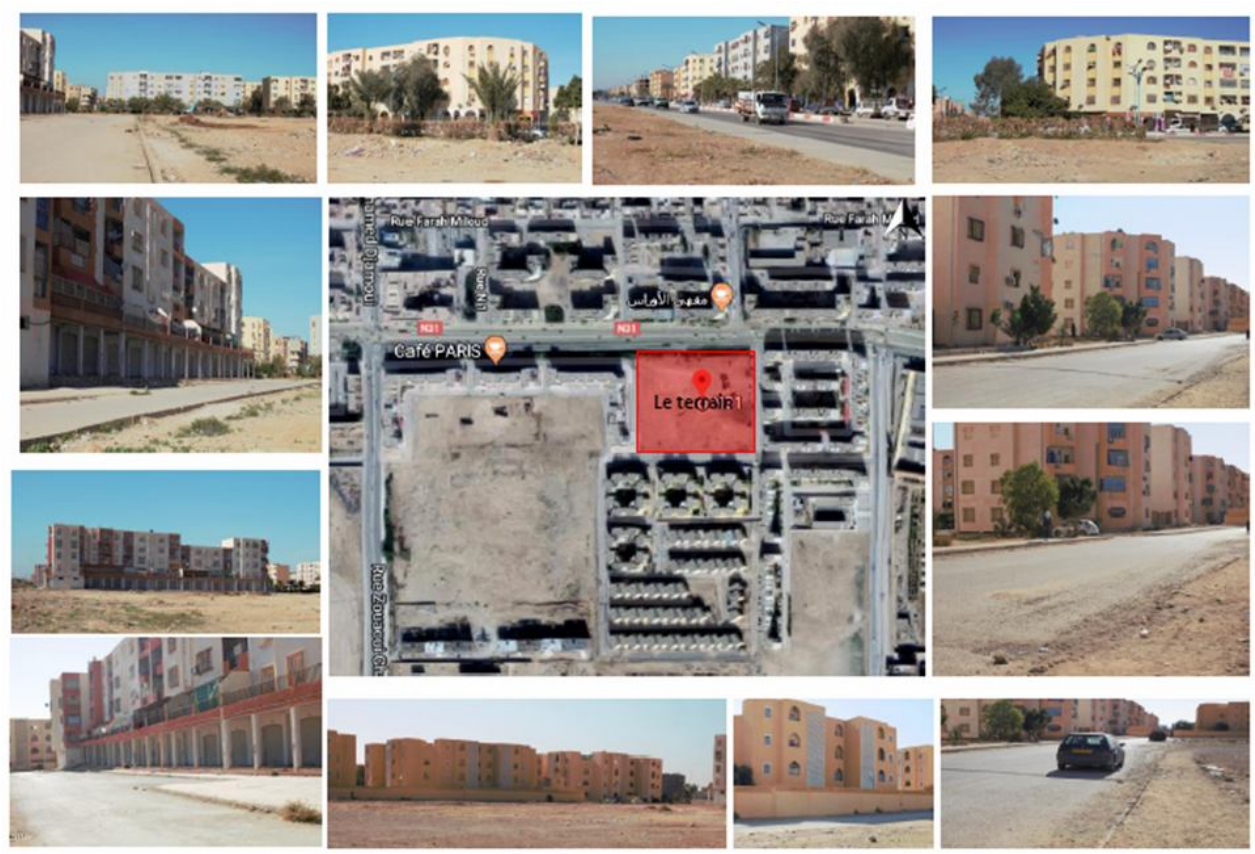


Figure V-9 : Des photos de terrain et son environnement. (Source: l'auteur 2018).

• Les façades urbaines de tout l'environnement du terrain :



Figure V-10 : Vue en plan sur le terrain et l'environnement immédiat. (Source: <https://www.google.fr/maps/dir/34.8513445,5.7554469/@34.8512143,5.7516108,828m/data=!3m1!1e3!4m2!4m1!3e0>).

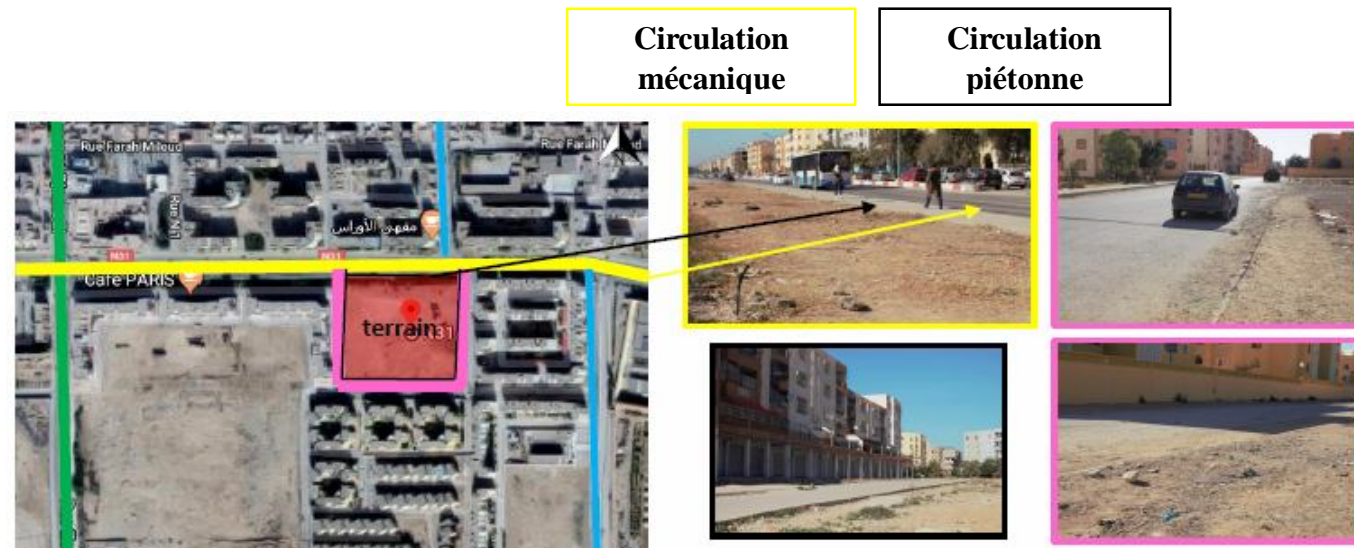
Façade urbaine du côté Nord.	Façade urbaine du côté Sud.
Façade urbaine du côté Ouest.	Façade urbaine du côté Est.

Tableau V-7 : Les photos des façades urbaines de l'environnement de tout le terrain. (Source: l'auteur 2018).



**B. Analyse technique :**

• **Circulation et accessibilité :**

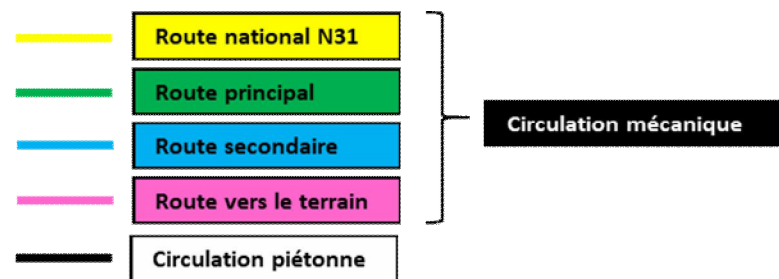


**Figure V-11 : Les axes routiers et piétons dans le périmètre du terrain.**

(Source: <https://www.google.fr/maps/dir/34.8513445,5.7554469/@34.8512143,5.7516108,828m/data=!3m1!1e3!4m2!4m1!3e0>).

**Figure V-12 : Photos de terrain et ses accès.**

(Source: l'auteur 2018).



**Le terrain est accessible depuis tous les cotés pour les véhicules et les piétons.**

• **L'ensoleillement de la date 30/12/2018 avec Sun earth tools :**

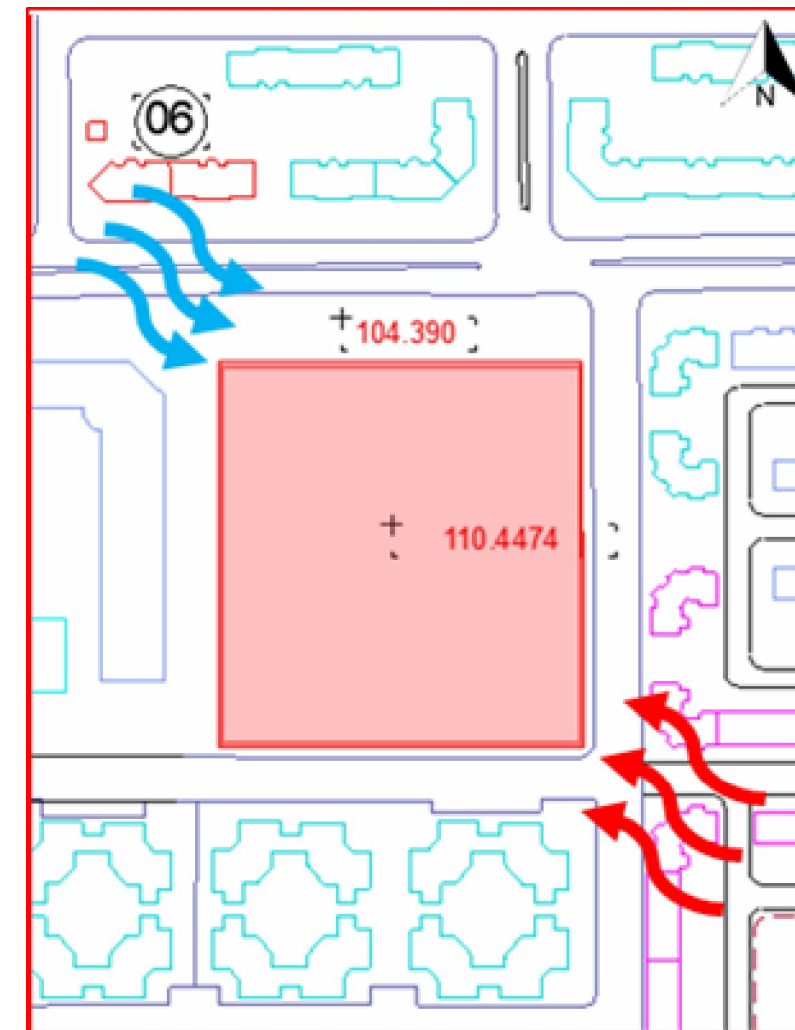


**Figure V-13 : L'ensoleillement dans le terrain le 30/12/2012 à 10H00.**

(Source : <https://www.sunearthtools.com/>).

Quand l'orientation du soleil est à l'EST durant le matin, la largeur de l'accès mécanique et l'aménagement entre les blocs des habitats R+4 garde le terrain exposé aux rayonnements solaires. Quand l'orientation du soleil est à l'OUEST depuis 14H00, la hauteur des bâtiments R+4 assure la protection contre le rayonnement solaire. (L'habitat du côté ouest est continué).

• **Les vents dominants :**



**Figure V-14 : Les vents dominants dans le terrain.**

(Source : PDAU Biskra 2016).

La hauteur des bâtiments (R+4) et (R+3) protège le terrain des vents depuis toutes les directions des vents.

Les vents chauds viennent depuis le Sud/Est et les vents froids depuis le Nord/Ouest.

### **3.3. Synthèses de l'analyse de terrain :**

- **Le terrain a une excellente accessibilité soit mécanique ou piétonne (perméabilité très facile).**
- **Le respect de la hauteur des bâtiments car tout l'environnement à un alignement au niveau de la hauteur.**
- **La hauteur des bâtiments R+4 protège le terrain de rayonnement solaire donc le traitement de la façade Ouest est possible avec le vitrage.**
- **Le terrain est situé dans un tissu urbain dense, il est entouré par des habitats collectifs donc on peut créer une placette public pour rendre le projet plus viable et renforcer le côté social entre les habitants.**
- **Le terrain est protégé des vents par les bâtiments des habitats collectifs.**
- **Ce terrain est un terrain plat de 103 m d'altitude.**
- **La voirie principale est une voirie commerciale donc on va intégrer des portes et des éléments monumentaux pour identifier le projet au niveau du quartier ainsi que la ville.**

## Chapitre VI : LE PROJET.

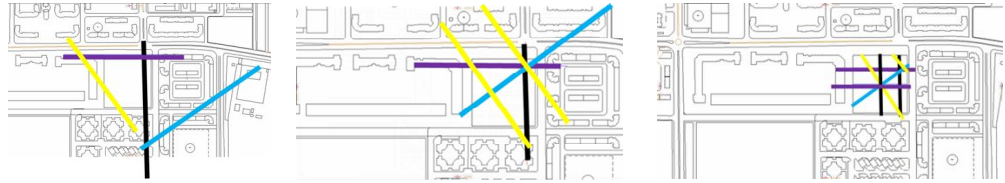
### 1. Les éléments de passage.

- Le type de ventilation.
- Le compartimentage de la façade.
- Le mode de ventilation de l'espace tampon.
- L'épaisseur du canal (la cavité).
- La géométrie de la cavité.
- L'utilisation de Mashrabiya comme un écran solaire.
- La variation dans la densité du Mashrabiya selon l'orientation ; l'opacité des élévations Est et Ouest, sont les plus opaques ensuite l'élévation Sud et l'élévation la moins opaque est l'élévation Nord.
- Donner une image visuelle particulière au projet par son enveloppe architecturale plus précisément par le dispositif de la double façade ventilée.
- Créer une richesse au niveau des façades par l'utilisation des matériaux tel que le verre pour assurer la transparence et l'éclairage avec l'intégration des mashrabiya pour éviter les apports excessifs des rayons du soleil.
- Assurer le confort thermique pour les occupants de ce projet (clients, vendeurs, travailleurs, etc.) à travers le dispositif de la double façade ventilée.
- Ce projet doit contribuer au développement durable à travers son architecture.

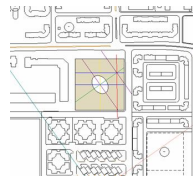


## 2. L'idée conceptuelle.

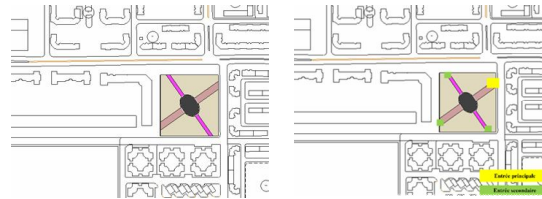
- **Etape 1 :** La création d'une trame à partir des axes urbains et les rayons de la forme de terrain et faire une translation au centre du terrain.



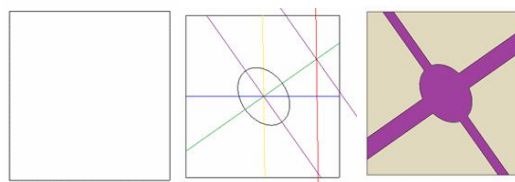
- **Etape 2 :** Un atrium au centre du terrain (la centralité depuis l'environnement immédiat), de forme ovale qui représente le dynamisme et la fluidité dans le commerce.



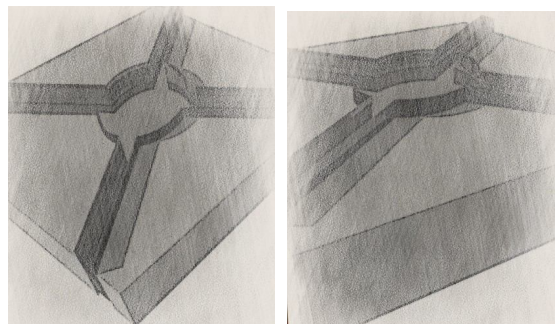
- **Etape 3 :** L'extériorisation de l'intérieur et l'intériorisation de l'extérieur à travers la création d'un hall quartier (voie urbaine) qui sert de rue marchande, l'entrées principale et les entrées secondaires depuis tous les points cardinaux.



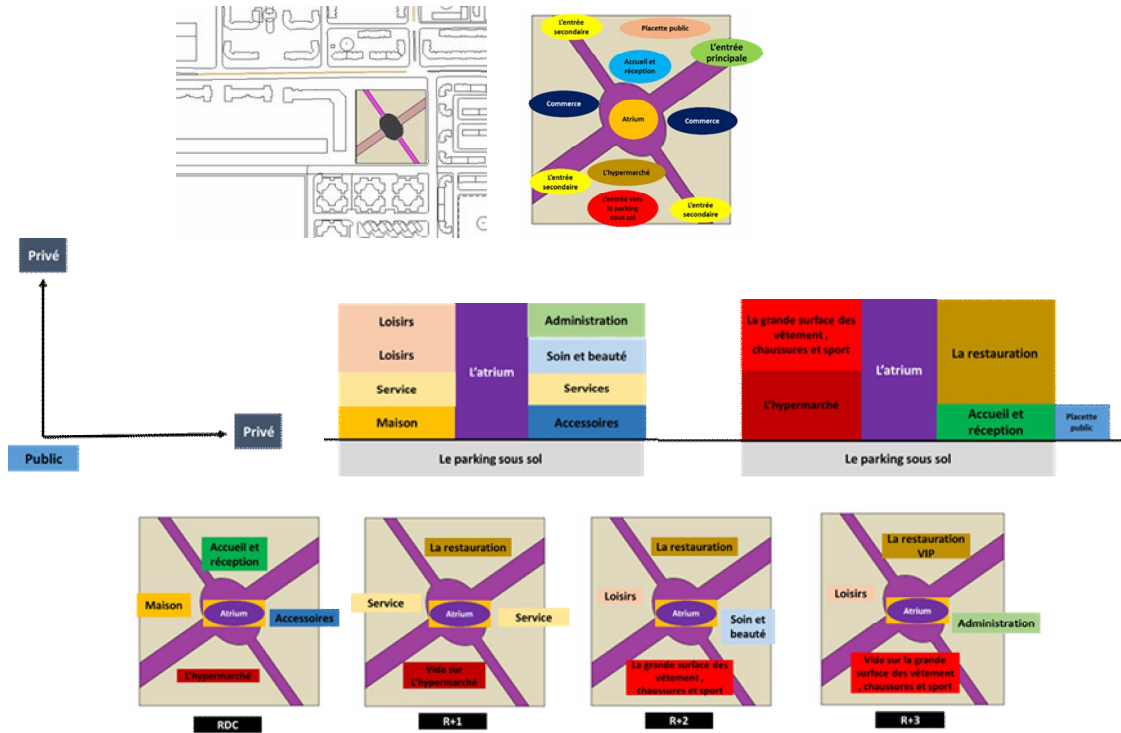
- **Etape 4 :** Depuis la forme de terrain on a :



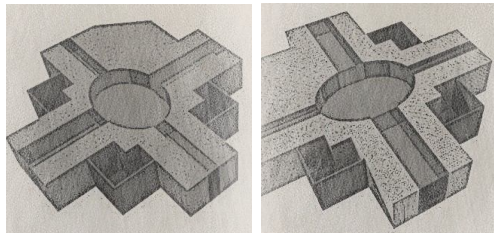
- **Etape 5 :** 4 Volumes de tailles et formes différentes qui indiquent les 4 secteurs de centre commercial : (Commerce, service, restaurations et loisirs et administration) liées entre eux avec les passages qui relient les entrées à l'espace centrale (l'atrium).



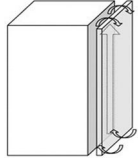
• Le zoning :



• Etape 6 : L'injection du programme dans un volume compacte.



• Etape 7 : Les doubles façades ventilées.

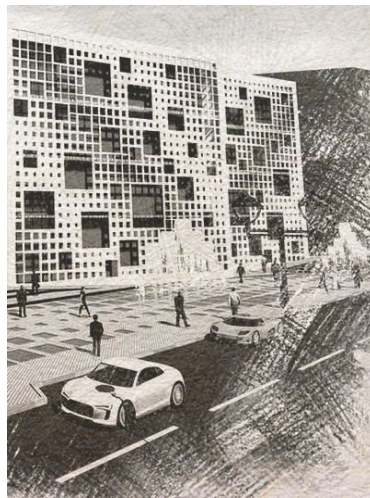
<p><b>1. Le type de ventilation :</b></p> <p><b>2. Le compartimentage de la façade :</b></p>	<p>Naturelle.</p> <p>La double façade ventilée est de type multi-étages.</p>  <p>Multi storey</p>
<p><b>3. Le mode de ventilation de l'espace tampon :</b></p>	<p><b>Rideau d'air extérieur :</b> L'air introduit dans la cavité provient de l'extérieur et est doucement rejeté vers l'extérieur ; la ventilation de l'espace tampon forme un rideau d'air enveloppant la façade extérieure.</p>
<p><b>4. L'épaisseur du canal :</b></p>	<p>1m (l'espace tampon a une largeur suffisante pour permettre la circulation des personnes pour l'entretien et la maintenance).</p>
<p><b>5. La géométrie de la cavité :</b></p>	<p>Droite.</p>
<p><b>6. Détails :</b></p>	<p>La variation de densité de Mashrabiya.</p>

### **Nord et Ouest :**

Une façade en béton exosquelette avec ouvertures carrées inspirées depuis la forme du terrain. Le centre commercial aura un extérieur unique sert d'écran solaire qui protège le mur rideau de verre du dur soleil du désert, tout en offrant des vues à la lumière du jour et cadrant à l'extérieur.

L'espace d'un mètre entre la façade et la surface de verre du bâtiment produit également un effet de cheminée par lequel l'air chaud monte pour créer système de refroidissement passif.

Les recouvrements correspondent à la dynamique solaire locale avec une valeur de 25% opacité à l'élévation Nord et 60% à l'élévation Ouest.

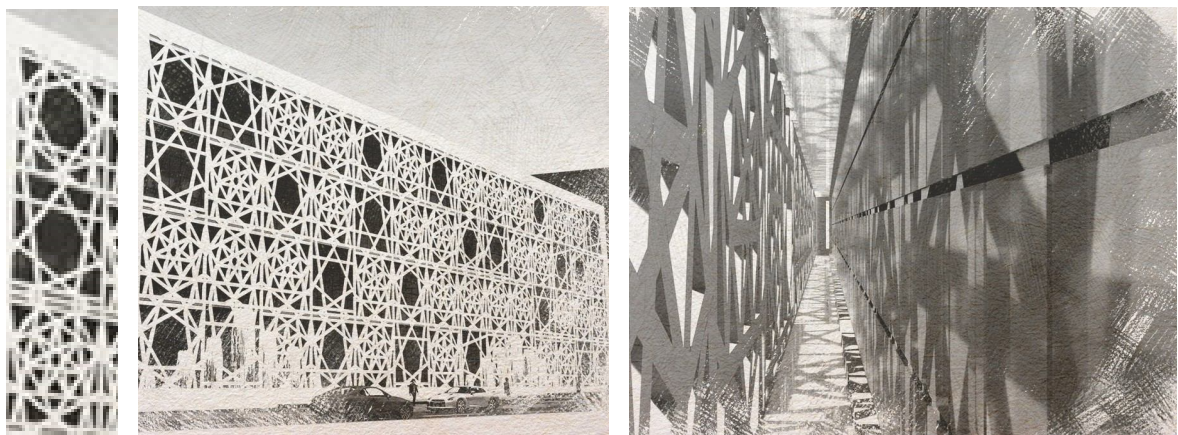


### **Sud et Est :**

Le revêtement extérieur évoque la tradition islamique "Mashrabiya", une forme populaire d'écran en treillis en bois trouvée dans l'architecture islamique vernaculaire utilisé pour atteindre l'intimité tout en réduisant l'éblouissement solaire et le gain de chaleur.

Placé le long de la façade Sud et Est du centre commercial, le « mashrabiya modernisé » utilise trois motifs géométriques différents à plusieurs densités pour produire l'effet désiré.

Les recouvrements correspondent à la dynamique solaire locale avec une valeur 40% à l'élévation Sud et 60% à l'élévation Est.



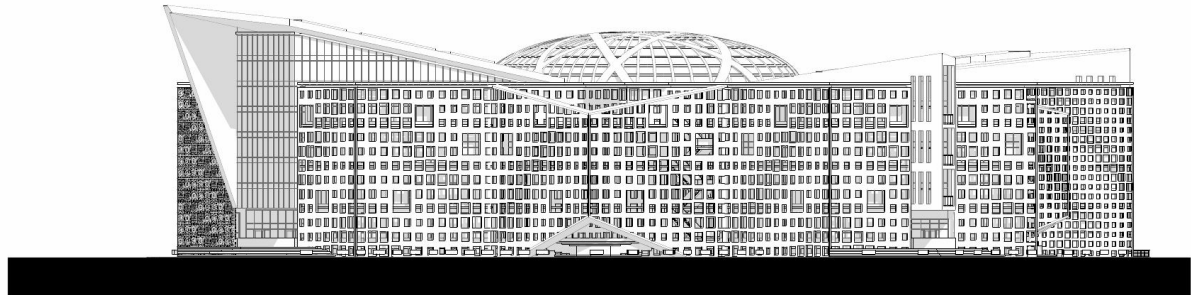


### 3. Les documents graphiques.

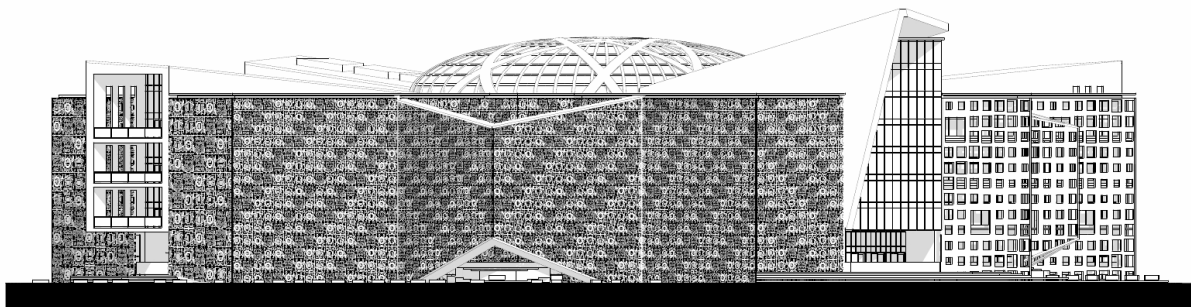
Les documents graphiques : Les plans, les coupes, les façades et les vues d'extérieure et d'intérieure.

#### Les façades.

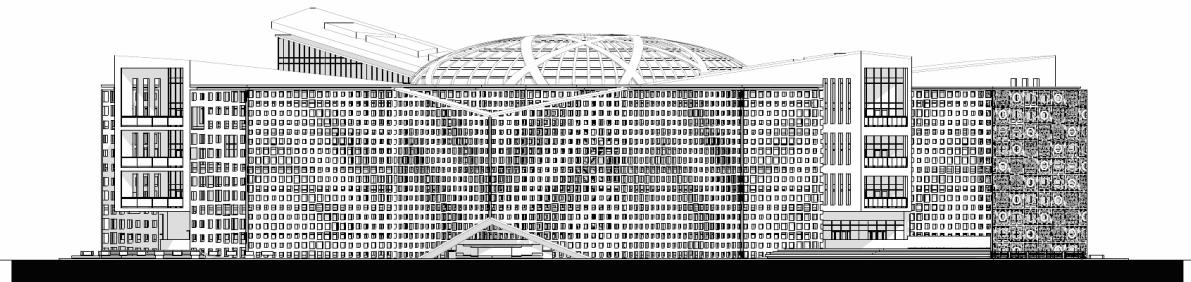
##### La façade Nord :



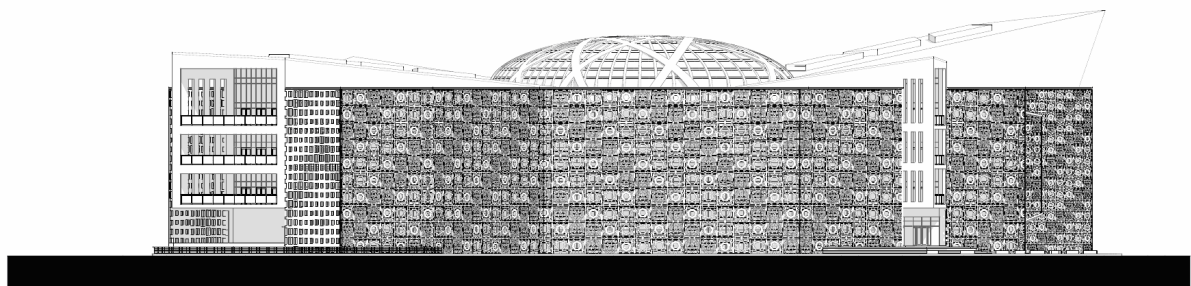
##### La façade Est :



##### La façade Ouest :

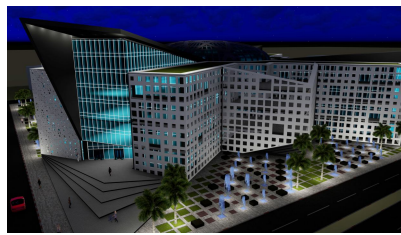
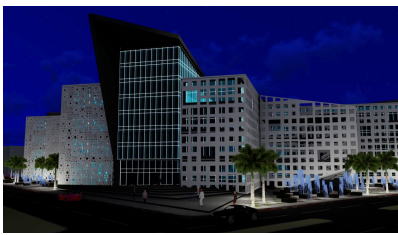
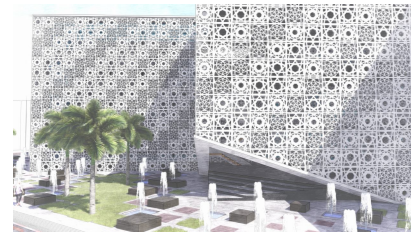
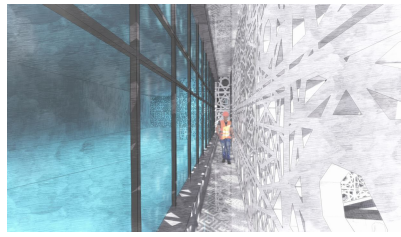


##### La façade Sud :

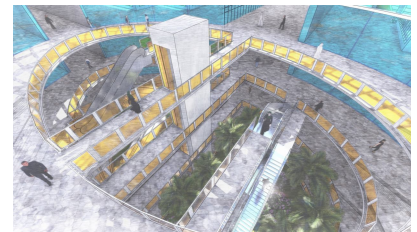
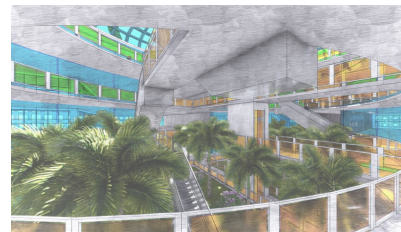
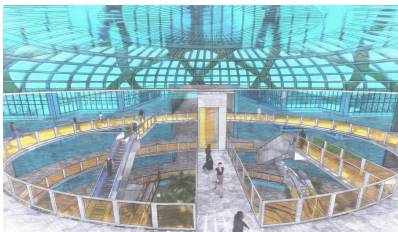




**Les vues d'extérieure.**



**Les vues d'intérieure.**



## CONCLUSION GENERALE.

Le thème de cette recherche « L'effet de la double façade ventilée dans une enveloppe architecturale sur le confort thermique », a été abordé pour cerner les problèmes liés aux enjeux climatiques dans les zones à climat chaud et sec, comme celui de la ville de Biskra. Dans ces régions il faut fournir beaucoup plus d'effort dans la conception des bâtiments pour faire face à la surchauffe et au phénomène d'effet de serre.

Avant de concevoir un bâtiment dans les zones à climat chaud et sec, l'architecte doit étudier les impacts thermiques de ses décisions conceptuelles dans un objectif de procurer le bien-être et le confort thermique des usagers. Parmi ces décisions le choix des façades qui est primordial vu qu'elles représentent la grande partie du contact avec l'environnement où leurs performances doivent être identiques à celles de l'enveloppe.

Le but de cette étude est de démontrer le rôle de la double façade ventilée dans une enveloppe architecturale et son effet positif sur le confort thermique à l'intérieur du bâtiment tertiaire dont particulièrement dans les zones chaudes et sec telle que la ville de Biskra. L'étude a été élaborée selon une démarche méthodologique adéquate selon l'élément étudié. Nous avons élaboré une recherche bibliographique suivie d'une analyse des différents articles scientifiques et des projets qui ont utilisés la double façade ventilée.

La partie théorique constituée du premier et deuxième chapitre a comme résultats : la connaissance profonde du climat et sa relation avec le confort thermique, ainsi que leur relation avec l'enveloppe architecturale plus précisément la double façade ventilée dans la création du bien être des occupant sur le plan thermique et le quatrième chapitre sur le projet architectural du centre commercial.

La partie analytique constituée du troisième chapitre qui est l'état de l'art et le cinquième chapitre d'analyses des exemples des projets de centres commerciaux a eu comme résultats : la validation de notre hypothèse : l'utilisation de la double façade ventilée dans l'enveloppe architecturale a un effet positif sur le confort thermique à l'intérieur de l'espace par rapport au climat chaud et sec.

Les résultats du présent travail ont été positifs confirmant notre hypothèse elucidant l'ambiguïté sur les impacts de ce dispositif en zones à climat chaud et sec. Ils ont prouvé que l'utilisation de ce type de façade a une grande contribution sur l'amélioration et la préservation des conditions du confort thermique pendant la période hivernale et estival. La double façade ventilée est considérée comme une enveloppe multifonctionnelle qui permet d'améliorer les conditions du confort thermique, minimiser la consommation énergétique et génère un aspect esthétique.

Grâce à cette étude, l'utilisation de la double façade ventilée est recommandée en zones chaudes et sèches. Nous croyons que l'objectif défini au début de ce travail a été atteint. A travers ce travail on a tenté de rapprocher le concept de la double façade ventilée dans l'enveloppe architecturale et son effet sur le confort thermique à partir du traitement de quelques paramètres de conception de la double façade ventilée dans l'enveloppe architecturale sans pour autant spécialisé l'étude de chaque élément laissant une ouverture vers d'autres recherches d'optimisation dans le contexte actuel et l'enjeu universel de l'utilisation des solutions passives et la préservation de l'environnement.

## 1. Les recommandations.

Le principal inconvénient de ce système de double façade ventilée est que, dans les pays à gains solaires élevés, la température de l'air à l'intérieur de la cavité augmente pendant les périodes de forte chaleur, ce qui entraîne des problèmes de surchauffe. La façade double peau doit être conçue pour un emplacement de bâtiment et une orientation de façade donnés, sans quoi les performances du système ne seront pas satisfaisantes.

Les paramètres de conception qui doivent être étudiés pour améliorer les performances de la façade et assurer une consommation d'énergie réduite et un bon environnement intérieur sont les suivants :

- Conception et type de la façade.
- Conception structurelle de la façade.
- Géométrie de la cavité.
- Utilisation de l'air à l'intérieur de la cavité - type de ventilation de la cavité.
- Principes d'ouverture de la cavité, de l'intérieur et de la façade extérieure.
- Type de vitrage, d'ombrage et d'éclairage.
- Choix du matériau pour les vitres et les dispositifs d'ombrage.
- Positionnement des dispositifs d'ombrage.

Les expériences des systèmes de façade double peau en zone chaude sont optimales lorsque les bâtiments sont orientés vers le nord et le sud, avec des systèmes d'ombrage horizontal et des fenêtres à ouverture automatique, ainsi qu'une largeur de cavité égale à 30cm, ce qui permet d'obtenir de meilleurs résultats.

Du système d'ombrage, ventilation naturelle, durabilité et efficacité énergétique, la meilleure configuration est (1m) dans un climat chaud et aride à l'est orientation.

## 2. Les limites de la recherche.

- Les moyens utilisés ne sont pas suffisants dans l'accomplissement de cette mission.
- Cette recherche a été contrainte par le temps empêchant ainsi d'approfondir les connaissances.

## 3. Les pistes des recherches futures.

Les résultats de cette étude ouvrent plusieurs axes de recherches d'actualité, des possibilités d'études et d'optimisations. Elle reflète un souci visant l'amélioration du confort thermique à l'intérieur des bâtiments à travers la diapositive de la double façade ventilée où la préservation de notre environnement est devenue un enjeu universel à travers une meilleure gestion du domaine de la construction.

L'étude de ce genre de façade est très vaste vu la multiplicité des paramètres influant sur son comportement (le type de ventilation, le compartimentage de la cavité, l'épaisseur du canal, etc.), dans le but de compléter cette étude dans tous les côtés qui affectent le confort thermique. Il faudrait tenir compte d'autres paramètres ouvrant des axes de futures recherches qui permettront d'élucider les ambiguïtés et d'enrichir ce domaine très important.

## BIBLIOGRAPHIE.

### Livres :

- **CARLES, B.** (2011). Façade conception et design, Chine : LINKS.
- **DANIEL, B et al.** (1997). Anatomie de l'enveloppe des bâtiments, Paris : Le Moniteur.
- **HARRIS, P.** (2006). Double Skin Façades, Suède : Université de Lund.
- **SAMUEL, C et JEAN-PIERRE, O.** (2007). La conception bioclimatique des maisons confortables et économes, France : Terre vivante.
- **CAROL, M.** (2007). 25 Centres commerciaux, Paris : Le Moniteur.
- **ALI, H.** (1995). Principes de conception des réalisations commerciaux, Syrie : Dar El Salam.
- **STEPHANIE, G et al.** (2010). Histoire de la recherche sur l'enveloppe du bâtiment, France : L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie ADEME.

### Articles :

- **FAGGAL, A.** (2014). « Double skin façade effect on thermal comfort and energy consumption in office buildings », tiré de :  
[www.researchgate.net/publication/312040800\\_Double\\_Skin\\_Facade\\_Effect\\_on\\_Thermal\\_Comfort\\_and\\_Energy\\_Consumption\\_in\\_Office\\_Buildings](http://www.researchgate.net/publication/312040800_Double_Skin_Facade_Effect_on_Thermal_Comfort_and_Energy_Consumption_in_Office_Buildings).
- **NEVEEN, H et ISLAM, A.** (2013). « Non-uniform double skin façade cavities: an exploratory study on cavity heat stratification and daylight levels indoors », tiré de: [eprint.ncl.ac.uk/195977](http://eprint.ncl.ac.uk/195977).
- **ARDH, Y, FIROOZE, R et Foad, F.** (2014). « Classification of double skin façade and their function to reduce energy consumption and create sustainability in buildings », tiré de :  
[www.researchgate.net/publication/293333056\\_Classification\\_of\\_Double\\_Skin\\_Facade\\_and\\_Their\\_Function\\_to\\_Reduce\\_Energy\\_Consumption\\_and\\_create\\_sustainability\\_in\\_Buildings/link/56df37cc08ae979addef55cf/download](http://www.researchgate.net/publication/293333056_Classification_of_Double_Skin_Facade_and_Their_Function_to_Reduce_Energy_Consumption_and_create_sustainability_in_Buildings/link/56df37cc08ae979addef55cf/download).
- **JESSE, R et NANAKO, U.** (2010). « Case study : O-14 flooded exoskeleton », tiré de : [global.ctbuh.org/paper/27](http://global.ctbuh.org/paper/27).
- **KHEIR, A.** (2018). « Sustainability and the 21<sup>st</sup> century vertical city: a Review of design Approaches of Tall Buildings », tiré de :  
[webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Tgpw0tpRf04J:https://res.mdpi.com/buildings/buildings-08-00102/article\\_deploy/buildings-08-00102v3.pdf%3Ffilename%3D%26attachment%3D1+%&cd=8&hl=fr&ct=clnk&gl=dz&client=firefox-b-d](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Tgpw0tpRf04J:https://res.mdpi.com/buildings/buildings-08-00102/article_deploy/buildings-08-00102v3.pdf%3Ffilename%3D%26attachment%3D1+%&cd=8&hl=fr&ct=clnk&gl=dz&client=firefox-b-d).
- **JEAN, N.** (2012). « La tour de bureau de Doha », tiré de :  
[webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:agUALNWb61gJ:https://s3.amazonaws.com/media.archnet.org/system/publications/contents/10761/original/DTP103146.pdf%3F1476107187+%&cd=2&hl=fr&ct=clnk&gl=dz&client=firefox-b-d](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:agUALNWb61gJ:https://s3.amazonaws.com/media.archnet.org/system/publications/contents/10761/original/DTP103146.pdf%3F1476107187+%&cd=2&hl=fr&ct=clnk&gl=dz&client=firefox-b-d)



## Thèses :

- **YASMINA, B.** (2019). Caractérisation du confort thermique estival dans les chambres des malades. Cas des hôpitaux de Biskra (Phd, Université Mohamed Khider, Biskra), tiré de : [thesis.univ-biskra.dz/4022/1/Thèse%20BESBAS%20Yasmina.pdf](http://thesis.univ-biskra.dz/4022/1/Thèse%20BESBAS%20Yasmina.pdf).
- **KHADRAOUI, M.** (2019). Etude et optimisation de la façade pour un confort thermique et une efficacité énergétique. Cas des bâtiment tertiaires dans un climat chaud et aride (Phd, Université de Mohamed Khider, Biskra), tiré de : [thesis.univ-biskra.dz/4017/](http://thesis.univ-biskra.dz/4017/).
- **BERKOUK, D.** (2017). Evaluation du confort thermique et lumineux dans le logement collectif : Etude comparative entre social et promotionnel, dans la ville de Biskra (Phd, Université de Mohamed Khider, Biskra), tiré de : [thesis.univ-biskra.dz/2972/](http://thesis.univ-biskra.dz/2972/)
- **MOUJALLED, B.** (2007). modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés (Phd, L'Institut des Sciences Appliquées de Lyon, France), tiré de : [theses.insa-lyon.fr/publication/2007ISAL0005/these.pdf](http://theses.insa-lyon.fr/publication/2007ISAL0005/these.pdf).
- **SAFER, N.** (2006). Modélisation des façades de type double peau équipées de protections solaires : Approche Multi-échelle (Phd, Institut National des Sciences Appliquées. Lyon, France), tiré de : [theses.insa-lyon.fr/publication/2006ISAL0028/these.pdf](http://theses.insa-lyon.fr/publication/2006ISAL0028/these.pdf).
- **MAZARI, M.** (2012). Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public (PhM, Université Mouloud Mammouri de Tizi Ouzou, Algérie), tiré de : <https://dl.ummtto.dz/handle/ummtto/834>.

## Cours :

- **NOHA, S.** (2010). La notion de confort thermique entre modernisme et contemporain. Grenoble : école nationale supérieur d'architecture.
- **HAMEL, K.** (2005). Le confort thermique. Biskra : Université Mohamed Khider Biskra.

## Sites Web :

- **CERTU.** (2003). Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques. CERTU. Consulté le : 21 Octobre 2018, tiré de : [www.certu.fr](http://www.certu.fr).
- **Emilie.** (2009). Enveloppant enveloppé, l'espace de l'entre deux. Consulté le : 01 Octobre 2018, tiré de : [http://lespacedelentredeux.blogspot.com/2009/03/introduction\\_17.html](http://lespacedelentredeux.blogspot.com/2009/03/introduction_17.html).
- <https://www.archdaily.com/>.
- <https://www.arch2o.com/>.
- <https://www.sunearthtools.com/>.
- <https://www.designboom.com/>.
- <https://www.pca-stream.com/fr/>.
- <http://pad10.com/main/>.
- <https://www.aeroville.com/>.
- <http://argetejari.com/>.
- <http://www.parkmallsetif-dz.com/>.
- <http://www.babezzouar-dz.com/>.
- <https://www.liverpool.com.mx/tienda/home.jsp>.

## ANNEXES.

## 1. Les tables de MAHONEY.

## TABLES DE MAHONEY : DIAGNOSTIC

TABLE 1 : TEMPERATURES

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temp.Moy. Max	17,04	19,5	23,6	26,77	31,04	37,02	40,81	39,54	33,89	29,14	21,77	17,51
Temp. Moy. Min	7,1	8	11,8	15	20	24,7	27,6	27,8	23,3	18	11,9	7,8
E.D.T.	9,94	11,5	12,3	11,77	11,04	12,32	13,21	11,74	10,59	11,14	9,87	9,71

La + haute	TAM
40,81	23,95
7,1	33,71
La - basse	EAT

TABLE 2 : HUMIDITE, PLUIE, VENT

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Humidité Rel. Max	79,1	69,5	63,8	52,7	51,8	46,2	41,5	46,3	58,6	61,5	73,3	79,3
Humidité Rel. Min.	39	29,4	24,9	20,7	20,6	17,6	16	17,8	25,7	29,8	36,1	40,5
Humidité Rel. Moy.	59,3	47,9	41,9	38,1	33,1	28,8	26	29,6	39,6	46,5	53,5	60,8
Groupe (G.H.)	3	2	2	2	2	1	1	1	2	2	3	3
Pluie (mm)	28,09	5,2	16,6	22,83	9,93	4,33	0,38	4,07	8,53	10,14	18,6	14,53
Vent (directions)	Dominant											
	secondaire											

G.H.	
≤ 30%	1
30-50	2
50-70	3
≥ 70	4

Total annuel pluies

143,23 mm

TABLE 3 : CONFORT

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Groupe Hygro (G.H.)	3	2	2	2	2	1	1	1	2	2	3	3
Températures												
Moy. Mens. Max.	17,04	19,5	23,6	26,77	31,04	37,02	40,81	39,54	33,89	29,14	21,77	17,51
Confort diurne	Maxi	29	31	31	31	34	34	34	31	31	29	29
	Mini	23	25	25	25	26	26	25	25	25	23	23
Moy. Mens. Mini	7,1	8	11,8	15	20	24,7	27,6	27,8	23,3	18	11,9	7,8
Confort nocturne	Maxi	23	24	24	24	25	25	25	24	24	23	23
	Mini	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Stress thermique												
Jour	F	F	/	/	/	C	C	C	C	/	F	F
Nuit	F	F	F	F	/	/	C	C	/	/	F	F

C : trop chaud  
/ : confort  
F : trop froid

## Limites de confort (à partir de TAM)

Humidité	G.H.	TAM > 20		15 < TAM < 20		TAM < 15		G.H.
		Jour	Nuit	Jour	Nuit	Jour	Nuit	
0 - 30	1	26 - 34	17 - 25	23 - 32	14 - 23	21 - 30	21 - 30	12 - 21
30 - 50	2	25 - 31	17 - 24	22 - 30	14 - 22	20 - 27	20 - 27	12 - 20
30 - 70	3	23 - 29	17 - 23	21 - 28	14 - 21	19 - 26	19 - 26	12 - 19
> 70	4	22 - 27	17 - 21	20 - 25	14 - 20	18 - 24	18 - 24	12 - 18

TABLE 4 : INDICATEURS

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
H1 ventilation essentielle													
H2 Ventilation désirable													
H3 Protection pluie													
A1 Inertie thermique		x	x	x	x	x	x	x	x	x			9
A2 Dormir dehors							x	x					2
A3 Prob. Saison froide	x	x									x	x	4

	Stress Thermique	G.H.	EDT	Pluie
H1	C diurne	4		
	C diurne	2 - 3	-10°	
H2	/ Autom	4		
H3				+200
A1	C nocturne	1 - 2	+10°	
	C diurne C nocturne	1 - 2	+10°	
A3	/ Autom			
	F nocturne			

## Les recommandations des tables de MAHONEY :

### TABLES DE MAHONEY : RECOMMANDATIONS

#### 1. Plan masse

H1	H2	H3	A1	A2	A3	
			0-10 X			Bâtiments orientés suivant un axe longitudinal est-ouest afin de diminuer l'exposition au soleil.
			11 ou 12		5-12	Plans compacts avec cours intérieures
					0-4 X	

#### 2. espacements entre bâtiments

11 ou 12						Grands espacements pour favoriser la pénétration du vent
2-10						Comme ci-dessus mais avec protection contre vent chaud/froid
0 ou 1 X						Plans compacts

#### 3. Circulation d'air

3-12						Bâtiments à simple orientation. Dispositions permettant une circulation d'air permanente.
1 ou 2			0-5			Bâtiments à double orientation permettant une circulation d'air intermittente.
	2-12		6-12 X			
0 X	0 ou 1 X					Circulation d'air inutile

#### 4. Dimensions des ouvertures

			0 ou 1		0	Grandes, 40 à 80% des façades nord et sud.
					1-12	Moyennes, 25 à 40 % de la surface des murs
			2-5			
			6-10 X			Intermédiaires, 20 à 35 % de la surface des murs.
			11 ou 12		0-3 X	Petites, 15 à 25% de la surface des murs.
					4-12	Moyennes, 25 à 40 % de la surface des murs.

## 5. Position des ouvertures

3-12						Ouvertures dans les murs nord et sud, à hauteur d'homme du côté exposé au vent.
1 ou 2			0-5			Comme ci-dessus, mais y compris ouvertures pratiquées dans les murs intérieurs.
	2-12		6-12 X			
0 X	0 ou 1 X					

## 6. Protection des ouvertures

					0-2	Se protéger de l'ensoleillement direct
		2-12				Prévoir une protection contre la pluie

## 7. Murs et planchers

			0-2			Constructions légères, faible inertie thermique
			3-12 X			Construction massive, décalage horaire supérieur à 08 heures

## 8. Toiture

10-12			0-2			Construction légères, couvertures à revêtements réfléchissants et vide d'air.
			3-12			Légère et bien isolée
0-0			0-5			Construction massive, décalage horaire supérieur à 08 heures
			6-12 X			

## 9. Espaces extérieurs

				1-12 X		Emplacement pour le sommeil en plein air
		1-12				Drainage approprié des eaux de pluie
		3-12				



## 2. Les températures moyennes de Biskra des mois de juin, juillet et août de la période 2000-2015.

### Températures moyennes du mois de juin de la période 2000-2015.

Juin	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Moyenne
1	32,2	32,1	29,8	30,7	28,3	31,3	22,9	29,2	30,4	29,5	30,5	25,8	29,3	14,8	29,8	26,3	<b>28,30</b>
2	30,8	30,4	32,1	31	29,6	31,4	20,8	26,9	27,9	29,8	31,5	23,6	30,1	23	23,3	26,2	<b>28,02</b>
3	28,2	31,6	31	29,4	30,6	34,9	22,1	22,1	26,4	29,1	31,1	24,4	30,5	27,2	24,9	26,2	<b>28,10</b>
4	27,2	32,9	32,3	29,3	26,8	25,6	22,6	24	25,3	29	31,5	26	32,8	27	24,9	26,9	<b>27,75</b>
5	28,9	28,2	30,1	29,2	25,4	31	23,8	24,5	27	31,3	28,2	25,8	31,4	28,5	27,2	31,1	<b>28,22</b>
6	31,4	32,4	29	30,4	27,2	32,5	26,4	29,6	27,6	32,1	29,2	28,6	30,6	30,4	29,1	28,5	<b>29,68</b>
7	28,5	35	28,5	31,5	29,7	31,8	28	34,1	27	30,9	31,8	27,5	33,8	28,3	30,3	30	<b>30,41</b>
8	26,8	28,1	27,8	31,1	29,9	30,2	28,9	31,1	26,2	30	32,5	26,1	27	28,6	31,4	29,6	<b>29,08</b>
9	28,6	27,4	25	30,8	32,5	27,8	29,9	28,1	27,3	32,1	35,7	26,4	34	28,8	29,9	30	<b>29,64</b>
10	28,2	26,1	25,4	30,2	29,7	27,4	29,9	30,3	28,4	32,8	39,2	36,2	31,5	27,5	30	31,2	<b>30,25</b>
11	24,9	26,1	28,4	30,7	26,4	28,6	28,3	31,6	28,2	30,2	34,8	28,1	25,1	27,9	29,1	33,8	<b>28,88</b>
12	25,3	31,3	29,2	31,3	27,9	31,4	26,2	30,3	29,1	34,7	31,7	27,4	32,5	28,3	29,3	38,4	<b>30,268</b>
13	27	32,3	29,7	31,3	29,8	29,8	26,8	34,1	33,2	33,1	32,1	34,1	32,5	29,2	29,2	30	<b>30,88</b>
14	27,9	29,9	29,4	33,9	31,2	30,2	28,8	33,2	29,1	33,1	31,6	30,8	32,9	30,6	24,8	32	<b>30,58</b>
15	29	30,4	30,4	32,1	25,6	31,7	30,2	34,5	29,2	30,5	28,1	30,5	34,1	31,5	29,6	32,2	<b>30,6</b>
16	29,3	31,1	31,2	32	22,7	28,9	32,9	33	33,2	31,9	29,3	28,5	37,6	33,5	31,2	31,8	<b>31,08</b>
17	31,2	33,4	31,6	34,4	24,8	28,1	36,7	32,4	37,9	31,1	31,8	30	34,5	33,4	28,6	30	<b>31,99</b>
18	29,8	30,7	32,2	30,2	27,2	27,2	36,4	34,3	35,5	31,5	32,3	32,6	32,4	34,9	28,8	29,2	<b>31,57</b>
19	31,3	28,2	33,5	31,5	28	27,6	35,1	38,3	32,2	32,2	30,5	34,4	34,4	33,8	29,5	29,1	<b>31,85</b>
20	30,3	28,9	34,7	31,8	30,6	29	31	37,3	30,7	33,8	28,2	32,1	35,5	33	33,6	30	<b>31,90</b>
21	29,7	29,4	34	30,8	31,3	32	35,1	37,5	30,9	33,1	27,9	32,3	38,1	33,4	33,5	30,3	<b>32,45</b>
22	30	30,4	32,3	32	33,1	33,2	34,4	37,9	31,5	30,6	27,8	31,8	37,2	33	32,5	29,5	<b>32,32</b>
23	30,1	31,2	32,5	32,5	34,4	32,2	36,9	39,9	31,7	30,5	26,9	31,8	37,2	36,4	31,2	32,8	<b>33,01</b>
24	31,8	33,6	32,6	33,1	34,2	32,4	37,4	38,6	38,2	32	29,7	32,7	37,3	30,5	35,9	35,8	<b>34,11</b>
25	33,5	32,2	21,4	33	34,1	33,9	37,2	36,2	30,1	32,6	31,4	33,9	34,6	29,5	33,1	33,3	<b>32,5</b>
26	33,4	35,8	33,7	32,8	34,6	36,2	37,6	35,7	34,7	32,7	30,4	32,7	34	30,1	30,4	31,4	<b>33,51</b>
27	34,7	35,8	35,8	33,9	35	37,1	40,3	35,3	33,3	31,5	30	30,5	34,2	28,6	29,8	31,5	<b>33,58</b>
28	38	35,8	36,6	35	33,8	36,3	39,8	32,6	31,9	31,1	31,2	29,7	35,8	27,5	31,9	30	<b>33,56</b>
29	37,9	32,6	36,8	35,8	33,2	36,9	38,2	33,2	32,4	32,8	30,9	32,6	37	27,6	33,6	33,5	<b>34,06</b>
30	35,8	31,5	36,8	37,4	32,4	35,7	38,2	34,1	32,3	33,5	32,8	35,5	36,7	28,9	33,8	33	<b>34,27</b>

### Températures moyennes du mois de juillet de la période 2000-2015.

Juillet	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Moyenne
1	34,4	30,6	39,3	35,9	33,2	36,5	36,9	33,3	32	32,2	31,2	35,5	34,8	29,1	30,1	33	<b>33,62</b>
2	36	33,5	33,1	36,9	33,9	35,3	35,3	33,2	32,8	33	32,9	34,2	34,1	29,2	32,5	31,8	<b>33,60</b>
3	34,8	32,2	32,9	38,6	35,2	33,5	35,1	33,8	34,6	34,9	34,2	35,2	35,2	32,9	34,6	32,1	<b>34,36</b>
4	34	35,2	33,8	37,9	28,7	36,2	37,9	34,5	37	35,3	33,2	34,6	36,2	33,6	38	30	<b>34,75</b>
5	33,4	38,1	34,4	34,2	32,8	34	37,3	35,4	37,7	35,9	35,1	35,2	36,9	32,2	38,2	31	<b>35,11</b>
6	32,6	40,1	35,8	34,5	35,5	27,4	35,9	31,2	37	35,9	33,9	31,9	37,5	30,4	34,9	30,4	<b>34,05</b>
7	40	40,7	39,4	36	35,1	38,2	36,5	31,5	38,3	35,9	32,9	32,8	38,6	30,8	36,1	30,6	<b>35,83</b>
8	35,1	38,8	36	34	33,1	34,4	38,5	39,4	39,8	38,6	34,1	34,1	29,3	31,7	38	32,5	<b>35,46</b>
9	34,8	36,1	36,4	32,9	32,5	35,3	33,3	36,1	40,5	36,1	33,8	35,9	39,1	32,6	33,8	34,2	<b>35,21</b>
10	33,2	38,4	37,1	34,8	31,6	38	32,6	33,6	40,2	34,2	34,4	33,8	37,8	40,8	34	32,4	<b>35,43</b>
11	34,7	37,3	37,1	33,9	33,3	34,2	31,4	32,1	40,6	32,4	37,2	36,1	39,8	32,6	30,4	33,9	<b>34,87</b>
12	32,6	34,2	39,4	34,2	34,1	33,5	31,9	28,9	40,9	34,1	34,2	37,4	39,5	34,1	30,6	33	<b>34,53</b>
13	29,4	34,5	36	33,9	31	31,6	33	29,4	39,5	35,4	35,1	37,8	40	38,2	33,6	33,8	<b>34,51</b>
14	30,4	36,1	31,7	35	28,8	32,4	34,5	31,4	38,1	36,4	38	35,3	39,5	36,6	33,2	35,2	<b>34,53</b>
15	32,3	38,9	28	37,8	27,4	33,8	35	32,2	33,9	35,7	36,2	32,1	39,1	33,1	34	34,2	<b>33,98</b>
16	31,1	38,4	29,9	38,4	29,8	33,5	33,4	31,2	34,3	36,3	36,8	34,1	35,8	33,6	32,8	33,1	<b>33,90</b>
17	39,8	35,6	31,9	38,8	30,8	34,8	32	30,5	34,5	37	37,1	35,6	34,8	34,9	33,5	33,2	<b>34,67</b>
18	37,9	33,1	34,2	33,4	34,5	36	31,2	31,5	37,3	36,4	38,8	35,2	31,6	34,2	32,2	33,8	<b>34,67</b>
19	36,1	34,3	33,1	38,3	35	35,9	32,2	33,1	35,3	31,7	36,9	38,5	32	33,4	33,4	33,2	<b>34,45</b>
20	32,2	32,8	34,3	37,1	31,9	35,5	33,2	34	34,2	33,1	35	36,2	34,1	34,8	35,9	35,8	<b>34,52</b>
21	34,4	30,2	33,6	36,9	34,3	34,6	33,6	34,3	35,9	35,2	36,2	33,5	36,1	37,5	35,1	35,3	<b>34,38</b>
22	33,9	32,4	35,1	36,1	36	35,5	33,5	34,6	36,7	32,1	37,4	36,7	35,1	37	31,5	37,2	<b>34,79</b>
23	31,9	35,7	37,5	35	34,4	37,5	33,4	35	32,5	36,5	38,8	35,3	30,1	34,9	31,5	35,5	<b>35,05</b>
24	30,9	36	36,8	35,8	34,6	35,2	33,9	34,7	32,9	36	37,7	32,6	29	33,8	33,2	33,4	<b>34,71</b>
25	33,6	38,5	31,4	36,1	36,3	39,2	35,5	35,2	35,7	36,8	35,3	30	30,5	34,8	36	35,1	<b>34,15</b>
26	36,5	34,7	35,2	37,5	33,8	40,7	35,5	34,3	36,9	37,3	31	29,6	34,1	36	38	36,5	<b>35</b>
27	35,3	34,1	30,5	38,6	30,8	40,1	35,6	34,2	33,7	35,7	30,4	31,1	37,4	37,6	38,2	36,1	<b>35,47</b>
28	38,2	36	31,1	33,5	31,1	32,2	34	34,4	33,8	37,4	36,8	33,8	37,2	36,8	33,2	36,4	<b>34,96</b>
29	36	38,5	36,1	36,4	31,9	38,5	36	33,8	34,6	37,7	34,4	33,8	38	34,8	36,5	37,1	<b>34,74</b>
30	33,2	37,5	32,4	35,4	33,9	37,9	36,4	34,6	34,2	37,4	33,5	32,7	38,3	35,8	35	37,4	<b>35,88</b>
31	33,9	37,3	38,5	33,8	32,8	37,8	34,4	33,6	34	33,8	34,9	32,8	36,8	33,6	33,2	37,6	<b>35,35</b>

## Températures moyennes du mois d'Août de la période 2000-2015.

<b>Août</b>	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	<b>Moyenne</b>
<b>1</b>	31,5	34,1	33,4	35	32,4	39,6	35,5	34,1	35,2	34	33,3	31,9	36,1	33	33	37,7	<b>34,36</b>
<b>2</b>	31,1	34,1	35,8	30	33,5	39,2	36,6	33,6	34,9	34,5	34,5	34,7	37,3	32,5	36,5	38,8	<b>34,85</b>
<b>3</b>	32,2	34,1	38,6	27,3	35,3	36,4	35,8	34,3	35,2	36,1	36,2	35,3	39,5	33,2	37,8	38,8	<b>35,38</b>
<b>4</b>	37,2	35,3	38,7	32	34,8	33,5	36	35,5	34,3	35	34,3	34,7	37,8	32,8	37,4	35,4	<b>35,29</b>
<b>5</b>	31,9	35,5	38	32,2	34,9	32,4	31,6	33,9	36,2	34,1	31,9	35,5	39	33,6	38	36,2	<b>34,68</b>
<b>6</b>	28,6	34,2	39,2	32,6	33,2	29,5	32,8	31,3	34,2	33,6	32,1	35,2	39,9	33,9	33,7	37,2	<b>33,82</b>
<b>7</b>	29	33	38,4	30	33,1	30,6	32,9	32,8	34,5	34,2	35,6	36,6	37,4	34,9	32,6	35,8	<b>33,83</b>
<b>8</b>	30,2	32,5	33,1	34	30,8	33,7	31,1	37,6	35,4	35,4	34,6	39,4	37,5	33,1	32,2	35,4	<b>34,12</b>
<b>9</b>	33	34,2	33,5	35,6	35,1	35,1	29,6	35,2	35,6	35,2	32,8	38,2	38	33,7	32,8	35,4	<b>34,56</b>
<b>10</b>	32,2	37	32,8	32,8	39,9	35,5	28,8	27	33,8	36,1	32,1	33,4	38,7	31,9	34,4	35,4	<b>33,86</b>
<b>11</b>	30,5	36,8	36,4	32,5	37,8	37,2	28,4	30,4	34,1	35	34	31,1	38,5	31	31,1	34,2	<b>33,68</b>
<b>12</b>	32,1	33,9	28,1	33,1	37,5	37,5	33,3	31,8	35,7	35,6	34,4	32,5	34,2	30,6	38	36,5	<b>34,05</b>
<b>13</b>	34,2	32,1	30	31,9	38,1	34,8	35,5	34,1	37,9	38,5	35	32,8	36,6	32,5	38,3	35,4	<b>34,85</b>
<b>14</b>	32,6	33,1	33,7	32,2	35,6	36,2	32,6	34,2	37,5	37,9	35,4	34,8	37,2	33,8	37,8	34,2	<b>34,92</b>
<b>15</b>	32,4	33,1	35,1	30,4	34,8	35,2	34	33,8	37,8	38,8	34	36,2	35,9	32,3	34,5	32	<b>34,39</b>
<b>16</b>	30,9	33,2	34,8	33,5	34	36,8	34,6	34,6	32	39,1	34,6	32,9	37,3	32	33,9	33,2	<b>34,21</b>
<b>17</b>	32,3	33,5	33,6	36	35,4	35,5	35,7	36,1	31,6	36	34,1	33,1	39,9	33,4	33	31	<b>34,38</b>
<b>18</b>	34,5	35	32,5	33,7	37,3	36,6	35,2	36,2	35	33,9	34,7	32,9	35,9	28,8	32,2	34	<b>34,27</b>
<b>19</b>	36,2	35	31,8	34,1	37,1	38,2	40,3	39,2	35,1	33,7	37,8	32,8	32,5	31,5	34,9	33	<b>35,2</b>
<b>20</b>	35,4	33,2	31,6	34,9	37,8	35	37,9	35,1	36,5	32,7	36,1	32,5	32,6	33	35,6	31,5	<b>34,66</b>
<b>21</b>	36,7	37,1	33,2	34,9	36,9	30,6	35,4	33,1	35,2	32,2	36,1	32,9	32,9	30,4	36,8	32,6	<b>34,18</b>
<b>22</b>	34,4	34,6	32,4	33,2	33,6	28	33,8	32,5	34,5	32,6	36,4	32,9	32,9	27,6	34,5	32,5	<b>32,9</b>
<b>23</b>	33,8	31,8	31,9	35,1	33,6	28,8	30,1	33,2	31,2	32,8	34,2	32,6	33,1	29,1	34,2	30,2	<b>32,23</b>
<b>24</b>	33,9	31,2	29,2	35,1	34,7	28,7	35,3	36,1	33	34	34,5	33,8	33,8	32,1	33,5	34	<b>33,30</b>
<b>25</b>	34,1	32	30,5	35,8	35,5	31,5	36,5	32,1	32,2	35,3	36,4	34,2	33,8	33,2	32,4	35,9	<b>33,83</b>
<b>26</b>	34,3	33,4	32,4	36,2	35,3	31,7	33,6	33,3	32,7	36,2	34,5	34,2	35,6	34	33,1	33,3	<b>33,98</b>
<b>27</b>	35	33,6	30,8	34,8	33,3	33,2	31,9	30,2	30,9	33,7	34,7	35	34	33,7	34,8	35,2	<b>33,42</b>
<b>28</b>	35,5	35	29,7	37	29,5	34,5	31	34,5	30,9	32	35,1	33,3	31,7	32,5	34,2	32,8	<b>33,07</b>
<b>29</b>	34,9	33,9	26,1	39,2	30	30,8	31,9	34,4	31,9	31	34,4	31,9	31,4	29,8	33	30,8	<b>32,21</b>
<b>30</b>	33,8	34,2	25,7	37,3	25,6	29,2	32,8	34,1	32,6	31,8	33,5	32	32,9	32,4	33,4	29,8	<b>31,94</b>
<b>31</b>	34	34,1	31,1	32,5	30,5	28,7	32,3	31,5	33,1	31,4	31,7	33,6	32,5	30,2	32,7	31,7	<b>31,97</b>