République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mohamed Seddik BENYAHIA – Jijel
Faculté des Sciences et de la Technologie

Département d'Architecture

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

Filière :
ARCHITECTURE

Spécialité :
ARCHITECTURE ET TECHNOLOGIE

Présenté par :
Ahlam KHALEFF
Lemya KHALIL
Salima HAMRICHE

THEME :
La performance thermique de la façade ventilée dans les infrastructures de transport

Cas : Aérogare Ferhat Abbas –Achouat (Jijel)

Date de soutenance : 09/07/2019.

Composition du Jury :

Mme Nafila SMAKDJI	Grade au département d'architecture, université de Jijel, Président du jury
Mme Samira BOUKETTA	Grade au département d'architecture, université de Jijel, Encadreur
M. Fateh NEDJAR	Grade au département d'architecture, université de Jijel, Examinateur

Remerciements

Tout d'abord nous remercions ALLAH tout puissant de nous avoir Donné le courage, la volonté, la force et sur tout la patience sans les quels nous n'aurions rien pu faire. En l'implorant de toujours nous Entourer de sa bonne grâce.

*C'est avec une profonde reconnaissance et considération particulière que nous remercions notre encadreur Mme **BOUKETTA Samira** , directrice de mémoire, pour la sollicitude avec laquelle elle a suivi et guidé ce travail, pour son esprit d'encadrement, sa volonté et ses précieuses orientations combien bénéfiques et instructives et que nous tenons à remercier vivement pour tout ce qu'elle nous a appris toute l'année de préparation de ce travail.*

Nous remercierons également les membres du jury d'avoir accepté d'examiner notre manuscrit .

Nous adressons nos remerciements à tous nos enseignants(es) pour leurs générosités et leurs grandes patiences aux cours de nos études licence et master.

Nos vifs remerciements sont adressés à l'ensemble de nos collègues du département d'architecture avec qui nous avons passé des moments inoubliables.

Et enfin, un grand merci à tous ceux et celles qui nous ont aidé de prés ou de loin à l'élaboration de ce travail.

AHLEM, LEMYA, SALIMA

Dédicace

Avec joie et plaisir, fierté et respect, je dédie ce modeste travail :
Aux Personnes chères à mon cœur ***Mes parents***

**Mon père rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être, Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour ma formation.*

**Ma mère affable, honorable, aimable, tu représentes pour moi le symbole de la beauté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi*

les premières personnes qui m'ont encouragée et soutenue le long de mon chemin. Merci pour vos sacrifices, dévouement et surtout de m'avoir fait autant de confiance, de n'avoir jamais douté de mes capacités et de m'avoir inculqué les valeurs justes de la vie, avec autant de sagesse.

**A Mes chères sœurs : youssra ,rayane et la petite de la maison , l'adorable, la plus aimable douaà qui m'a donnée de l'espoir pendant les pires moments de mon chemin, je tes souhaite beaucoup de bonheur et de réussite.que dieu préservé ,Je souhaite une très bonne continuation dans leurs éducation*

**A ma chère sœur Naoual et son marie Khaled et mon neveu Rafid Habib Allah.*

**A ma chère sœur Madjda et son fiancée Nedjm el ddine. . Je tes souhaite une très bonne Continuation dans leur vie personnelle tant que professionnelle.*

**Un merci spécial à ma grand mère Taouas et ma chère tante Fatima Et a mon cousin Khaled et à tous les membres de ma famille.*

A Mes trinôme AHLEM et SALIMA qui ont participée à compléter ce travail et qui m'a tellement supporté pendant toute l'année UN profond respect et un remerciement particulier à celui qui a partagé avec moi les moments les plus beaux et les plus dures durant mes 5 années d'études.

**A toutes les personnes que j'aime et qui m'aiment.*

LEMIA K

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Affable, honorable, aimable, tu représentes pour moi le symbole de la beauté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi

Ma mère:* ***zahia*

Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être, Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour ma formation.

Mon père : Allaoi***

A qui j'ai du respect et de l'appréciation de mes yeux mon seul frère : ***Kamel*** *et sa femme* ***Amel*** *et ses enfants :**Rami ; Ritadje ;Nouna***

Aux plus petits mots dans leur description aux personnes les plus chéres sur mon cœur

Mes sœurs :* ***Samera , Nawale, Roumaissa.*

A ma sœur* ***Warda* *et son mari* ***Badro*** *et ses enfants :* ***Djamel, Siradje , Youssef ,***

A ma sœur* ***Zina* *et son mari* ***Fateh ,***

A Mon frére et mon ami* ***Hamza,*

A Mes trinôme* ***Ahlem* *et* ***Lamia*** *qui ont participée à compléter ce travail et qui m'a tellement supporté pendant toute l'année*

Tous mes amis:

**Un profond respect et un remerciement particulier à celui qui a partagé avec moi les moments les plus beaux et les plus dures durant mes 5 années d'études*

** A tous qui m'aiment et que j'aime.*

SALIMA H

Dédicace

Avant tout, je tiens à remercier le bon dieu, l'unique qui m'a donné la volonté nécessaire pour affronter les épreuves de la vie Et d'un profond amour et d'une immense gratitude je dédie ce travail à :

*⋆À mon père le plus doux et le plus merveilleux qui m'a accompagné à chaque étape de ma vie « **YAZID**". Il est mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, qui ma donne la Force de continuer sur la voie du succès.*

*⋆À ma mère la plus précieuse, qui a sacrifié son temps pour moi « **HASSINA** ». tu es pour moi le symbole de bonté, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager, ta prière m'a été d'un grand secours pour mener à bien mes études, aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que vous méritez pour tous les sacrifices.*

*⋆Pour mon frère qui était et est toujours une bougie qui éclaire mon chemin « **MOUSTAFA**».*

*⋆À ma petit sœur qu'elle est avec moi à chaque étape et à chaque instant « **OUMAYMA**».*

⋆sans oublier ma grande mère qu'elle me donne le courage et la volonté dans touts chapitres de ma vie

⋆À touts mes ancles qui sont me donné le courage et l'espoir

*⋆A Mes trinôme **SALIMA** et **LAMIA** qui ont participée à compléter ce travail et qui m'a tellement supporté pendant toute l'année*

*⋆Mes amies spécialement « **AMEL** , **FATI**, **ASMA**, **ROKIA**, **FARIDA**, **IBTISSAM** » et tous mes enseignant(e)s et collègues tout au long de mon cursus d'étude.*

⋆Tous ceux que j'aime et ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce mémoire soit possible, je vous dis merci.

AHLAM K

Table des matières

Remerciement

Dédicace

Table des matières……I

Liste des figures……II

Listes es tableaux……III

Abréviation……..IV

INTRODUCTION GENERALE

I. **Introduction**……...01

II. Problématique……01

III. **Hypothèses de recherche** …….....03

IV. Objectifs de recherche …….....03

V. Méthodologie de recherche……...04

VI. Structure du mémoire……...05

PARTIE 1 : THEORIQUE
CHAPITRE I : LE CONFORT THRMIQUE DANS LE BATIMENT

Introduction…….....06

I. Le confort thermique……06

I.1. Définition du confort …….....06

I.2. Le confort thermique……..07

I.3. Les paramètre du confort thermique…….....07

I.4. Les modes de transfert de chaleur……..08

I.5. Les paramètres affectant le confort thermique……...09

I.5.1. Les paramètres liés à l'ambiance extérieure…….....09

I.5.1.a. La température de l'air (Ta)……..09

I .5.1.b. La température des parois (TP)……10

I.5.1.c. L'humidité relative de l'air (HR)……...10

I.5.1.d. La vitesse de l'air……..11

I.5.2. Paramètres liés à l'individu……11

I.5.2.a. L'activité……...11

I.5.2.b. La vêture (habillemen)……11

I.5.3. Les paramètres liés aux gains thermiques internes……12
I.6. Les Procédés du confort thermique ……..…13
I.6.1.L'implantation……..……13
I.6.2. La ventilation naturelle…….13
I.6.3. La forme…….…. 13
I.6.4.L'orientation……..…….…. 14
I.7. Evaluation de confort thermique…….….….. 14
I.7.1. Indices pour l'évaluation de confort thermique……...……14
I.7.1.a. Les indices PMV et PPD……..15
I.7.1.b. La température de l'air ambiant (Ta)……..…16
I.7.1.c. La température opérative (Top)……17
I.7.2.L'évaluation de confort thermique par les enquêtes in situ……17
I.7.3. L'évaluation de confort thermique par outils graphique…….....18
I.7.3.a. La méthode d'Olgay……18
I.7.3.b. Diagramme de Givoni…….....20
I.7.3.c. Tables de Mahoney……...……21
Conclusion……21

CHAPITRE II: IMPACT DE LA FAÇADE VENTILEE SUR LE CONFORT THERMIQUE

Introduction.....22
I. Façade ventilée ……22
I.1. Définition…….....22
I.2. Historique……...22
I.3. Principe de la façade ventilée……23
I.4. Les déférents Composants d'une façade ventilée ……..24
I.4.a. Revêtements……..24
I.4.b. Fixation…….....24
I.4.c. La chambre à air……...24
I.4.d. L'isolation…….....25
I.4.e. Le mur intérieur…….....25
I.5. Structure de construction……...25
I.6. Types de la façade ventilée……26
I.6.a. Le type des matériaux……..…26
I.6.b. Le type de finition appliqué……27
I.6.c. Le type de fixation des panneaux au mur……27

I.7. Système de fixation (Profils, Equerres et Agrafes)……....27
I.8. Installation de la façade ventilée……30
I.9. Efficacité énergétique de la façade ventilée……31
I.10. Avantages de façade ventilée……...32
I.11. Inconvénients de façade ventilée…….33
I.12. Comment envisager une façade ventilée ?.....33
Conclusion……...…34

PARTIE II : PRATIQUE

CHAPITRE III : METHODOLOGIE ET INVESTIGATION

Introduction…….35
I. Présentation de la ville de Jijel…….…..35
I.1.Situation et limite…….35
I .2. Climat……36
I .2.1. Les températures…….36
1.2. 2.L'humidité……..….36
1.2.3. Le vent……..37
I.2.4. Les précipitations……..38
II. Choix du cas d'étude…….38
III. Types d'infrastructures de transport…….38
III.1. Infrastructures routières…….…….39
III.2. Gare ferroviaire…….……..39
III.3. Gare métro……..40
III.4. Gare multimodale…….……..41
III.5. Infrastructure portuaire…….……..41
III.6. Infrastructure aéroportuaire…….……..42
IV. Critères du choix……. 42
V. Présentation du cas d'étude……..44
V.1. Situation……44
V.2. Fiche technique et limites du projet……..44
V.3. Caractéristique de l'aéroport……..…45
V.4. Organisation de projet……...…45
V.5. Plan de masse de projet…….…45
V.6. Présentation architecturale du cas d'étude……...….45
V.7. Les matériaux de construction……...47

VI. Méthodologie de travail……49
VI.1. Investigation…….49
VI.1.1. Objectif de la campagne de mesures…….…49
VI.1.2. Instrument de mesure……49
VI.1.3. Etalonnage des instruments de mesure…….……50
VI.1.4. Choix des points des mesures……...……50
VI.1.5. Choix des jours des mesures…….52
VI.1.6. Déroulement de l'investigation……52
VI.1.7. Analyse et interprétation des résultats de l'investigation……..…53
VI.1.7.1. Evaluation de la température de l'air et l'humidité relative (période hivernale)……...53
VI.1.8. Synthèse……55
Conclusion……..…….55

CHAPITRE IV : EVALUATION DE LA PERFORMANCE THERMIQUE DE LA FAÇADE VENTILEE

Introduction…….56
I. Présentation de la technique d'étude utilisée……56
I.1.L'outil de travail……..56
I.2. Objectif de l'étude……...…56
I.3. Argumentation du choix du logiciel de simulation…….…57
I.4. Présentation de logiciel de simulation TRNSYS 17 ……57
II. Déroulement de la simulation…….…..58
II.1. Démarches de la simulation……..58
III. Résultat de la simulation du cas initial……...63
III.1. Evaluation de la température de l'air……63
III.2. Evaluation d'humidité relative…….....65
IV. Résultat de la simulation du scénario proposé (avec façade ventilée)……...…66
IV.1. Evaluation de la température de l'air…….…...66
IV.2. Evaluation d'humidité relative……..…67
V. Simulation de la consommation énergétique……..…68
V.1. Evaluation de la température avec le chauffage…….…..…68
V.2. Evaluation de la consommation annuelle de chauffage …….…....69
V.3. Evaluation de la température avec la climatisation……..…....70

V.4. Evaluation de consommation annuelle de climatisation ……..71

V.5. Consommation énergétique annelle totale……71

V.6. Synthèse……72

Conclusion……72

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale……....73

Références bibliographique

Annexes

Résumé

Summary

ملخص

Tables des figures

Partie théorique		
Chapitre I : le confort thermique dans le bâtiment		
Numéro de figure	**Titre**	**Page**
Fig. I.1	Les échanges thermiques entre l'ambiance et l'homme	8
Fig. I.2	Les modes de transferts de chaleur	9
Fig. I.3	Le métabolisme humain.	11
Fig. I.4	Valeur exprimée en Clo des tenues vestimentaire.	12
Fig. I.5	les gains thermiques internes d'un espace.	12
Fig. I.6	Correspondances entre PMV et PPD.	16
Fig. I.7	Diagramme bioclimatique	19
Fig. I.8	diagramme psychrométrique de Givoni	20
Chapitre II :l'impact de la façade ventilée sur le confort thermique		
Fig. II.1	Schématisation du principe de fonctionnement de la façade ventilée.	23
Fig. II.2	schéma représentant la circulation d'air	24
Fig. II.3	Les composants de la façade ventilée.	25
Fig. II.4	Les déférents types de façade ventilée.	26
Fig. II.5	schéma représentant des profils de la fixation de la façade ventilé	27
Fig. II.6	schéma représentant les deux types des supports angulaires	28
Fig. II.7	schéma représentant les détails techniques de fixation des façades ventilées.	28
Fig. II.8	schéma représentant la fixation des systèmes visible et invisible des façades ventilées.	29
Fig. II.9	schéma représentant les étapes 1 et 2 d'installation de la façade ventilées.	30

Fig. II.10	schéma représentant les étapes 3 et 4 d'installation de la façade ventilées.	31
Fig. II.11	schéma représentant la dernière étape d'installation de la façade ventilée.	31
Fig. II.12	schéma représentant le fonctionnement de la façade ventilée.	32
Chapitre III : méthodologie et investigation		
Fig. III.1	situation de la wilaya dans l'espace nord – est	35
Fig. III.2	courbe d'évolution des températures moyennes mensuelles à Jijel (1999-2008)	36
Fig. III.3	moyennes mensuelles d'humidité absolue enregistrées en Jijel (1999-2008)	37
Fig. III.4	moyennes mensuelles de la vitesse du vent enregistrées en (m/s) à Jijel (1999-2008)	37
Fig. III.5	Histogramme des précipitations à Jijel (1999-2005)	38
Fig. III.6	la nouvelle gare routière de Rabat –Maroc	39
Fig. III.7	gare ferroviaire – Algérie-	40
Fig. III.8	métro à St Lazare de Gare à Paris, France.	40
Fig. III.9	gare multimodale de Saint-Louis	41
Fig. III.10	gare maritime d'Annaba	41
Fig. III.11	nouvel aéroport international d'Alger	42
Fig. III.12	les infrastructures de transport de Jijel	43
Fig. III.13	situation de l'aéroport Ferhat Abbas.	44
Fig. III.14	plan de masse du cas d'étude.	46
Fig. III.15	Plan RDC de l'aéroport-Jijel	46
Fig. III.16	Plan 1er étage de l'aéroport-Jijel	47
Fig. III.17	Les matériaux de la construction du l'aéroport	47
Fig. III.18	Quelque photos du l'aéroport	48
Fig. III.19	Les instruments de la mesure	50
Fig. III.20	Anémomètre, thermomètre brume	50
Fig. III.21	Les points du mesure	51

Fig. III.22	points de mesure de la température et l'humidité	53
Fig. III.23	courbe des températures mesurées à l'extérieur et à l'intérieur de l'aéroport.	54
Fig. III.24	courbe des valeurs d'humidité mesurées à l'extérieur et à l'intérieur de l'aéroport	54
Chapitre IV : évaluation de la performance thermique de la façade ventilée		
Fig. IV.1	TRNSYS 17	58
Fig. IV.2	la géométrie du cas d'étude	58
Fig. IV.3	les résultats de meteonorm7	59
Fig. IV.4	Interface de simulation du prototype dans TRNBuild	59
Fig. IV.5	Interface de simulation studio	60
Fig. IV.6	Schémas représente les composants de la façade	62
Fig. IV.7	les types de l'infiltration, climatisation, chauffage	62
Fig. IV.8	Schémas représente les déférentes étapes de la simulation	63
Fig. IV.9	Comparaison des températures du cas initial avec la zone du confort en décembre	64
Fig. IV.10	Comparaison des températures du cas initial avec la zone du confort en juin	64
Fig. IV.11	Comparaison des valeurs d'humidité du cas initial avec la zone du confort	65
Fig. IV.12	Comparaison des valeurs d'humidité du cas initial avec la zone du confort	65
Fig. IV.13	Plan RDC de l'aéroport	66
Fig. IV.14	Comparaison des températures du cas de la façade ventilée avec la zone du confort	66
Fig. IV.15	Comparaison des températures du cas de la façade ventilée avec la zone du confort	67
Fig. IV.16	Comparaison des valeurs d'humidité du cas de la façade ventilée avec la zone du confort	67
Fig. IV.17	Comparaison des valeurs d'humidité du cas de la façade ventilée avec la zone du confort	68
Fig. IV.18	Comparaison des valeurs des températures du cas initial avec chauffage en hiver	68
Fig. IV.19	Comparaison des valeurs des températures du cas de façade ventilée avec chauffage en hiver	69

Fig. IV.20	la consommation annuelle de chauffage	69
Fig. IV.21	Comparaison des valeurs des températures du cas initial avec la climatisation	70
Fig. IV.22	Comparaison des valeurs des températures du cas de façade ventilée avec climatisation	70
Fig. IV.23	la consommation annuelle de climatisation	71
Fig. IV.24	la consommation énergétique annuelle totale	71

Liste des tableaux

Partie théorique		
Chapitre I : le confort thermique dans le bâtiment		
Numéro de tableaux	**titre**	**page**
Tableau I.1	valeurs de référence de température de l'air	10
Tableau I.2	Correspondances entre PMV et échelle des sensations thermiques	16
Tableau I.3	valeur de a en fonction de la vitesse de l'air	17
Tableau I.4	les données du diagramme bioclimatique	19
Chapitre III :méthodologie et investigation		
Tableau III.1	fiche technique du cas d'étude	44
Tableau III.2	caractéristique du cas d'étude	45
Tableau III.3	caractéristique des matériaux de construction	48
Tableau II.4	Les points de mesure	51
Chapitre IV : évaluation de la performance thermique de la façade ventilée		
Tableau IV.1	les matériaux utilisés pour la simulation	60
Tableau IV.2	les matériaux utilisés pour la simulation par logiciel	60

Liste des abréviations

Fig : Figure
Art : Article
TA : Température Ambiante de l'aire
TP : TEMPERATURE des Parois
HR : L'Humidité Relative de l'air
HQE : Haute Qualité Environnementale
VA : Vitesse de l'Air
Tg : rayonnement
PMV : Vote Moyen Prévisible
PPD : Pourcentage Prévisible D'insatisfaits
Top : Température opérative
TMRT : Température Moyenne Radiante
A : Coefficient en fonction de la vitesse de l'air
RW : Route de la Willaya
OACI : Organisation de l'Aviation Civile International
IATA : International Air Transport Association
H : Humidité
CAP : Certaficat d'Aptitude Professionnelle
PTT : Postes Télégraphes et Télépones
PVB : Polyvinyl Butyral
An : Année

Introduction Générale

Introduction

Depuis l'antiquité l'homme a toujours cherché à se protéger vis-à-vis les aléas de l'environnement extérieurs notamment le climat. Son objectif relatif à sa protection s'est évolué et s'est varié en fonction des périodes, des besoins et du milieu. En effet, «*l'homme qui construit avant tout, pour s'abriter et se protéger et malgré l'évolution des conditions culturelles, économiques, constructives et énergétiques, l'objectif essentiel de toute activité constructive est toujours et encore la protection de l'homme contre les éléments climatiques, l'ensoleillement excessif, les températures extrêmes, les précipitations et le vent*»[1.] C'est ainsi que l'homme a toujours essayé de s'acclimater avec son milieu naturel faisant de l'acte de construire une de ses occupations fondamentales.

Donc avant de construire il faut d'abord connaitre le climat de lieu de construction et adapter la construction dans son environnement. Autrement dit il faut s'adapter vis – à – vis le changement climatique tout en prenant en considération les paramètres climatiques à savoir l'orientation, l'ensoleillement, le régime des vents, l'environnement naturel et physique afin de garantir le confort en toute saison. La sensation du froid ou de chaleur est un fait normal subjectif et ne sera évaluée qu'avec le confort thermique qui désigne *« l'ensemble des multiples interactions entre l'occupant et son environnement ou l'individu est considère comme un élément de système thermique »*[2].

Cependant le confort thermique dans les espaces intérieurs est mal perçu. Des sensations d'inconfort peuvent être ressenties et dues à une multitude de causes notamment le non prise en compte du climat dans la conception ainsi que l'utilisation des matériaux de construction non adaptés au climat local. Ceci se répercute sur la consommation énergétique du chauffage et de climatisation comme une solution pour corriger l'inconfort.

Problématique

Selon l'évolution du domaine et des techniques de construction, la consommation énergétique ne fût pas au départ, un enjeu majeur dans la production du cadre bâti. Les intentions des concepteurs allant de la protection au confort et à l'esthétique ont plutôt imposé un aspect négatif sur l'homme et l'environnement. Mais, tout fut remis en cause avec la crise énergétique des années 70. Celle-ci a joué le rôle de déclencheur d'une prise de

[1] Sophie.T. (2012), Matériau, Matière d'Architecture Soutenable. Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale et d'urbanisme LOCI. France, p.13-15.

[2] Cantin.R et Al. (2005), complexité du confort thermique dans les bâtiments, in actes de 6eme congres européen de science des systèmes, tenu à paris

conscience de la consommation excessive de l'énergie dans les constructions et fût considérée comme un facteur de changement. Après cette crise, l'enjeu primaire des concepteurs était la réduction de la consommation énergétique et la création des constructions économiques avec moins d'effets négatifs sur l'environnement.

Le secteur du bâtiment consomme seul environ 50% d'énergie[3]. Cette consommation d'énergie touche notamment le chauffage en hiver et la climatisation en été. Ceci est dû également à l'inconfort dans la construction qui est causé principalement par la mauvaise conception et le non-respect des orientations des espaces…

Les infrastructures du transport ne se détachent pas de cet état de fait. Il s'agit des bâtiments accueillant un effectif important. Le transport au tant que secteur actif consomme en lui seul environ 37%d'énergie en France[4]**.** En effet, ces infrastructures accueillent un nombre important des voyageurs et visiteurs quotidiennement, peuvent rencontrer des problèmes d'inconfort thermique et énergétique en période froide comme en période chaude ce qui impose notamment des problèmes concernant l'inconfort dans les espaces intérieurs. Cet état d'inconfort peut être le résultat de choix des matériaux ou par l'utilisation excessive du verre dans l'enveloppe architecturale. A cela s'ajoute le non-respect d'une conception architecturale soucieuse de la contrainte climatique sans oublier le non maitrise des paramètres thermiques de l'enveloppe de l'infrastructure.

Plusieurs recherches se sont inscrites dans une démarche globale visant à atténuer ces effets et à trouver des solutions environnementales passives assurant un bien-être pour l'homme. La façade ventilée c'est l'une des solutions préconisées agissant à l'échelle de l'enveloppe architecturale. Beaucoup de chercheurs et Plusieurs recherches confirment l'importance des différentes techniques de régulation climatique au niveau de l'enveloppe et leurs impacts sur le confort thermique et la réduction de la consommation énergétique. Ainsi, ils affirment que « *pour réduire les consommations énergétiques dans les bâtiments, des solutions passives ont été développées en augmentant fortement l'isolation des parois extérieures. Un des moyens d'améliorer l'efficacité énergétique du bâti est de concevoir des façades multifonctionnelles*»[5]. Cependant, la performance énergétique de l'enveloppe est tributaire d'un certain nombre de facteurs qui englobent des éléments de la conception tels

[3] Chiche. P, Herzen. M, Keller. L et Nilsson. M. (2009), Architecture & conception énergétique, JMP Publications SA, Lausanne p.75, http:/www.lausanne.ch/fr consulte le 18/03/2018.

[4]Philippe Rekacewicz,janvier 2005,le monde diplomatique, Consommation d'énergie pour les transports de quelques grandes agglomérations.

[5] Florence, J. et Al. (2008), Enveloppe hybride pour bâtiment économe, Centre scientifique et techniques de bâtiment. France.

que l'orientation du bâtiment, les choix formels et les caractéristiques techniques des matériaux. Le concepteur doit par ailleurs inscrire sa démarche dans le respect des conditions climatiques du lieu.

La façade ventilée représente l'interface où s'effectue le contact avec l'environnement extérieur. La façade ventilée en tant que dispositif de régulation climatique combine, de ce fait, entre les objectifs relatifs à l'ambiance lumineuse, le confort thermique et la rationalité de la consommation énergétique. Dans les équipements de transport, cette technique serait –elle efficace ? Et quelle est sa technicité ?

Ceci nous a mené à poser les questions suivantes :

- Quel est l'impact de la façade ventilée sur le confort thermique et la performance énergétique ?
- Quelle est la bonne orientation d'une façade ventilée pour garantir son efficacité ?

Les hypothèses

Ce sujet vaste et complexe nous pousse à émettre certaines hypothèses afin de le mieux cerné. Pour cela nous visons à confirmer les hypothèses suivantes :

- La façade ventilée pourra être le meilleur dispositif à proposer dans les infrastructures de transport
- Elle pourra assurer la performance thermique et énergétique par la réduction de la consommation énergétique et la suppression des ponts thermiques et les problèmes de la condensation.
- L'orientation (NORD, EST et OUEST par exemple) pourra être la bonne orientation de la façade ventilée. Cette orientation pourra être le facteur le plus important à prendre en compte pour garantir le bon fonctionnement de cette technique.

Les objectifs

Le choix d'une enveloppe performante est une décision importante dans le processus de la conception architecturale vue la complexité de ses aspects hyper-interférés. La façade ventilée, en tant qu'enveloppe multifonctionnelle s'inscrivant dans l'optique thématique des infrastructures à haute performance énergétique et de confort thermique.

Ce travail de mémoire résume une recherche entreprise dans le but de tester et d'évaluer l'impact de la façade ventilée sur le confort thermique en climat humide. Pour ce faire, le comportement thermique de la façade ventilée sera étudié sous les conditions climatiques de la ville de Jijel. L'investigation a croisé les techniques, elle s'appuie à la fois

sur la mesure in situ sur un cas d'étude choisi, et sur la simulation numérique effectuée par le logiciel "TRNSYS17".

Méthodologie de recherche

Dans ce travail on a essayé de faire une recherche bibliographique par la consultation des livres, des documents, des rapports, des mémoires et des sites internet, pour le but d'attraper les objectifs et répondre à la problématique posée et pour mieux comprendre les notions, les concepts et les différentes techniques correspondant à la façade ventilée et sa performance thermique dans les infrastructures de transport. Ce mémoire sera divisé en deux parties :

Partie théorique

Qui consiste à cerner l'ensemble des concepts et définitions relatifs à la façade ventilée, elle découle d'une recherche bibliographique sur les notions du confort thermique, et d'autres relatives à la façade ventilés et son utilisation dans le bâtiment.

Cette partie comporte deux chapitres, Premier chapitre : concerne le confort thermique dans le bâtiment. Deuxième chapitre présente : l'impact de la façade ventilée sur le confort thermique.

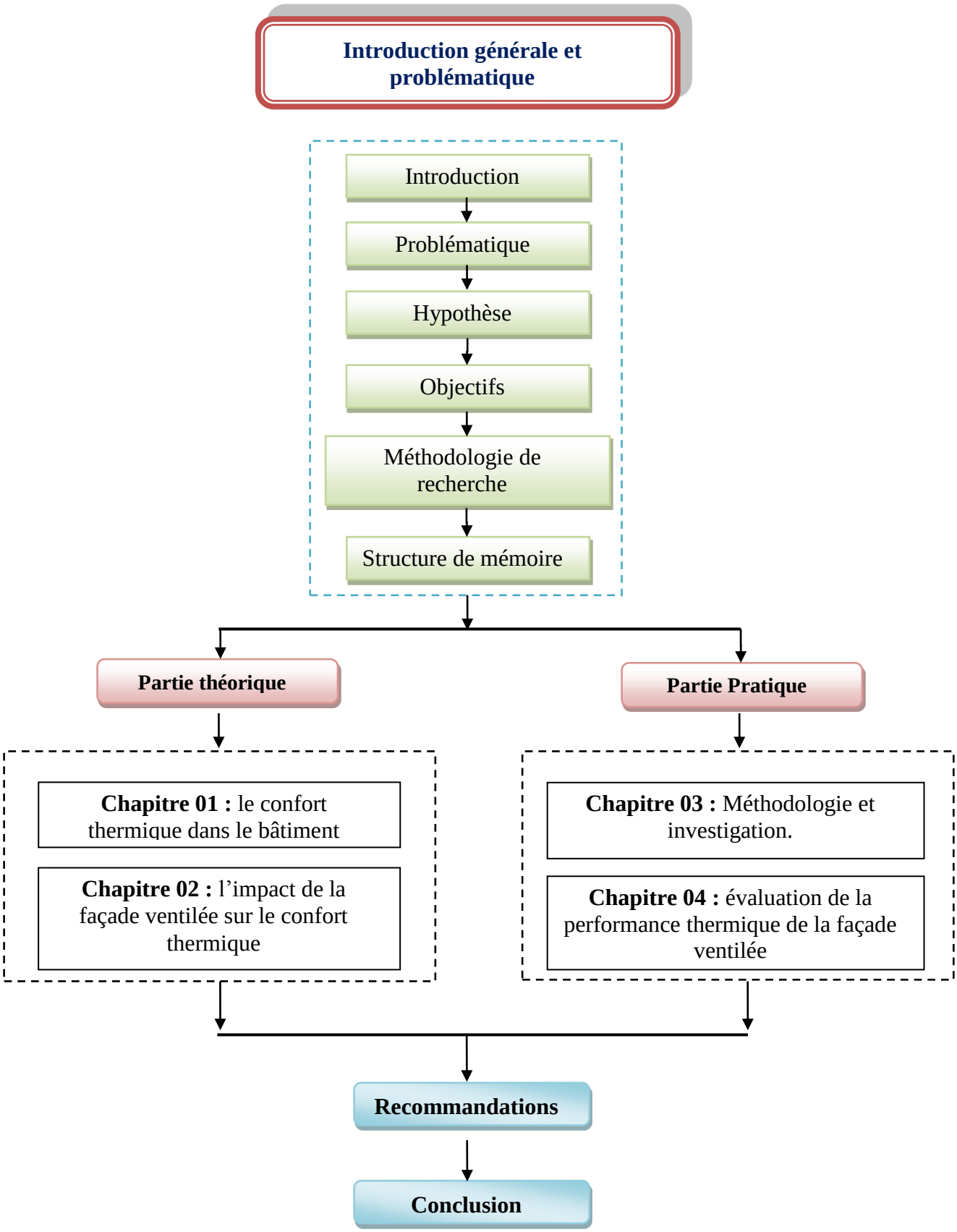
Partie pratique

Consiste à présenter le cas d'étude, la méthodologie de travail choisi est de présenter la ville de Jijel, faire des recherche bibliographiques sur les notions liées aux infrastructures de transport.

Cette partie comporte également deux chapitres. Le premier dédié à la présentation du cas d'étude et l'investigation .une analyse d'un cas d'étude « aéroport Ferhat Abbas de Jijel » sera faite qui consiste en une étude analytique et descriptive et les critères de son choix. La méthodologie du travail, le choix de la période des mesures, le déroulement de l'investigation et la discussion des résultats seront aussi présentée dans ce chapitre. Le deuxième chapitre sera par contre réservé à la simulation numérique par le logiciel TRNSYS17. Une présentation du logiciel s'impose dans ce chapitre, les scénarios élaborés ainsi que les résultats de la simulation et leur comparaison avec ceux de l'investigation seront présentés dans ce chapitre.

Vers la fin du travail, des recommandations et une conclusion générale seront présentées.

Structure de mémoire



Chapitre I :

Le confort thermique dans les bâtiments

Introduction

Le confort est une notion étroitement liée à la sensation de bien-être et qui ne possède pas la définition absolue. A l'époque médiévale, le terme latin « conforté » signifiait le renforcement et la fortification. Au XVIII siècle, le terme confort signifiait aux anglais un « bien-être matériel » le terme ne fut introduit en France qu'au XIX siècle et était très lié aux classes sociales de l'époque (noblesse, bourgeoisie, ouvrière)[1]. « Au sens large, la notion de confort n'a pas attendue le tique, c'est à dire, l'électronique, pour entrer dans une maison. Le confort de l'antiquité et du moyen âge était celui de l'espace. Le confort de l'ancien régime était celui de l'ornement, aujourd'hui le confort est celui de l'économie des corvées ménagères mais aussi son autonomie et la plénitude de son être. »[2].

La notion de confort demeure plus vaste et ne peut se limiter aux seuls conditions physique qui déterminent le confort de type hygrothermique (température, humidité…etc.), sonore ou olfactif. Cette notion comprend aussi les paramètres esthétiques et psychologiques (qualité de la lumière, les espaces verts, les paysages, la sécurité, le prestige…etc.)[3].

Ce chapitre s'intéresse au confort du bâtiment. En premier lieu il vise à présenter des notions générales, types et paramètres du confort, ces indices d'évaluation selon le plan de travail suivant.

I. le confort thermique

I.1.Définition du confort

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 parce que le confort est une notion difficile à définir. Elle a un caractère subjectif, 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 certain conditions individuelles qui affectent notre perception. De même les conditions de confort ne sont pas constantes dans le temps et dans l'espace ; bien au contraire elles varient : socialement (selon le niveau de vie et les classes), géographiquement (selon les régions) et historiquement (selon les périodes). Donc, loin d'être

[1]Belakehal Azzedine. (2012), Confort et maitrise des ambiances. [En ligne]. Biskra : Département d'architecture, université de BISKRA 2éme année, cours, p06, Disponible sur : http://www.univ_Biskra.dz/Belakehal/cours%20S2-6.pdf.
[2]Faurastier, Françoise et Jean(1962), Domotique et confort un état des lieux, mémoire de 3éme cycle.
[3]Estéban Emilio Montenegro Iturra. (2011), Impact de la configuration des bâtiments scolaires sur leur performance lumineuse, thermique et énergétique. Thèse de doctorat Faculté des études supérieures de l'Université Laval. Canada. p164.

une valeur immanente le confort est une construction culturelle qui s'élabore et se transforme selon les mythes et les valeurs dominantes de la culture dans laquelle il se déploie.

Selon J. DESMONS «*Le confort est une notion subjective. Une ambiance donnée peut satisfaire un individu et pas un autre. En effet, le confort dépend de nombreux facteurs en dehors de l'ambiance elle-même. Ces facteurs sont : la santé, l'âge, la façon dont on est vêtu, les habitudes, l'état psychologique du moment, etc. il est donc presque utopique d'espérer satisfaire la totalité des individus se trouvant dans une même enceinte climatisée.* »[4].

Le confort en architecture peut s'agir selon deux (02) types majeurs dont on distingue :

• Confort physiologique : Confort thermique, lumière (éclairage), sonore, olfactives…

• Confort psychologique : Visuel (perception de l'espace, contact avec l'extérieur, visibilité… etc.), non visuel (déroulement des activités, intimité, priva cité…). Selon notre thème de recherche, nous allons baser plus sur le confort thermique. Dans ce qui suit-on donnera une brève explication de ces différents types en détaillant le confort thermique.

I.2.Le confort thermique

Le confort thermique est défini comme un état de satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique. Elle est déterminée par l'équilibre dynamique établi par échange thermique entre le corps humain et son environnement.

I.3.Les paramètre du confort thermique

Le confort thermique dépend de 6 paramètres[5] :

1. Le métabolisme : est la production de chaleur interne au corps humain permettant de maintenir celui-ci autour de 36.7 c. un métabolisme de travail correspondant à une activité particulière s'ajoute au métabolisme de base de corps au repos.
2. L'habillement : représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement.
3. La température ambiante de l'aire TA
4. La température des parois TP : de façon simplifiée, on définit une température de confort ressentie (appelée aussi température résultante sèche) : Trs = (TA +TP°)/2.

[4]Desmons, Jean. (2009), Aide-mémoire génie climatique, Paris, éd, Dunod , p39.
[5]Alain Liebard, Andre de Herd. Traite d'architecture et d'urbanisme bioclimatique p 27-28

5. L'humidité relative de l'air (HR) : est le rapport exprime en pourcentage entre la quantité d'eau contenue a la même température.
6. La vitesse de l'air : influence les échanges de chaleur par convection .dans l'habitat, la vitesse e l'air ne dépassent généralement pas 0.2m/s.

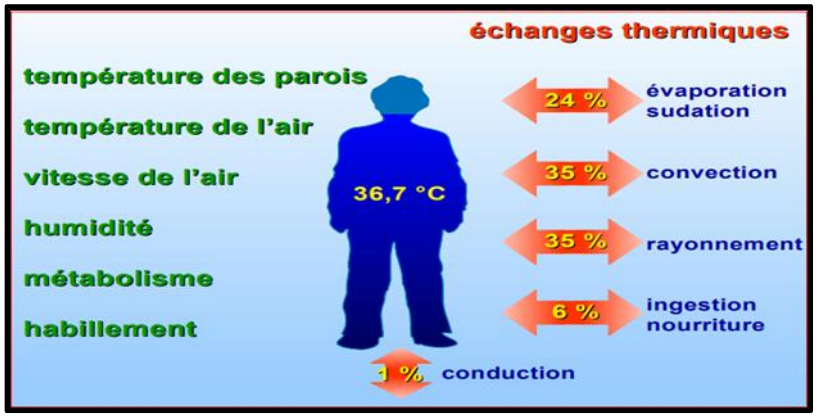


Figure I.1 : Les échanges thermiques entre l'ambiance et l'homme

Source: De Herde André et Liébard Alain, 2005

I.4.Les modes de transfert de chaleur

Il est habituel, dans l'étude des transferts thermiques, de distinguer trois grandes parties se rattachant chacune à un mode de transfert particulier de la chaleur. La conduction, la convection et le rayonnement. Chacun de ces modes étant lui-même lié à un processus physique bien déterminé. En effet, comme l'énergie thermique d'un milieu matériel correspond à l'énergie cinétique de ses constituants fondamentaux ayant une certaine liberté de mouvement (molécules, atomes, électrons libres, …), ceux-ci pourront échanger tout ou une partie de leur énergie thermique, c'est-à-dire gagner ou perdre l'énergie cinétique: Soit par interaction directe avec les particules voisines (choc de molécules par exemple), ce qui correspond à la conduction, soit par absorption ou émission de radiations électromagnétiques, ce qui correspond au rayonnement, enfin dans le cas d'un gaz ou d'un liquide ce qui correspond au convection.

1.La Conduction :est définie comme étant le mode de transmission de la (chaleur ou l'échange d'énergie interne) provoquer par la différence de température entre deux régions d'un milieu solide, liquide ou gazeux ou encore entre deux milieux en contact physique (gradient de température dans un milieu).dans la plupart des cas on étudie la conduction dans le milieu solides, puisque dans les milieux fluides(c'est-à-dire liquide ou gazeux),il y a souvent couplage avec un déplacement de matière et donc mécanisme de convection.

2. Le rayonnement : le rayonnement thermique est le mode de transmission par lequel la chaleur passe d'un corps à haute température a un autre plus froid sans nécessite de support matériel. C'est donc le seul mode de transfert de chaleur qui peut se propager dans le vide.

3. La convection : est le mode de transmission qui implique le déplacement d'un fluide gazeux ou liquide (écoulement) et échange avec une surface qui est une température différente[6].

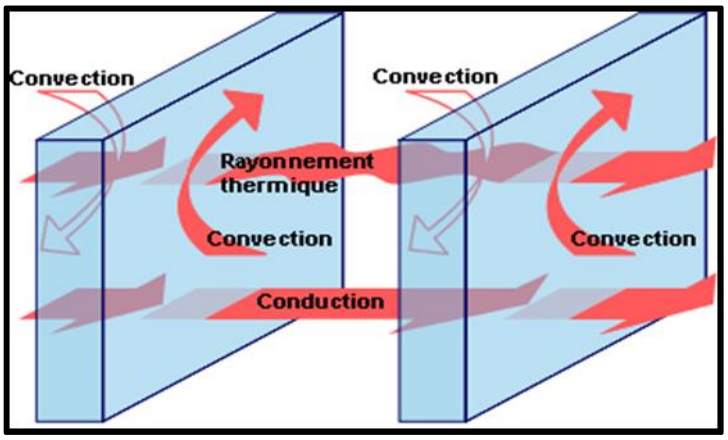


Figure I.2 : Les modes de transferts de chaleur.

Source: http://www.ecohabitation.com/guide/fiches/portesfenetres-entrer-lumiere-conservez-chaleur

I.5. Les paramètres affectant le confort thermique

I.5.1. Les paramètres liés à l'ambiance extérieure

I.5.1.a. La température de l'air (Ta)

La température de l'air, ou température ambiante (Ta). Est un paramètre essentiel du confort thermique. Elles interviennent dans l'évaluation du bilan thermique de l'individu au niveau des échanges convectifs, conducators et respiratoires[7].

[6]Errien nicolas, cour : Transfert thermique Université du Maine, Faculté des Sciences Département de Physique http://www.univ-lemans.fr/fr/index.html consulté le 19/05/2018
[7]NEUF : Climat intérieur/ confort, santé, confort visuel, Revue européenne d'architecture N° 7, novembre – Décembre 1978, p12

Tableau I.1 : valeurs de référence de température de l'air

Type de locale	Température de l'air
Locaux ou des gens habillés normalement sont au repos ou exercent une activité physique très lgére par exemple: bureau, salle de cours, salles d'attente .salles de réunion ou de conférence.	21°C
Locaux ou des gens habillés sont en repos ou exercent une activité très légère .par exemple salles d'examens ou soins médicaux .vestiaire .	23 à 25°C
Locaux ou des gens habillés normalement exercent une activité physique très légère .par exemple ateliers. Laboratoires, cuisines.	17°C
Locaux ou des gens peu habillés exercent une grande activité physique par exemple salles de gymnastique, salle de sport.	17°C
Locaux qui ne servent que de passage pour les gens habillés normalement .par exemple corridors .cages d'escalier, vestiaire sanitaire.	17°C
Locaux uniquement gardés à l'abri du gel .par exemple garages. Archives.	5°C

Source : www. ineris.fr

I.5.1.b. La température des parois (TP)

Les parois d'un local, du fait qu'elles représentent des différences de températures, échangent de la chaleur entre elles par rayonnement, cette grandeur est utilisée dans le calcul des échanges radiatifs de grande longueur d'onde entre l'individu et son environnement. Le couplage de la température du rayonnement ou température des parois avec la température de l'air détermine la température opérative ou résultante[8].

I.5.1.c. L'humidité relative de l'air (HR)

L'humidité relative de l'air influence les échanges évaporatoires cutanés, elle détermine la capacité évaporatoire de l'air et donc l'efficacité de refroidissement de la sueur. Selon Liébard. A «entre 30°/° et 70 °/° L'humidité relative influence peu la sensation de confort thermique. Une humidité trop forte dérègle la thermorégulation de l'organisme car

[8]Dermouchi L. ChekraouiKh (2005), Confort Thermique Intérieure Des Constructions S Par Les Procèdes Passif, Département d'architecture, Université de Jijel, p.45

l'évaporation à la surface de la peau ne se fait plus, ce qui augmente la transpiration ; le corps est la plupart du temps en situation d'inconfort»[9].

I.5.1.d. La vitesse de l'air

La vitesse de l'air influence les échanges de chaleur par convection et augmente l'évaporation à la surface de la peau. Elle intervient dans la sensation de confort thermique de l'occupant dès qu'elle est supérieure à 0,2 m/s : c'est en effet à partir de cette vitesse qu'un courant d'air peut être ressenti par un individu moyen.[10].

I.5.2. Paramètres liés à l'individu

I.5.2. a. L'activité

C'est un paramètre essentiel pour la sensation thermique de L'individu définissant directement le métabolisme, c'est-à-dire la quantité de chaleur Produite par le corps humain. Dans le cas d'une très forte activité, elle peut être responsable de sensations d'inconfort chaud, même en présence de conditions météorologiques très favorables.

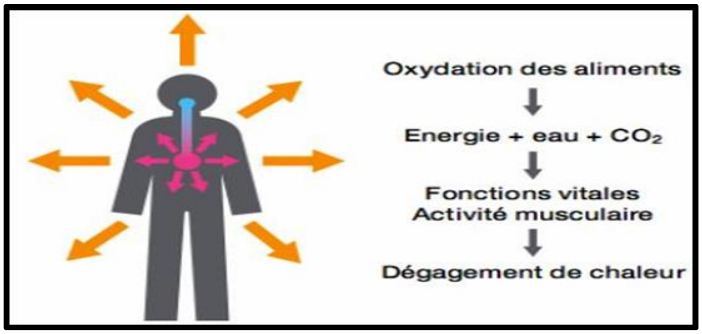


Figure I.3 : Le métabolisme humain.

Source : Mazari Mohammed. Etude et évolution du confort thermique des bâtiments à caractère public : cas du département d'Architecture de Tamda (Tizi-Ouzou). Mémoire de Magister en Architecture.

I.5.2. b. La vêture (habillement)

Les vêtements permettent de créer un microclimat sous-vestimental, à travers leurs résistances thermiques en modifiant les échanges de chaleur entre la peau et l'environnement. Leur rôle essentiel est de maintenir le corps dans des conditions thermiques acceptables, été comme hiver. La vêture a un rôle primordial d'isolant thermique, notamment en période hivernale et dans toutes les ambiances froides, ce rôle est pris en compte à travers la définition d'un indice de vêture exprimé en Clo[11], caractérisant la résistance thermique d'un vêtement.

[9]Mazari Mohammed, Septembre (2012).Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public, Mémoire de magister en architecture,.p.7.
[10]Alain Liebard, Andre de Herd, 2005.op cit. p.2.
[11]Clo : Unité d'isolement vestimentaire, 1Clo=0.155m² o C.w-1

La nature, la coupe des vêtements et l'activité du sujet influencent aussi ces échanges thermiques avec l'environnement[12].

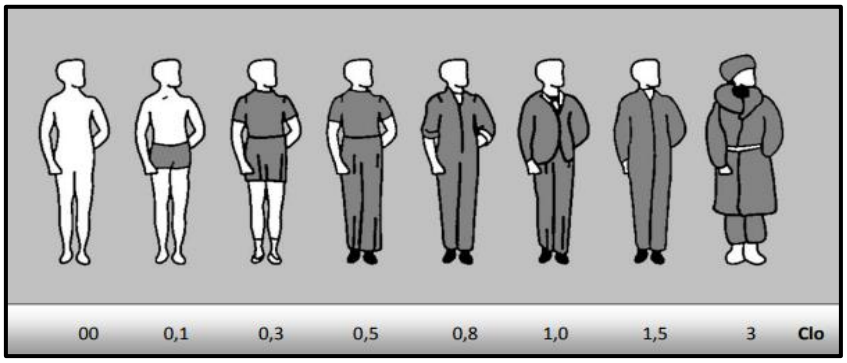


Figure I.4 : Valeur exprimée en Clo des tenues vestimentaire.

Source : http://fr.slideshare.net/naila_athamnia/chapitre3-conf-th

I.5.3. Les 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 appareilles électrique 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'apporte interne 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 thermiques dépendent du type de bâtiment du nombre d'utilisateurs, et de son usage. D'après Hugues Boivin «*le confort dès l'espace est directement influencé par le taux e ces gains internes*»[13].

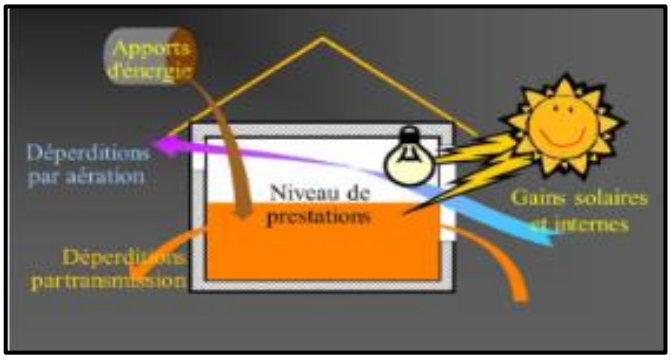


Figure I.5 : les gains thermiques internes d'un espace.

Source : www.ecolomage.fr

[12]Thellier, François. (1999), L'homme et son l'environnement thermique-Modélisation. Université de Paul Sabatier de Toulouse, p.65.
[13]Izard-L. (1994), *Architectures d'été construire pour le confort d'été*, Edition Edisud, p.141.

I.6. Les procédés du confort thermique

I.6.1. L'implantation

Concernant les critères de choix d'un site d'implantation, ils remontent loin dans le temps, le souci de confort thermique prenait souvent un caractère spontané. Nous pouvons citer Vitruve, dans son ouvrage les dix livres d'architecture, qui note : « Quand on veut bâtir une ville, la première des choses qu'il faut faire est de choisir un lieu sain il doit être élevé qu'il ait une bonne température d'air, qu'il ne soit exposé ni aux grandes chaleurs, ni aux grands froids… » Une bonne implantation tient compte du relief, de l'ensoleillement, des vents locaux, elle détermine l'éclairement, les déperditions, les apports solaire, les possibilités d'aération. Cette dernière « est fondamentale et doit être choisie en fonction des informations climatiques que l'on possède ». L'implantation d'un bâtiment détermine le potentiel solaire passif de ce dernier. Elle participe même aux modifications de microclimat dans leur environnement immédiat et influe positivement ou négativement sur les conditions climatiques des bâtiments voisins.

Cette dernière implantation va déterminer l'éclairement, les apports solaires passifs, les mouvements naturels de l'air. Le relief environnant, l'orientation des vents (différents l'hiver de l'été) et la course annuelle du soleil sur le lieu seront autant d'éléments fondamentaux de la réussite d'une implantation. Celle–ci « est fondamentale et doit être choisie en fonction des informations climatiques que l'on possède»[14].

I.6.2. La ventilation naturelle

C'est le résultat d'une bonne implantation, qui permet une exploitation bénéfique du vent en été (ventilation naturelle) tout en évitant l'exploitation préjudiciable en hiver, dont l'objectif est de réduire les besoins énergétiques et d'améliorer le confort thermique de l'occupant[15].

I.6.3. La forme

Dans les échanges thermiques avec l'environnement, la superficie de l'enveloppe est un facteur important, au même titre de sa nature. Généralement, le choix de la compacité du bâtiment est également une source très importante d'économie d'énergie, car les déperditions thermiques du logement se font par renouvellement d'air et à travers l'enveloppe. De ce fait,

[14]Bernard J. (2004), Énergie solaire ; calculs et optimisation 2004, Ellipses Édition Marketing Coll. TECHNOSUP les filières technologiques des enseignants supérieurs, Paris, p.150

[15]Bendasse M, Benhamada KH, et Laribi R (2017), Impact des dispositions végétal sur le confort hygrothermique dans un village touristique à El OUANA, Département d'architecture Jijel p.13

une surface habitable avec une forme compacte est plus économe en énergie qu'une forme éclatée puisque les déperditions sont proportionnelles à la surface d'échange entre l'intérieur conditionné et l'extérieur.

I.6.4. L'orientation

L'orientation d'une construction et la prise en compte du climat sont actuellement considérées par certains comme une originalité, une innovation apportée par le concept de bâtiment de haute qualité environnementale (HQE). Le bon sens avait-il disparu chez les concepteurs ?» Cette dernière joue un grand rôle[16] :

- Dans les apports en lumière naturelle et les économies d'éclairage.
- Dans le confort d'hiver par l'utilisation de rayonnement solaire pour le chauffage.
- Dans le confort d'été avec la protection du rayonnement solaire pour éviter les fortes chaleurs.
- Dans la protection contre les vents froids d'hiver ou l'utilisation de vent rafraîchissant d'été »

I.7.Evaluation de confort thermique

L'évaluation du confort thermique dans les espaces est un paramètre capital dans toute conception architecturale[17].

Les premières recherches se sont basées sur des enquêtes de terrain avec des questionnaires en classifiant la sensation thermique, ainsi que sur les essais de laboratoire sous des conditions climatiques artificielles. Cette évaluation a conduit plusieurs chercheurs à développer et à élaborer des indices de prédiction des niveaux de confort à l'intérieur des bâtiments[18].

I.7.1.Indices pour l'évaluation de confort thermique

De nombreux travaux de recherche, réalisés à l'intérieur des bâtiments ou dans des conditions expérimentales parfaitement contrôlées en laboratoire, ont recensé les principales causes d'inconfort et en permis d'établir un certain nombre d'indices nommés, les indices de

[16]Deoux. S, P. Deoux (2004), Le guide de l'habitat sain : habitat, qualité, santé pour bâtir une santé durable, 2 éd. rev. etaugm. Andorre: Medieco, p.137.
[17]Givoni, B(1978), p.39.
[18]Mazari Mohammed(2012), Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public: Cas du département d'Architecture de Tamda (Tizi-Ouzou), Département d'Architecture, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Op cit p.5. Hygrothermique Intérieur Cas De BiDe Technologie Supérieure, Université Du Québe

confort thermique qui sont en général définis en fonction de la température et la vitesse de l'air.

I.7.1.a. Les indices PMV et PPD

Les indices PMV et PPD sont décrits par la norme ISO 7730 "Ergonomie des ambiances thermiques - Détermination analytique et interprétation du confort thermique par le calcul des indices PMV et PPD et par des critères de confort thermique local"[19]. Le d'insatisfaits de confort thermique, Fanger (1972) a défini 3 conditions pour qu'une personne soit en situation de confort thermique :

- ✓ Un bilan thermique équilibre.
- ✓ Une évaporation sudorale située dans les limites du confort.
- ✓ Une température moyenne de la peau située dans les limites de confort.

Les niveaux optimums des deux dernies paramètres sont fonction du métabolisme, dans ces conditions l'équation du bilan thermique obtenue n'est fonction que de 6 paramètres primaires : quatre paramètre climatique (température de l'air ta, rayonnement tg, Humidité Hr et vitesse de l'air va), l'isolement vestimentaire.la méthode de Fanger (1972), reprise dans la norme ISO7730 analyse les conditions de confort thermique et introduit deux des indices analytiques d'astreinte thermique, le PMV et le PPD[20].

- ✓ Le PMV (Vote Moyen Prévisible) : Le PMV établi par Fanger permet de mesurer une Sensation thermique globale du corps humain à partir du métabolisme et donne la moyenne des votes en références à une échelle de sensation thermique. Les valeurs de l'indice PMV varient entre -3 et 3 comme l'indique-le Tableau 2.
- ✓ Une valeur de PMV de zéro exprime une sensation de confort thermique optimale.
- ✓ Une valeur de PMV négative signifie que la température est plus basse que la Température idéale et réciproquement une valeur positive signale qu'elle est plus élevée.
- ✓ On considère que la zone de confort thermique s'étale de la sensation de légère fraicheur à la sensation de légère chaleur, soit de -1à +1.

[19]https://www.beswic.be/fr/themes/agents-physiques/ambiances-thermiques/indices-de-confort-et-de-Contrainte thermique/indice-pmv-ppd-de-confort-thermique

[20]Corinne Martinet, Meyer J. P. (1999), Travail à la chaleur et confort thermique, Institut National de Recherche et de Sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles, p.14, http://lara.inist.fr/handle/2332/1616

Tableau I.2 : Correspondances entre PMV et échelle des sensations thermiques

Valeur de l'indice PMV	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3
Sensation thermique	chaude	tiède	Légèrement tiède	neutre	Légèrement froid	frais	froid

Source : energie2.arch.ud.ac.be

Le PPD(le pourcentage prévisible d'insatisfaits) : Selon W. Rybczynski « Il est plus simple d'évaluer le manque de confort que le confort »[21].Le pourcentage prévisible d'insatisfaits donne en fonction de l'indice PMV d'une situation thermique précise, exprime sous forme des pourcentages les sujets d'insatisfaits d'une ambiance thermique déterminée.

- ✓ Le diagramme permet d'évaluer Directement le PPD. Si par exemple, le PMV est de -1 ou +1 l'indice PPD montre que prés de25% de la population n'est pas satisfait. Pour ramener le PPD à une valeur maximale de 10 %le PMV doit se situer entre -0.5 et +0.5, on peut noter : 0.5 < PMV< 0.5 Soit PPD < 10%.
- ✓ Plus le pourcentage de PPD est grand (nombre d'individus qu'on est prêt à accepter) plus L'intervalle de PMV est étendu.

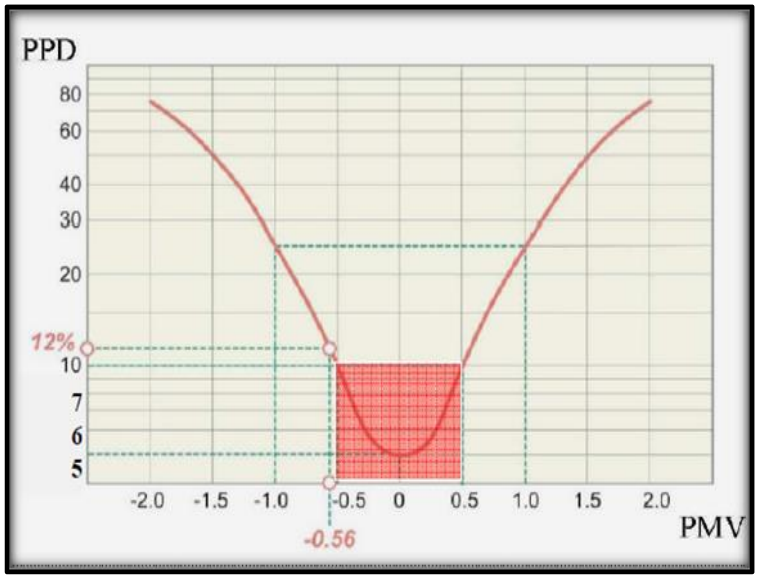


Figure I.6 : Correspondances entre PMV et PPD.

Source : energie2.arch.ud.ac.be

I.7.1.b. La température de l'air ambiant (Ta)

Elle représente l'indice le plus utilisé pour le contrôle des ambiances intérieures du fait de la simplicité de sa mesure. Ce paramètre ne présente pas de grosses difficultés de mesure et

[21]Hamel khalissa, Confort Thermique , Département d'architectur et Environement, Cours N°1

d'évaluation, mais revêt un caractère toutefois limité pour la caractérisation complète du confort. Indice connu de tous, la température de l'air sera donc largement utilisée comme indice de confort dans le cas d'un contrôle peu strict du confort thermique[22].

I.7.1.c. La température opérative (Top)

De façon simplifiée on définit une température de confort ressentie (température de l'air et température des parois). C'est un indice de confort thermique intégrant deux paramètres physique, la température de l'air ambiant et la température moyenne radiante. Il s'agit donc d'un indice d'appréciation des effets convectifs et radiatifs sur le confort de l'individu[23].La norme ISO fournit le calcul simple de cet indice par la formule suivante :

Top = k Ta + (1-a) Tmrt avec[24] :

- ✓ Top: la température opérative. (°C)
- ✓ Ta: La température d'air. (°C)
- ✓ Tmrt : La température moyenne radiante (°C)
- ✓ a: Le coefficient en fonction de la vitesse de l'air.

Tableau I.3 : valeur de a en fonction de la vitesse de l'air

Vitesse(m/s)	0 – 0,2	0,2 – 0,6	0,6 – 0,7
***a* : coefficient**	0,5	0,6	0,7

Source : www.u-picardie.fr

- ✓ Avec des vitesses de l'air inferieures à 0.2m/s la température opérative est égale avec une bonne approximation est peut être écrit comme suit : Top= (Ta +Tmrt)/2.

I.7.2. L'évaluation de confort thermique par les enquêtes in situ

Les études in situ sur le confort thermique ont constitué une étape importante pour l'évaluation du confort thermique dans les constructions. Les enquêtes se sont multipliées sous les différents climats (sec, humide, méditerranéen,…..etc.).

[22]Cordier N. (2007) , Développement et évaluation de stratégies de contrôle de ventilation appliquées aux locaux de grandes dimensions, thèse de doctorat soutenue a L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France, p.61.
[23]Ibid, p.62.
[24]Richieri F. (2008), Développement et paramétrage de contrôleurs d'ambiance multicritères , thèse doctorat, Institut national des Sciences de Lyon, p.302.

Les enquêtes in situ visent à explorer le confort thermique auprès des sujets sur leurs lieux de vie ou de travail habituels à travers les mesures physique de l'ambiance.

Ces enquêtes permettent de collecter à la fois des paramètres concernant l'ambiance thermique (température, humidité…..) et les réponses de sensation thermique des occupant qui se trouvent dans des situations réelles de la vie quotidienne.

Les méthodes d'enquête utilisées ont été aussi variées que leurs objectifs. Certaines enquêtes sont exploratoires elles cherchent à déterminer les conditions réelles du confort thermique dans différents types de bâtiment sous différents climats. On peut classer les enquêtes in situ en trois niveaux selon l'étendue et la précision des mesures réalisées.

I.7.3. L'évaluation de confort thermique par outils graphique

En plus des indices thermiques, plusieurs recherches ont été entamées pour connaitre les limites du confort thermique sous forme de diagramme bioclimatique, en 1953 le premier « Diagramme bioclimatique » a été proposé par V. Olgay. Aussi les tables de Mahoney, diagramme de Givoni…etc. Le diagramme bioclimatique combine plusieurs types de données voir le tableau I.4.

I.7.3.a. La méthode d'Olgay

Les Différents théories du confort thermique les frères Olgay ont été chronologiquement les premiers à approfondir la notion de confort thermique et à essayer d'établir des relations avec les ambiances intérieures du bâtiment. La méthode assume que le confort thermique ne peut être estimé à partir du seul paramètres qu'est la température de l'air, mais il fait au contraire intervenir plusieurs facteur tel que l'humidité et la vitesse d'air[25].

La méthode d'Olgay a été la première expérience pour systématiser l'adaptation de la conception des bâtiments aux exigences des conditions climatiques. Selon Givoni.B : « Cette méthode est basée sur un «diagramme bioclimatique» mettant en évidence la zone du confort humain en relation avec la température d'air ambiant et l'humidité, la température radiante moyenne, la vitesse du vent, le rayonnement solaire et la perte de chaleur évaporative »[26]

La structure générale du diagramme d'Olgay est basée sur trois zones :

[25]Diaz Maria Lopez (2012), cour : Maitrise des ambiances thermiques, Ecole national supérieur d'architecture de Paris la Villette
[26]Givoni B, Op cit, p.9.

- La zone de confort : au centre
- La zone du froid : qui nécessite le chauffage passif (rayonnement solaire) ou actif pour rétablir le confort.
- La zone du chaud : se situe au-dessus de la ligne d'occultation où il est nécessaire d'introduire : l'occultation solaire, la vitesse de l'air, ou le refroidissement par évaporation.

Tableau I.4 : les données du diagramme bioclimatique

Les données du climat extérieur	Les donne du confort thermique	Les donnes des solutions architecturales
Température de l'air ambiant et humidité, la température radiante moyenne ,la vitesse du vent, le rayonnement solaire …..etc.	Paramètres de contrôle du confort thermique	✓ Inertie thermique ✓ résistance thermique ✓ Ventilation ✓ Captation solaire ✓ Système de chauffage et de climatisation naturelle

Source : cybergeo.revues.org

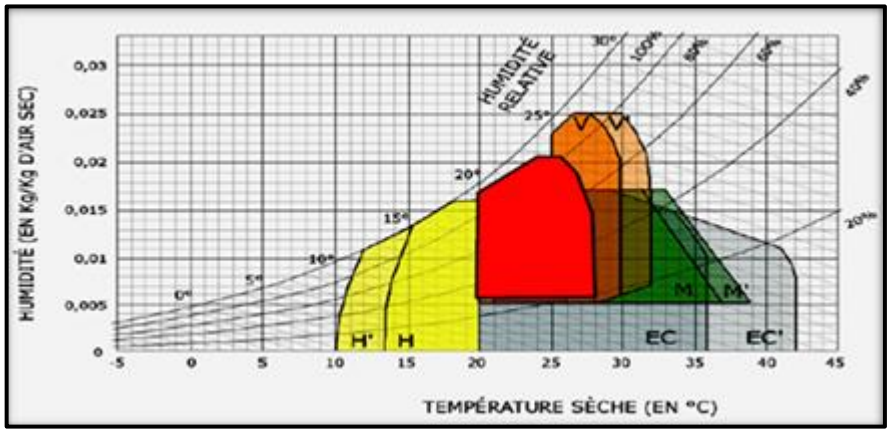


Figure I.7: Diagramme bioclimatique d'Olgay

Source : www.energieplus.lesite.be

I.7.3.b. Diagramme de Givoni

Se basant sur les études antérieures d'Olgay, Givoni a élaboré une méthode expérimentale où il représente les limites des ambiances confortables sur un diagramme psychométrique courant. Il présente une méthode plus performante que celle de V. Olgay, dans l'évaluation des exigences physiologiques du confort.

Givoni définit le confort en considérant la personne en état d'activité, Par l'intermédiaire de son diagramme bioclimatique, il a prouvé qu'avec l'application des concepts de l'architecture, l'effet de variation climatique de l'environnement extérieur peut être réduit au minimum[27].

Il a alors mis au point un outil synthétisant les zones thermo-hygrométriques et les moyens d'intervention par des dispositifs architecturaux ou techniques qui peuvent être utilisés pour remédier aux sollicitations du climat[28]. La zone de confort est positionnée au centre, l'air extérieur à cette zone est subdivisé en zones secondaires, où l'auteur propose différentes procédures permettant de réintégrer les conditions de confort. Givoni a procédé dans l'élaboration de ses zones climatiques à des exigences de confort universelles. Sa zone de confort se situe entre les températures 20 et 27°C, C'est à dire qu'il considère que toutes les personnes, quelque soit la latitude à laquelle ils se trouvent, réagissent de la même manière au confort[29].

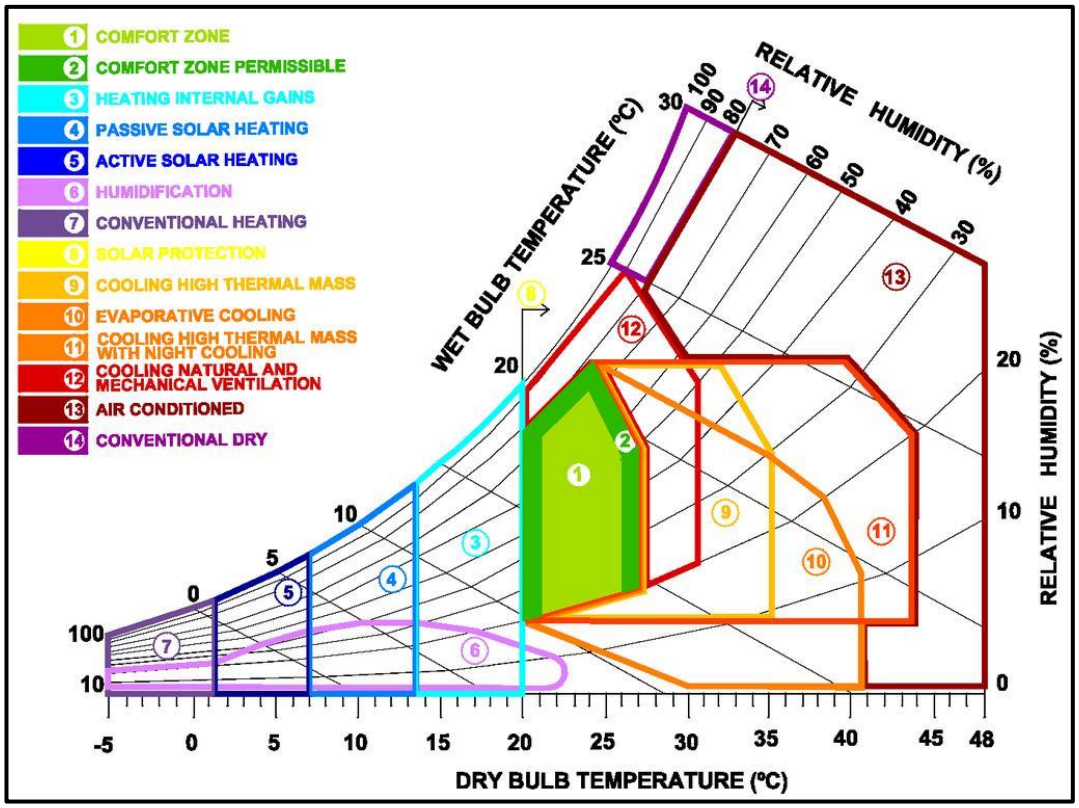


Figure I.8 : diagramme psychrométrique de Givoni

Source : Izard, 2008

[27]The demonstration component of the Joule-Thermie programme. European commission thermiehttp://erg.ucd.ie/ttp.html
[28]Chatelet, A. et al (1998), Architecture climatique, une contribution au développement durable, Tome 2, Concepts et dispositifs, Editions Edisud, Aix-en-Provence, France. p.19
[29]Mazari Mohammed (2012), Op cit, p.5

I.7.3.c. Tables de Mahoney

Carl Mahoney a développé une méthode de traitement des données climatiques très simple, constituée d'une suite de tableaux. 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 qui tirent leur nom de l'architecte Carl Mahoney qui les a créées, sont constituées d'une suite de 6 tableaux[30].

Conclusion

L'intérêt au bien-être de l'homme est un sujet soulevé et approché par de multiples disciplines. Cet intérêt se fonde sur les rapports d'échanges qu'entretient l'homme avec son environnement, que ce soit naturel ou construit. La relation entre le comportement humain et les variables physiques de l'environnement fait l'objet d'étude privilégiée de la psychologie, d'écologique et de l'architecture.

L'étude et l'évaluation du confort thermique ont d'abord été abordées à travers des indices de confort déterminés par des indices thermique, des tentatives ont été effectuées pour combiner les facteurs environnementaux sous forme d'outils graphique qui permettent de prédire des zones de confort connus sous le nom de diagrammes bioclimatiques considéré comme une technique universelle dévaluation du confort thermique, applicable pour tous les cas de types de construction, de zones climatiques différentes.

Donc ces outils ne sont pas des outils de dimensionnement précis du projet mais ils constituent bien des guides pour aider l'architecte à prendre les bonnes décisions en phase esquisse pour assurer le meilleur confort thermique.

[30]Ould-Hennia, A. (2003), Choix climatiques et construction, zones arides et semi-arides : la maison à cour de Boussaâda, Thèse de doctorat, école polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, p.180.

Chapitre II :

Impact de la façade ventilée sur Le confort thermique

Introduction

Pour répondre aux exigences de protection thermique, d'économie d'énergie et de protection environnementale ainsi que la séparation de la fonction d'imperméabilité de celle de l'isolement thermique, ou il y a un grand défi que les architectes ont à relever. La façade ventilée partait être la solution vue qu'elle permet d'embellir la façade du bâtiment tout en atteignant une autre dimension, celle de la performance énergétique, du confort et des économies.

Ce chapitre vise donc à présenter en détails la façade ventilée, son principe de fonctionnement et ces composants.

I. Façade ventilée

I.1. Définition

Plusieurs définitions ont été attribuées à ce concept de façade ventilée. D'abord, elle a été définit comme un système de construction novateur qui est rapport aux procédés traditionnels, résoudre de manière beaucoup plus rationnelle et efficace les problèmes d'isolation, de ventilation et d'habillage extérieur des bâtiments. Elle permet de protéger les bâtiments contre les intempéries et les chocs thermiques tout en les embellissant[1].

C'est un système de construction qui est largement accepté par les architectes et les constructeurs, en particulier pour sa haute qualité, ses possibilités esthétiques et pour ses avantages incontestés dans l'isolation thermique[2].

Elle est le système de bardage le plus efficace pour l'enveloppe des bâtiments actuellement. Cette solution s'ajuste très bien aux tendances d'architecture durable et son installation est très simple[3].

I.2. Historique

Le concept de façade ventilée n'est pas nouveau, ce mode constructif a commencé en Norvège il y a très longtemps, La façade ventilée n'a pas été une innovation scientifique mais plutôt une découverte progressive qui s'est développée il y a plusieurs siècles. Les constructeurs norvégiens, en essayant et en commettant des erreurs, ont trouvé le moyen d'utiliser le système de façade ventilée avec des joints qui pouvaient être ouverts ou fermés. Cette approche est appelée la grange à joint ouvert car elle était principalement utilisée la construction de granges ; le bardage bois avait des ouvertures en haut et en bas de la façade pour permettre le drainage de l'eau et l'évaporation de la pluie.la recherche scientifique sur le

[1]Facetec, https://www.facetec.ch/technique
[2] Tempio, Façades ventilées Tempio, [En ligne], http://www.tempio.es/fr/facadesventilees.
[3]Cupapizarras, https://www.cupapizarras.com/fr/actualite/facade-ventilee-fonctionnement-avantages/

concept de façade ventilée a commencé dans les années 1940, à cette époque la façade ventilée a rapidement été reconnue comme apportant des avantages largement supérieurs à tous les autres modes constructifs existants. Ceci reste encore vrai à nos jours[4] .

I.3. Principe de la façade ventilée

Le système de façade ventilée représente actuellement la synthèse la plus complète des condition qu'un mur droit remplir pour apporter le bien être à l'intérieur du bâtiment. En effet, son rôle essentiel est de protéger le bâtiment contre l'action des agents atmosphériques et en particulier contre les infiltrations d'eau de pluie dans les murs, ce qui est généralement à l'origine de la détérioration de la structure.

En espaçant les dalles de revêtement du mur, on a créé aussi une lame d'air qui, associée à l'action exercée par une couche isolante appliquée aux murs du bâtiment, améliore considérablement l'efficacité thermique de l'édifice. Mais à ces avantages fondamentaux viennent aussi s'ajouter d'autres, qui ne sont pas des moindres, et qui sont liés à la dispersion de la vapeur d'eau par le mur, à l'amélioration de l'insonorisation, à la simplicité de l'entretien et à la possibilité de transférer certaines installations à l'extérieur du bâtiment. Grace à sa capacité d'adaptation. Ce système convient aussi bien aux nouvelles constructions qu'à la rénovation de bâtiment dégradé. Dans ce dernier cas, il représente un excellent système de requalification du bâtiment existant[5].

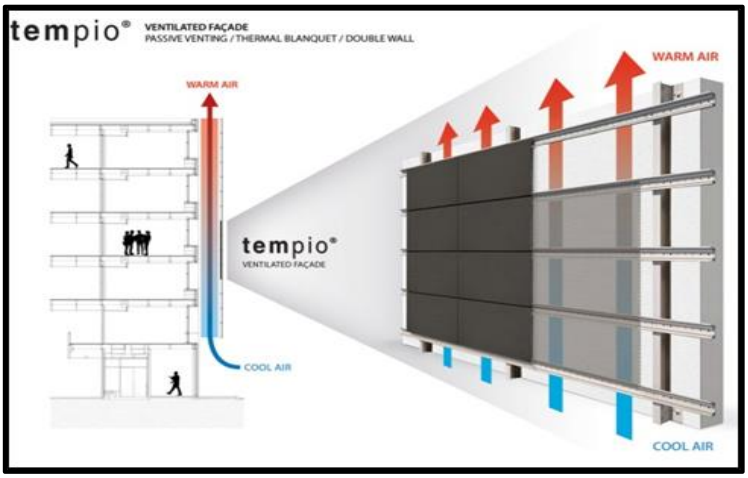


Figure II. 1 : Schématisation du principe de fonctionnement de la façade ventilée.
Source : http://www.tempio.es/fr/facades-ventilees.php

[4]Eternit. Les principes de la façade ventilée, par Eternit. [YouTube].
[5]Ariostea, Façades ventilées. [En ligne], http://www.ariostea.fr/technique/facadesventilees,

I.4. Les déférents composants d'une façade ventilée[6]

I.4.a. Revêtements

C'est la protection contre les agressions environnementales : changement de température, pluie, vent…et qui donne l'aspect final du bâtiment. Doit garder son aspect et sa forme avec le passage du temps. Pour cela le grès porcelaine est parfait pour son application en façade étant donné les excellentes caractéristiques techniques de part, sa résistance, l'abrasion et sa faible porosité (0.1%).

I.4.b. Fixation

Fixe le revêtement à la construction en transmettant ainsi les charges de celui (aussi bien propres que celles produites par le vent). Doit permettre une planéité parfaite du revêtement.

I.4.c. La chambre d'air

La ventilation postérieure du revêtement permet :

- L'évacuation des eaux de pluie qui pourraient éventuellement filtrer.
- L'évacuation de l'humidité qui se transmet de l'intérieur à l'extérieur par transpiration.

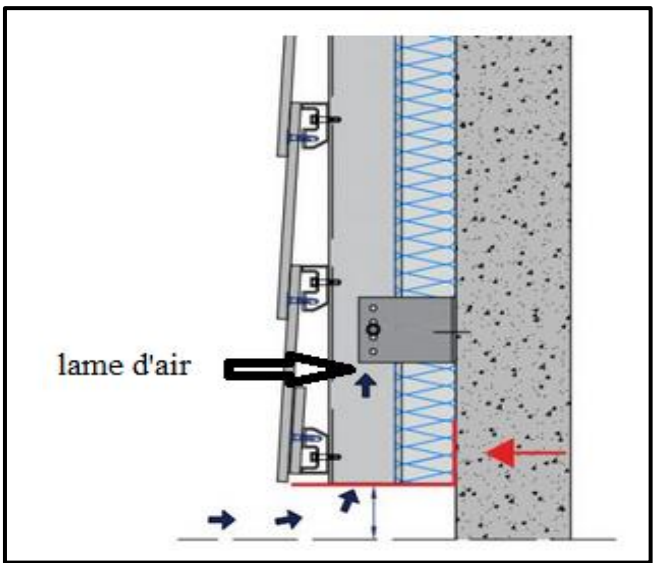


Figure II. 2. schéma représentant la circulation d'air

Source :https://www.cupapizarras.co/facade-ventilee-fonctionnement-avantages.

[6]Kobbigroup, https://www.kobbigroup.com/uploads/kobbi-group-facade-ventilee.pdf , page 7

I.4.d. L'isolation

Fait office d'enveloppe homogène autour du bâtiment en évitant les ponts thermiques. Doit permettre la respiration du mur porteur en évitant ainsi condensation et favorisant la protection thermique et acoustique.

I.4.e. Le mur intérieur

Soutient l'isolant qui avec celui-ci garantit l'inertie thermique suffisante pour ne pas avoir à exécuter de nouveaux travaux sur le mur.

Structurellement, ils peuvent être de deux types :

- Murs avec capacité autoportante qui peuvent recevoir les charges du placage au travers de la fixation.
- Murs sans capacité autoportante et dans ce cas le revêtement devra se fixer directement sur la structure du bâtiment par le biais d'une structure annexe.

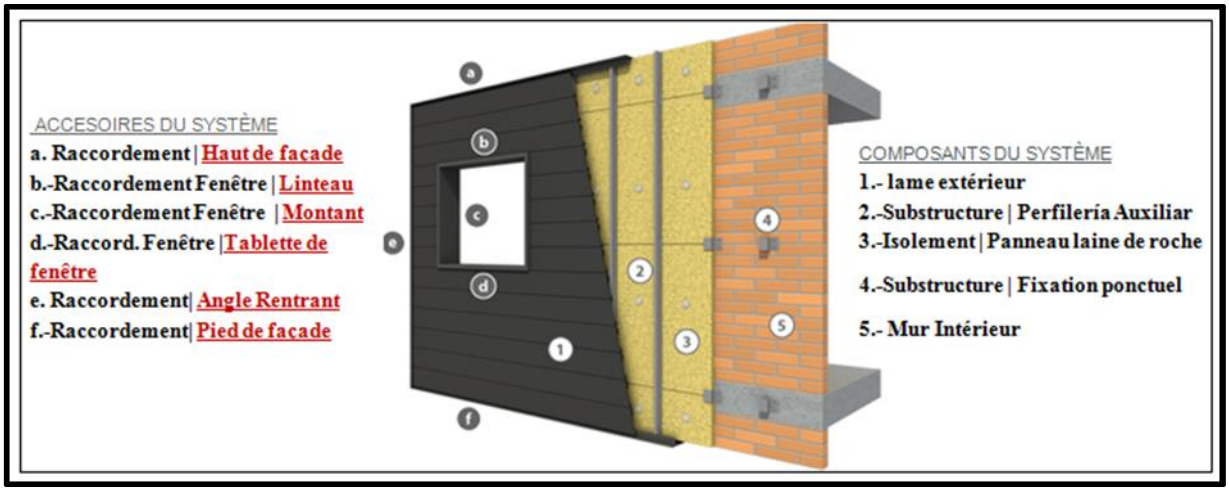


Figure II. 3 : Les composants de la façade ventilée.

Source : https://incoperfil.com/composants-et-installation

I.5. La structure de construction

La façade ventilée est un système complexe de construction mis au point en fonction de critères de conception industrielle : tout doit être considéré et défi ni avant, afin d'éviter de devoir apporter des modifications consistantes en cours de réalisation. Le système est ancré aux murs du bâtiment qui en constituent le support et se compose d'une construction en couches "superposées" faites :

- D'un matelas isolant.
- D'une structure métallique portante.

- Des éléments de bardage.

Entre matériau isolant et bardage se crée ainsi une lame d'air qui, grâce à l'"effet cheminée", déclenche une ventilation naturelle efficace, assurant les avantages considérables d'élimination de la chaleur et de l'humidité[7].

I.6.Types de la façade ventilée

Si l'on souhaite classer les différents types de façades ventilées, on peut les distinguer selon le type de matériau employé, les différentes zones d'une même façade, les textures, les systèmes, etc…. Chaque société a ses propres catégories, mais d'une manière générale et simplifiée, on peut les classer selon[8] :

I.6.a. Le type des matériaux

- Façade en pierre[9] .
- Façade en cramique.
- Façade en composite.
- Façade en béton.
- Façade en verre.
- Façade en métal.
- Façade en zinc.
- Façade en bois.
- Façade en panneaux….etc.

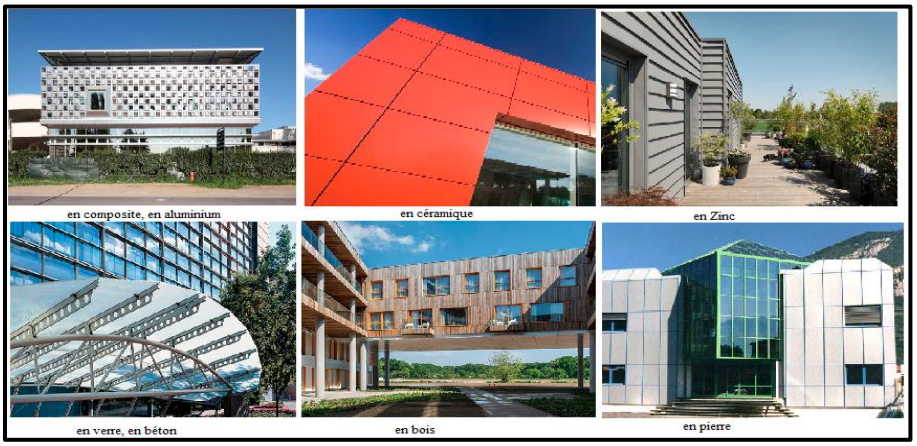


Figure II. 4 : Les déférents types de façade ventilée.

Source : http://www.archiexpo.fr/fabricant-architecture-design/facade-ventilee.

[7]Ariostea, https://www.ariostea.fr/technique/facades-ventilees
[8] Tempio, https://www.tempio.es/fr/facades-ventilees.php
[9] Archiexpo, http://www.archiexpo.fr/fabricant-architecture-design/facade-ventilee .

I.6.b. Le type de finition appliqué[10]

- Couleurs Pâte ou naturels : toute la pièce est réalisée dans la même couleur, sans aucune couche d'émail en surface.
- Couleurs Émaillées : la pièce est recouverte d'un émail avant la cuisson , cet émail peut être mat, brillant ou avec des effets spéciaux.
- Finition lisse
- Finitions texturées création de reliefs et de saillies sur les pièces, pour apporter davantage de jeu au design des bâtiments.

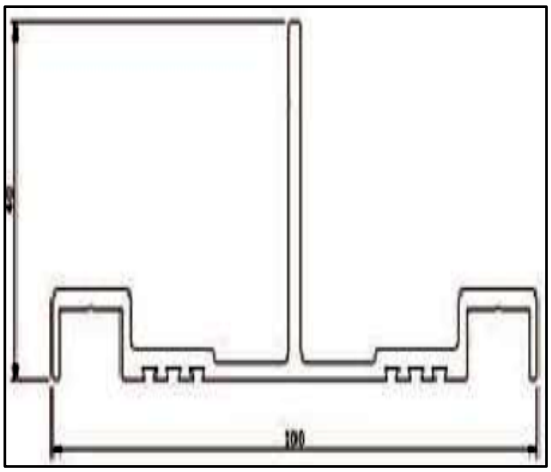
I.6.c.Le type de fixation des panneaux au mur

- À fixation chimique.
- À fixation mécanique.
- À fixation sur des guides.
- À fixation sur une structure en aluminium.

I.7. Système de fixation (Profils, Equerres et Agrafes)

Système de profil vertical fabriqué en aluminium EN A W 6063, très léger et de haute prestation qui permet un réglage tridimensionnelle, spécialement indiqué pour fixer des agrafes en aluminium. PROFILS utilisés dans le système de façade ventilée pouvant être profils « T » et « L »[11].

Profile en T



Profile en L

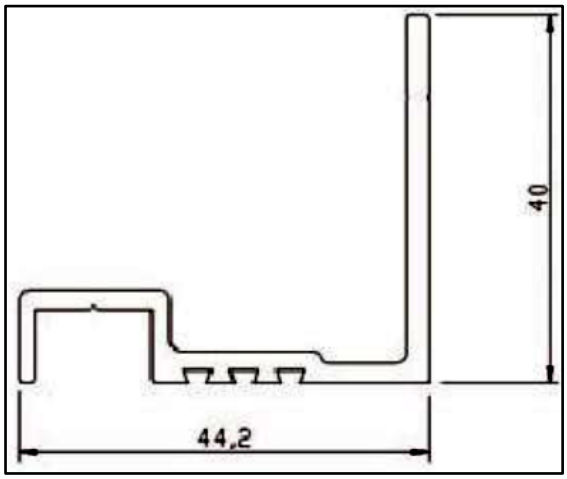
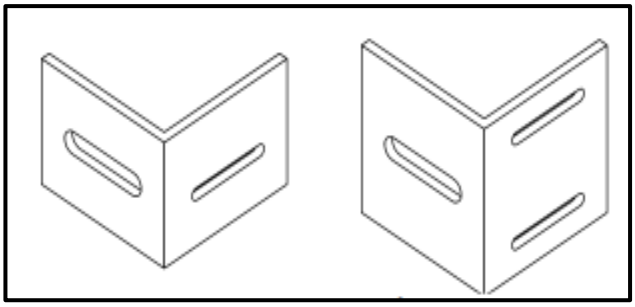


Figure II. 5 : schémas représentant des profils de la fixation de la façade ventilé

Source : https://www.kobbigroup.com/uploads/kobbi-group-facade-ventilee.pdf

[10] Tempio : https://www.tempio.es/fr/facades-ventilees.php.
[11] Doc Player, https://docplayer.fr/ -systèmes-de-façades-ventilées.

Ceux-ci sont fixés sur le mur de soutien avec des équerres angulaire et des vis en acier inoxydable. La distance de pose entre les angles (généralement inférieure à 1,20 m) est préconisée par les constructeurs pour éviter un phénomène de flexion causé par le vent[12].



Equerres simple Equerres Double

Figure II. 6 : schéma représentant les deux types des supports angulaires

Source : https://www.panaria.fr/Facades Ventilees.pdf

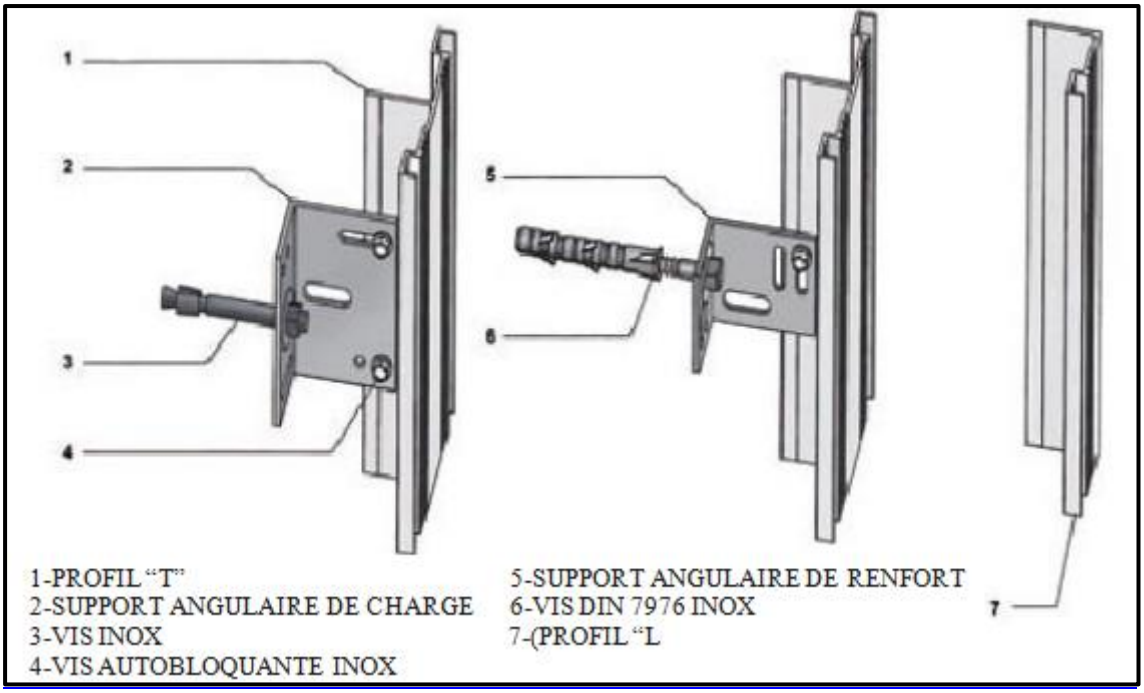


Figure II. 7 : schéma représentant les détails techniques de fixation des façades ventilées.

Source : https://www.kobbigroup.com/uploads/kobbi-group-facade-ventilee.pdf.

Pour la fixation du revêtement sur le profil, elle se fera avec deux types de fixation, une mécanique et l'autre chimique. La fixation mécanique se réalisera par le biais d'agrafes de support et de rétention. Leur fonction est de transmettre les charges du revêtement sur le profil. Ces agrafes pourront se mettre de deux manières : fixation visible ou fixation invisible

[12]Isolation.ooreka, https://isolation.ooreka.fr/astuce/voir/731723/facade-ventilee .

selon les besoins des projets. La fixation de celles-ci au profil se fera avec des vis d'acier inoxydable.

Cette fixation mécanique pourra être renforcée par une fixation chimique qui consiste en l'application d'un adhésif au polyuréthane sur le profil et le dos du revêtement garantissant ainsi une fixation élastique qui apportera plus de stabilité en évitant le déplacement des carreaux.

La distance des JOINTS entre les carreaux sera une variable conditionné par la nature du revêtement en fonction de son coefficient de dilatation thermique et aussi la marge de réglage de l'agrafe delta, normalement la distance doit être entre 3 et 8 mm de séparation.

- **Système Visible :** La fixation des carreaux par le biais d'agrafes ne fait qu'elles soient visibles de l'extérieur. Ce système à la différence de l'invisible ne demande d'usinage des carreaux.
- **Système invisible :** Par le biais d'un usinage (rainurage) sur le côté des carreaux, la fixation de ceux-ci est donc invisible de l'extérieur[13].

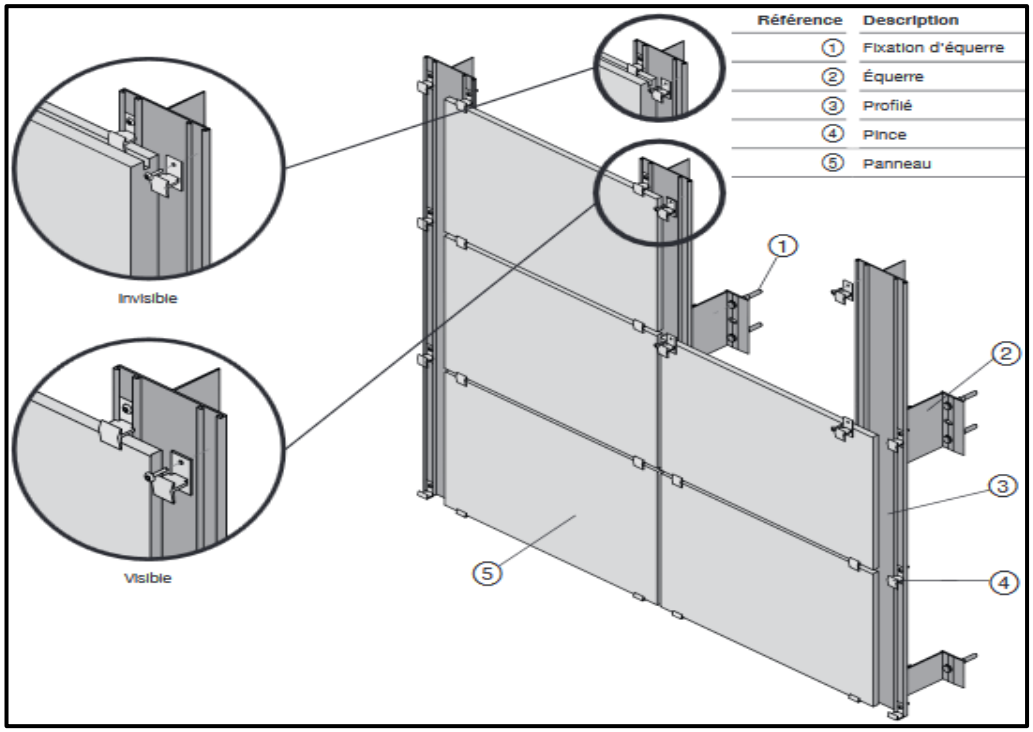


Figure II. 8 : schéma représentant la fixation des systèmes visible et invisible des façades ventilées.

Source : https://www.hilti.fr/content/dam/documents/pdf/façade.

[13]Kobbigroup, https://www.kobbigroup.com/uploads/kobbi-group-facade-ventilee.pdf, page 12.

I.8. Installation de la façade ventilée[14]

- Implantation des équerres d'ossature :
  - Fixer les équerres.
  - Les équerres sont fixées alternativement à droite et à gauche de chaque chevron.
- Pose de l'isolant :
  - Les isolants, en rouleau ou en panneau, peuvent être posés à l'horizontale ou en vertical pour s'adapter à toutes les configurations et tous les types de bardage.
- Pose de l'ossature :
  - Fixer l'ossature sur les équerres devant l'isolant.
  - Fixer les chevrons sur les équerres.
  - Placer un tasseau Tage sur les chevrons permettant de garantir une lame d'air ventilée de 2 cm d'épaisseur minimum entre l'isolant et le futur bardage.
- Pose du bardage et finitions :
  - Poser un profil métal ajouré anti-nuisibles permettant la ventilation en partie basse.
  - Traiter les soubassements à l'aide d'un isolant en polystyrène.
  - Le bardage choisi sera fixé sur l'ossature en préservant une lame d'air de 2 cm minimum.

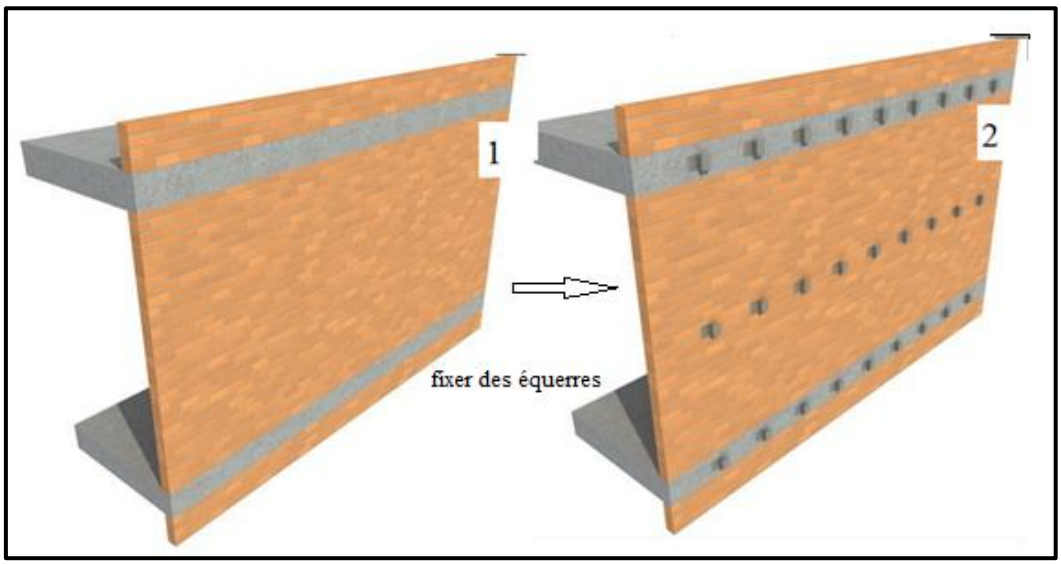


Figure II. 9 : schéma représentant les étapes 1 et 2 d'installation de la façade ventilées.
Source : https://incoperfil.com/composants-et-installation .

[14] Iscover, https://www.isover.fr/sites/isover.fr/files/assets/documents/isolation-thermique-mur-exterieur-maison-individuelle-bardage.pdf

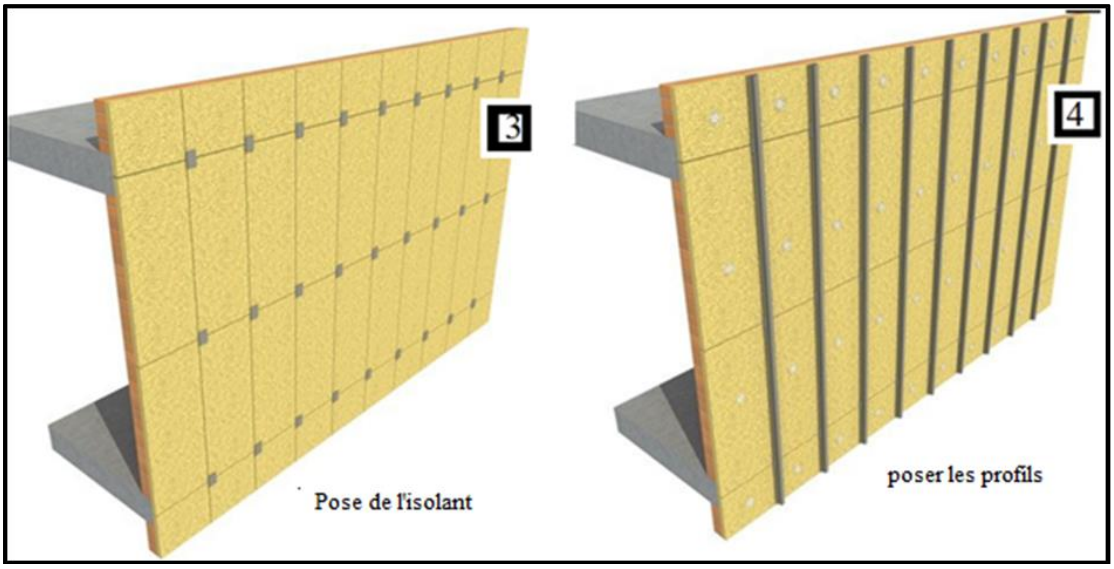


Figure II. 10 : schéma représentant les étapes 3 et 4 d'installation de la façade ventilées.

Source : https://incoperfil.com/composants-et-installation.

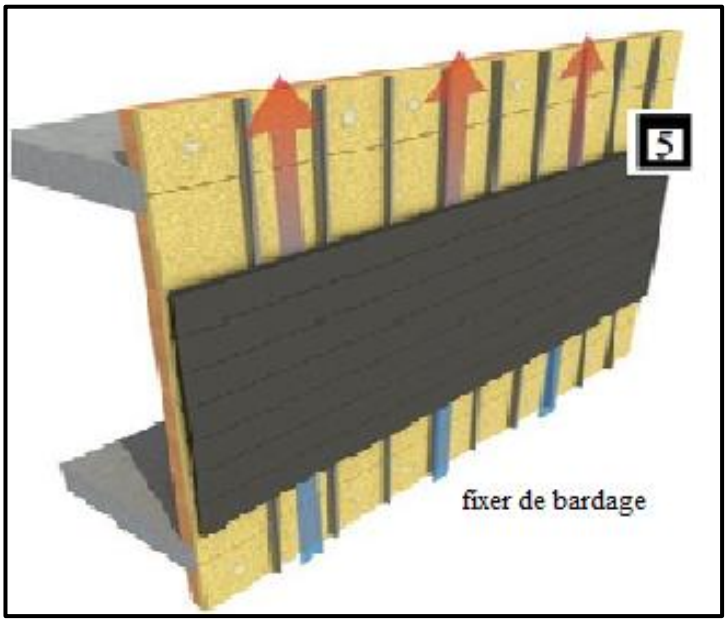


Figure II. 11 : schéma représentant la dernière étape d'installation de la façade ventilée.
Source : https://incoperfil.com/composants-et-installation.

I.9.Efficacité énergétique de la façade ventilée

La façade ventilée est une solution efficace pour garantir le respect des normes en matière d'efficacité énergétique, tant en phase de construction qu'en phase de rénovation. La façade ventilée crée un véritable « bouclier thermique » sur le bâtiment sur lequel elle est appliquée, en le protégeant de la chaleur grâce notamment à la circulation permanente d'air à température ambiante qui effleure la surface extérieure de l'isolant.

Dans des conditions estivales, elle assure le décalage de l'onde de chaleur : la chaleur pénètre à l'intérieur du logement en quantité réduite et à des heures où la température

ambiante est moins élevée. Dans des conditions hivernales, elle augmente le temps nécessaire au refroidissement du mur[15].

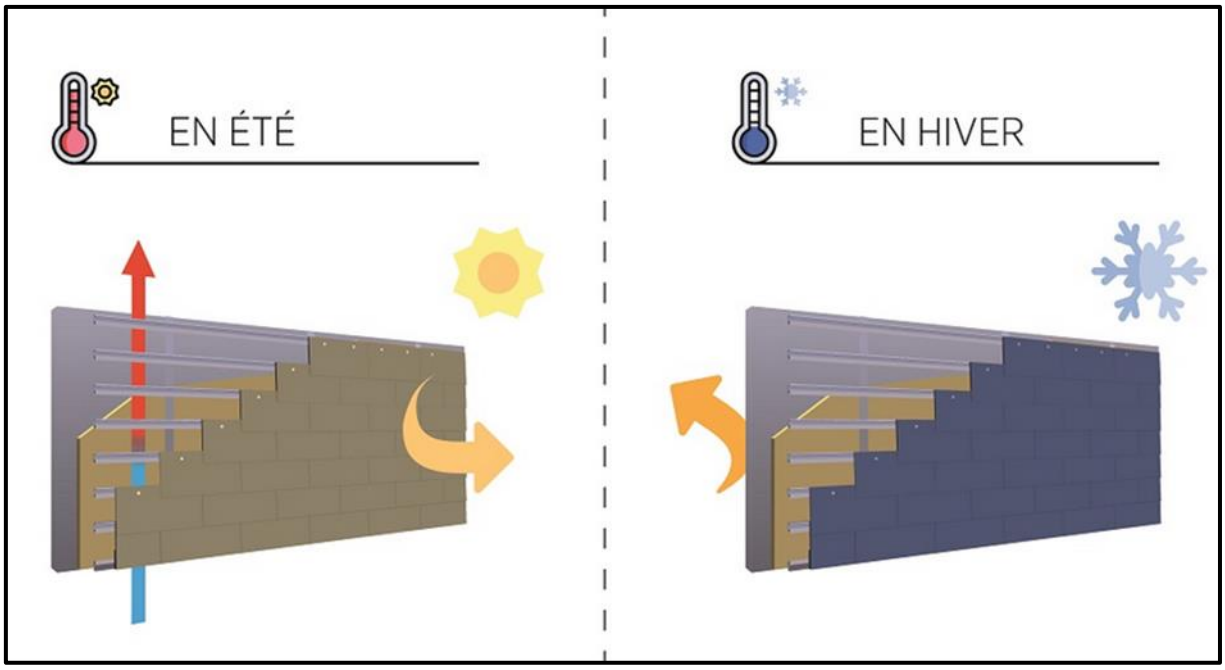


Figure II. 12 : schéma représentant le fonctionnement de la façade ventilée.

Source : https://www.cupapizarras.com/fr/actualite/facade-ventilee-fonctionnement-avantages/

I.10. Avantages de façade ventilée

Les solutions de la façade ventilée présentent des avantages significatifs[16] :

- Isolation uniforme de l'édifice, sans ponts thermiques.
- Élimination de la formation de la condensation sur la face interne de la paroi.
- Élimination de la vapeur d'eau produite à l'intérieur de l'édifice sans obstacles ni barrières.
- Diminution des mouvements structurels dus aux variations de la température extérieure et des dilatations différenciées entre les divers matériaux formant une construction.
- Épaisseur moindre de la paroi puisque la contre-paroi tampon interne n'est pas nécessaire.
- Sélection du type et de l'épaisseur de l'isolant thermique en fonction des conditions environnementales de la construction.
- Amélioration du niveau acoustique en raison de la construction par couches de la façade ventilée et de l'utilisation de matériaux insonorisant.

[15]Aliva, https://www.aliva.it/fr/facciata-ventilata.asp
[16]Iris, https://www.irisfmg.fr/façades-ventilée .

I.11. Inconvénients de façade ventilée[17]

- Coût plus élevé que les systèmes traditionnels.
- Possibilité de décollement, il faut donc analyser le décollement éventuel des plaques et contrôler avec soin leur mise en place.
- Vieillissement du matériau, surtout en cas de climat humide.
- Si des matériaux adéquats ne sont pas utilisés, il existe un risque de transmission d'incendie entre les étages à travers la chambre d'air.
- Il n'y a pas de résistance aux impacts, habituels sur les façades au niveau de la rue. Des socles en mortier ou une protection sont nécessaires à la base.

I.12.Comment envisager une façade ventilée ?

Au moment de projeter une construction, il faut tenir compte que la façade ventilée est une solution structurelle complexe et qu'elle doit se développer en conformité avec les critères de design industriel : tous les détails doivent être examinés et définis au préalable pour éviter des modifications postérieures ou des improvisations durant la phase de montage[18].

Les considérations à suivre pour projeter une façade ventilée sont :

- Etude du design et du projet architectural pour le parement du bâtiment.
- Etude de faisabilité de la façade.
- Choisir le système et les carreaux à utiliser.
- Tenir compte un joint de ventilation entre les carreaux entre 4 et 8 mm.

Une des décisions importantes en termes de design qui touche l'aspect final de la façade est le Type de système à utiliser, avec agrafes visibles ou invisibles. Ce choix implique principalement deux considérations :

- L'esthétique de la façade à faible distance.
- L'aspect économique selon les formats de carreaux et leur usinage dans le cas d'un système invisible.

[17] Index https://www.indexfix.com/uploads/FOTECFV15/FOTECFV15_FR.pdf
[18] kobbgroupi https://www.kobbigroup.com/uploads/kobbi-group-facade-ventilee.pdf, Op.cit., page16

Conclusion

La façade est à la fois l'image d'un bâtiment et la peau qui le protège de l'extérieur. Dans ce chapitre, la lumière a été focalisée sur les caractéristiques de la façade ventilée.

Grâce à ses caractéristiques spéciales, la façade ventilée apportera au projet une dimension écologique et d'innombrables avantages, tant techniques qu'esthétiques. Premièrement, la lame d'air ventilée contribue, par un effet de cheminée, à éliminer la chaleur et l'humidité due à la pluie ou à la condensation. Deuxièmement, le bardage ventilé absorbe une partie du gain solaire et permet d'insérer une isolation continue, réduisant ainsi considérablement les besoins en conditionnement d'air. Troisièmement, le confort des espaces occupés s'en trouve sensiblement amélioré non seulement en été mais aussi en hiver l'atmosphère sèche et confortable peut également contribuer activement à la qualité de l'environnement intérieur.

Chapitre III :

Méthodologie et investigation

Introduction

Ce chapitre s'intéresse à présenter la méthodologie suivie dans ce travail et explique les critères du choix du cas d'étude. De l'autre côté, ce chapitre va présenter l'investigation et les mesures effectuées au sein du cas d'étude. L'objectif principal est l'évaluation du comportement thermique des espaces intérieurs de l'aéroport « Ferhat Abbas » à Jijel, et estimer l'effet des façades vitrées sur le confort thermique intérieur. A travers ce chapitre, les résultats de l'investigation ont été discutés et analysés.

I. présentation de la ville de Jijel

I .1 .Situation et limite

La wilaya de Jijel est située au nord–est du pays et distante d'environ 359km de la capitale Alger, 96km de Bejaia et 146km de Constantine, la ville de Jijel et le chef-lieu de la wilaya qui porte le même nom et qui couvre une superficie 2398km^2. La wilaya est limitée au nord par la mer méditerranée au sud par Mila, au sud est par Constantine et au sud-ouest par Sétif. Skikda délimite la partie est tandis que Bejaia borde la partie ouest[1].

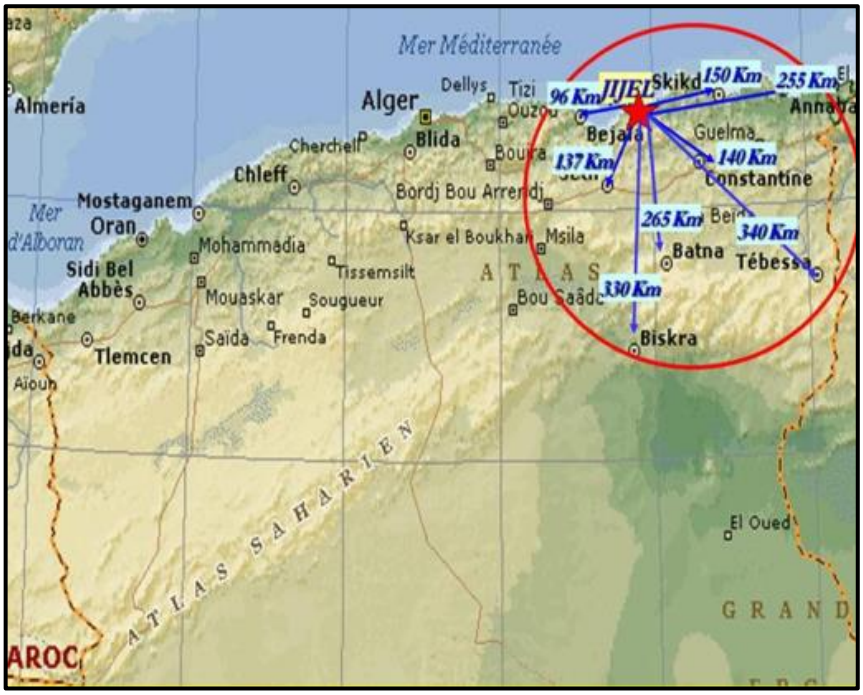


Figure III .1 : situation de la wilaya dans l'espace nord – est.
Source : Direction du tourisme de la wilaya de Jijel

[1] Letiet Mohammed CheriF (2019), Amélioration des microclimats des villes par la prolifération de terrasses et toitures végétalisées en zones aride et méditerranéenne, thèse de doctorat .université de Jijel, p130

I .2. Climat

La région de Jijel est de climat méditerranéen humide, la présence des hautes montagnes des Babors le caractérise par un volume important de précipitations pendant les saisons pluviales, la belle saison chaude mais sans excès ne connait par contre que de rares pluies, des températures agréables allongent la saison balnéaire de mai à octobre avec des variations mensuelles de 19° à 26°C[2].

I .2.1. Les températures

Les températures de la zone côtière connaissent un adoucissement grâce à la présence d'une végétation abondante d'eau vive et de la mer. La température moyenne annuelle sur la coté 18°C. La moyenne maximale correspond au mois d'aout avec 30°C et la moyenne minimale au mois de janvier et février avec 8°C.

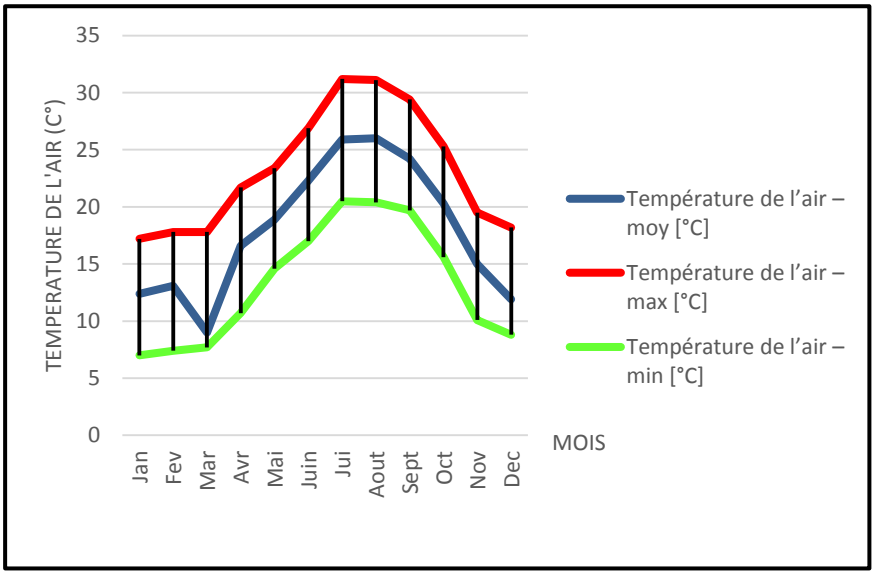


Figure III. 2 : moyennes mensuelles des températures à Jijel (1999-2008)

Source : ONM – El Achouat Jijel.

1.2. 2. L'humidité

Les valeurs sont relativement homogènes, quoi que les variations soient très petites entre les différentes valeurs, ayant des valeurs très élevées en hiver comme en été. Nous notons un maximum au mois de mai (93,3%) et un minimum au mois d'octobre (51,1%).

[2]Letiet Mohammed Cherif (2019). Op cite p 31

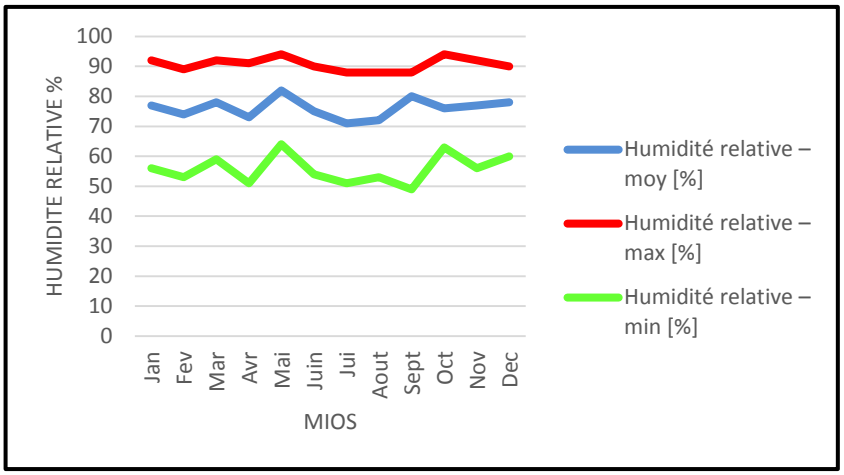


Figure III.3: moyennes mensuelles de l'humidité absolue dans la ville de Jijel (1999-2008).

Source : ONM – El Achouat Jijel.

1.2.3. Le vent

On constate que la vitesse moyenne du est de 2 à 2,7 (m/s) de léger à modéré, dont elle atteint son maximum au cours de l'hiver ayant au mois de décembre la valeur de 2.7 (m/s) et en aout la valeur de 2 (m/s).On remarque une centaine stabilité du mois de janvier jusqu'au mois de mars.

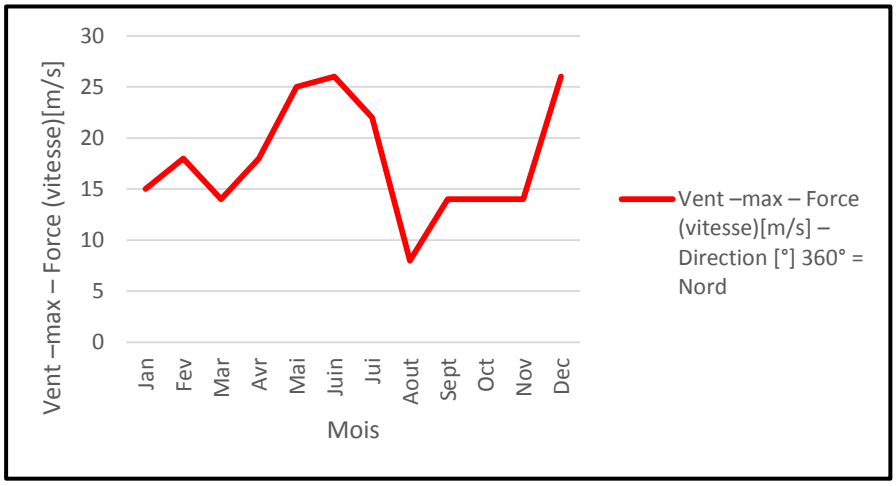


Figure III.4 : moyennes mensuelles de la vitesse du vent enregistrées en (m/s) à Jijel (1999-2008)

Source : ONM – El Achouat Jijel.

I.2.4. Les précipitations

Les pluies se manifestent essentiellement en automne et en hiver. Les précipitations y sont abondantes aux mois de novembre, décembre et janvier et sont quasiment nulles aux mois de juin, juillet et aout.

Le maximum est atteint au mois de décembre avec 200 mm et le minimum au mois de juillet avec 2,7mm. La hauteur annuelle moyenne de 1200 mm à Jijel fait de la ville de Jijel l'une des régions les plus arrosées du pays (moyennes des 40 dernières années).

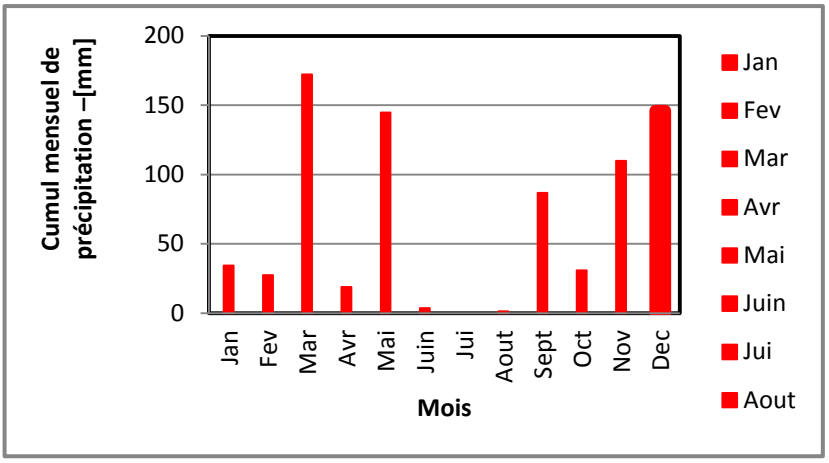


Figure III.5 : Histogramme des précipitations à Jijel (1999-2005)

Source : ONM – El Achouat Jijel.

II. Choix du cas d'étude

Le cas d'étude s'inscrit dans la catégorie des infrastructures aéroportuaires. Le choix s'est porté sur l'aéroport de Jijel (Achouat-Taher). Avant de le présenter, il parait nécessaire de citer les typologies des infrastructures de transport.

III. Types d'infrastructures de transport

Il existe plusieurs types d'infrastructure de transport :

III.1. Infrastructures routières

Les infrastructures routières constituent l'ensemble des ouvrages et équipements au sol destinés à faciliter le trafic routier, c'est-à-dire le déplacement des personnes et des biens d'un point donné à un autre[3].

Figure III.6 : la nouvelle gare routière de Rabat –Maroc

Source : https://www.bladi.net/gare-routiere-rabat-photos,50018.html

Une gare routière est un espace réservé à des bus qui déposent et prennent des voyageurs à un endroit donné. Les gares routières sont généralement desservies par plusieurs lignes, ce qui permet les correspondances entre elles. Elles sont également situées à proximité d'autres moyens de transports[4].

III.2. Gare ferroviaire

C'est un ensemble des bâtiments et voies d'un chemin de fer ou se font le dépôt des marchandises et l'embarquement ou débarquement des voyageurs. **Une gare ferroviaire** est le lieu d'arrêt des trains. Une gare comprend diverses installations qui ont une double fonction: permettre la montée ou la descente des voyageurs, ou le chargement et le déchargement des marchandises et pour certaines d'entre elles, assurer des fonctions de sécurité dans la circulation des trains[5].

[3] https://www.memoireonline.com
[4]Suel M (2010), la gare routière dynamique au cœur des villes. Étude Prospective RATP pour une application au secteur de Montparnasse . [En linge].URL : https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas 00878661/document
[5] Kadi S. et Ikhelf (2014), Rénovation de la gare ferroviaire de Tlemcen .mémoire Pour L'Obtention Du Diplôme d'Architecte d'Etat soutenue université de Tlemcen. [en ligne].URL :http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/6145/1/Ing.Arch.Kadi

FigureIII.7: gare ferroviaire – Algérie-

Source : https://www.observalgerie.com/actualite-algerie/economie/transport-aerien/photos-nouvel-aeroport-international-et-sa-gare-ferroviaire-proches-de-linauguration/

III.3. Gare métro

Une gare souterraine est celle que ses emplacements répondent simultanément aux trois conditions suivantes :

- Elles sont situées au-dessous du niveau de référence : niveau de la voirie utilisable par les engins des services publics de secours et de lutte contre l'incendie.
- Elles ont au moins la moitié de la surface de chaque face verticale longitudinale ne donnant pas à l'air libre.
- Elles sont couvertes en totalité[6].

Figure III.8: métro à St Lazare de Gare à Paris, France.

Source : https://fr.dreamstime.com/image-stock .

[6]Legrand V (2013), Réunion technique Quelques aspects sur la conception Ligne B - Station Métro OULLINS GARE Sécurité des personnes. [En linge]. URL : http://www.aftes.asso.fr/contenus/upload/File/Mastere%202012-2013/75c-Station_OGAERP-05-02-2013-IndA-VLegrand-p.pdf

III.4. Gare multimodale

C'est une gare qui englobe multiples modes de transport avec un haut degré de connectivité et échange entre ces modes[7].

Figure III.9 : gare multimodale de Saint-Louis

Source : https://www.lalsace.fr/loisirs/2015/10/07/le-tram-un-plus-pour-la-region-frontaliere.

III.5. Infrastructure portuaire

Les infrastructures et installations destinées à la fourniture de services portuaire liés au transport, par exemple les quais d'amarrage des bateaux, les murs de quia, les jetées, les rampes et pontons flottants dans les zones de marrée, les bassins intérieurs, les remblais et assèchements pour carburants de substitution et infrastructures pour la collecte des déchets d'exploitation des navires et des résidus de cargaison[8].

Figure III.10 : gare maritime d'Annaba

Source : https://www.scpaxxam.com/projets/gare-maritime-de-annaba/

[7]Mouffok F (2016), Transport. Projet : Gare Intermodale. Université de Tlemcen Mémoire De Master Soutenue en. [En ligne] URL : http://dspace.univ tlemcen.dz/bitstream/112/10518/1/Ms.Arc.Mouffok.F%2BMouffok.M.pdf
[8]https://fr.glosbe.com

Gare maritime : C'est un bâtiment au sein du port pour l'embarquement et le débarquement des passagers[9].

III.6. Infrastructure aéroportuaire

Selon l'encyclopédie scientifique en ligne, un aéroport est l'ensemble des bâtiments et des installations d'un aérodrome qui servent au trafic aérien d'une ville au d'une région.

Ces bâtiments et installations sont conçus pour que des avions puissent décoller et atterrir, que le fret et les passagers puissent embarquer et débarquer.

Les aéroports sont généralement situés à proximité d'une agglomération importants, tout en étant desservis par des liaisons routières rapides (voie expresse, autoroute) et des transports en commun[10].

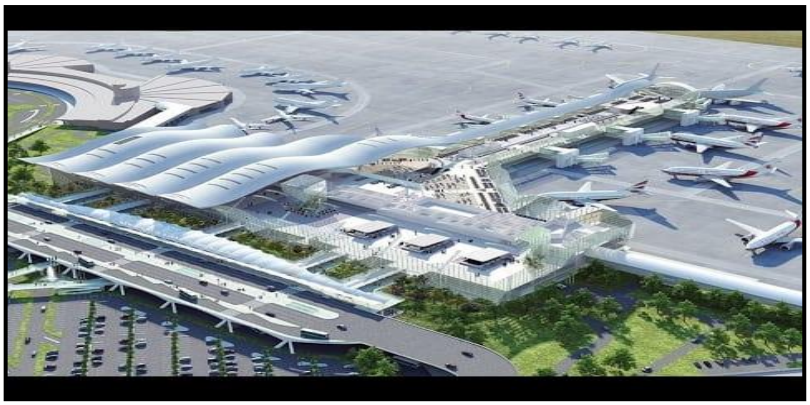


Figure III.11 : nouvel aéroport international d'Alger

Source : https://www.algerie-focus.com/2018/07/nouvelle-aeroport-dalger-un-projet-a-80-milliards-da/?cn-reloaded=1

IV. Critère du choix

Le choix de cet équipement comme cas d'étude tributaire de multiples critères :

- Un équipement qui reçoit un flux important des usagers (voyageurs et travailleurs).
- La présence des façades vitrée dans l'aéroport comparativement aux autres équipements de transport au niveau de Jijel, va influencer sur le confort thermique à l'intérieur et comme les façades ventilée sont les plus utilisées dans les infrastructures

[9] Alexandre Baguet & Isabelle Lortal. Mars (2010), les ports, Master IASIG Informatique Appliquée aux SIG Projet de Structuration
[10] billsergeconseil.com

de transport, on a voulu les proposer comme une alternative pour étudier son effet sur le confort thermique.

- La façade ventilée est employée beaucoup plus dans ce genre d'équipement. L'aéroport est favorable pour l'emploie de ce genre de technique.
- La gare routière est située dans un tissu urbain dense ce qui lui a permis d'être protégé contre les conditions climatiques (le vente/humidité, rayonne solaire). Par contre l'aérogare d'Achouat est située à la périphérie de Jijel dans une agglomération secondaire, ce site est dégagé, a rendu l'aérogare exposé au soleil, au vent et à la mer.

Figure III.12 : les infrastructures de transport de Jijel.

Source : auteur.

- Ici il est important de signaler que le choix du cas d'étude était orienté vers la gare maritime, mais l'absence de ce genre d'équipement au niveau de la ville de Jijel et les contraintes rencontrés au niveau de la gare maritime de Bejaia nous a poussé fortement à choisir cette aérogare vu la facilite d'accès et l'accueil de l'administration de l'aéroport.

V. Présentation du cas d'étude

V.1. Situation

Nous avons choisi comme objet d'étude l'aéroport de Jijel « Ferhat Abbas », est un aéroport international civil, situé dans la commune de Taher, 14 km à l'est de la ville de Jijel.

Figure III. 13 : situation de l'aéroport Ferhat Abbas.

Source : Google earth.

V.2. Fiche technique et limites du projet

L'emplacement précis et ces limites ce trouvent dans le tableau ci-dessous.

Tableau III.1. Fiche technique du cas d'étude

Limites	Nord	Terrain vierge
	Sud	Terrain vierge
	Est	R W 147
	Ouest	Terrain vierge
Maitre d'œuvre		M- Laraba et M- Bouhouhou
Maitre d'ouvrage		Détraction des transports - Jijel -
Nombre d'étage		R+1
Date de modifie		Avril 2009

Source : bureau d'étude

V.3. Caractéristique de l'aéroport

Tableau III.2. Caractéristique du cas d'étude

Aérodrome	Ferhat Abbas –Jijel-
Commune	Taher
Code /OACI	DAAV
IATA	GJL
Classification	Catégorie B
Superficie de la zone aéroportuaire	115 HA
Altitude	11 m
Coordonnées géographiques	Latitude 36 47 40 N Longitude 05 52 25 E
Date d'ouverture à la CAP	1981
Heure de vacation	H/12

Source : https://www.egsa-constantine.dz

V.4. Organisation de projet

Le projet est aménagé sur un terrain d'une superficie 5591,97m2, construit en R+1, destinée à traiter un flux de 400 000 passagers /an, et offrant plusieurs espaces à usage administratif et commercial.

V.5. Plan de masse de projet

Le plan de masse est composé de:

- Aéroport et l'administration des services météo.
- Un parking pouvant accueillir jusqu'à 200 véhicule.
- Présence des espaces verts.

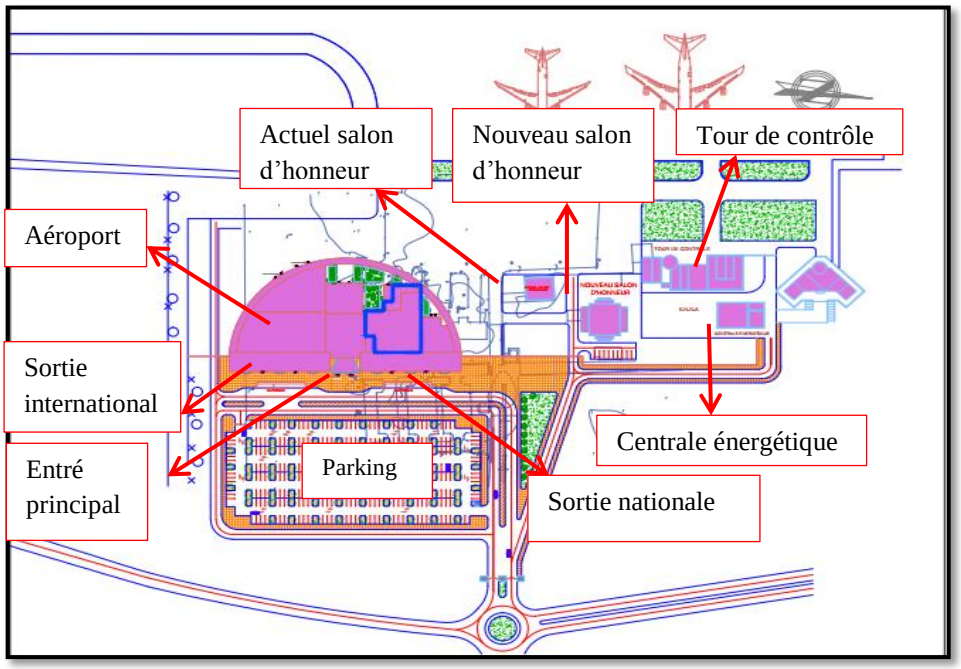


Figure III.14:plan de masse du cas d'étude.

Source : bureau d'étude.

V.6. Présentation architecturale du cas d'étude

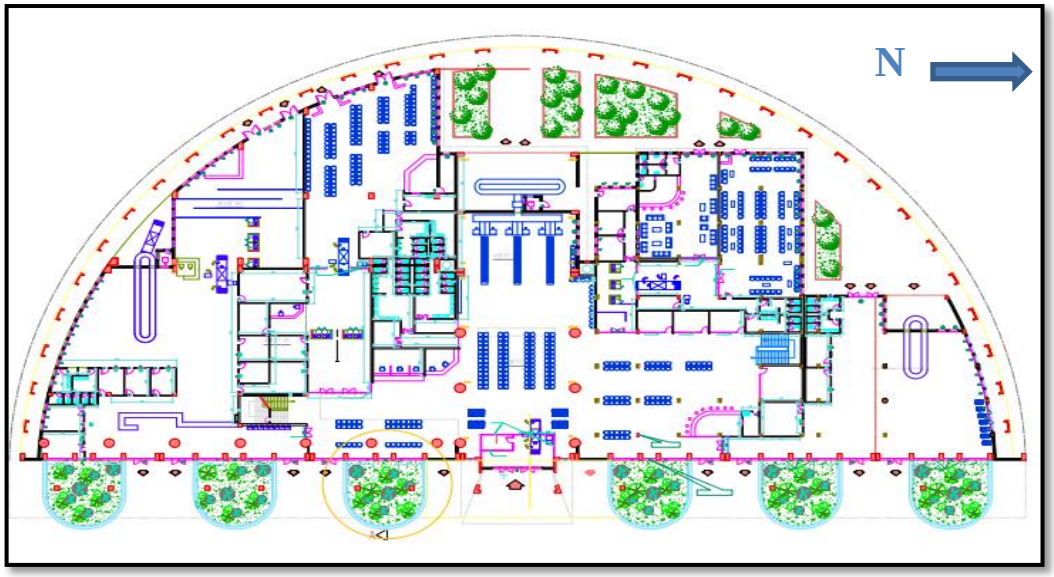


Figure III.15: plan de RDC

Source : bureau d'étude.

Le RDC comporte deux parties : voyage nationale et internationale de l'aéroport et ses annexes : l'embarquement et débarquement (nationale, internationale) ; halle d'attende ; enregistrement caféterie ; sanitaires (F/H).

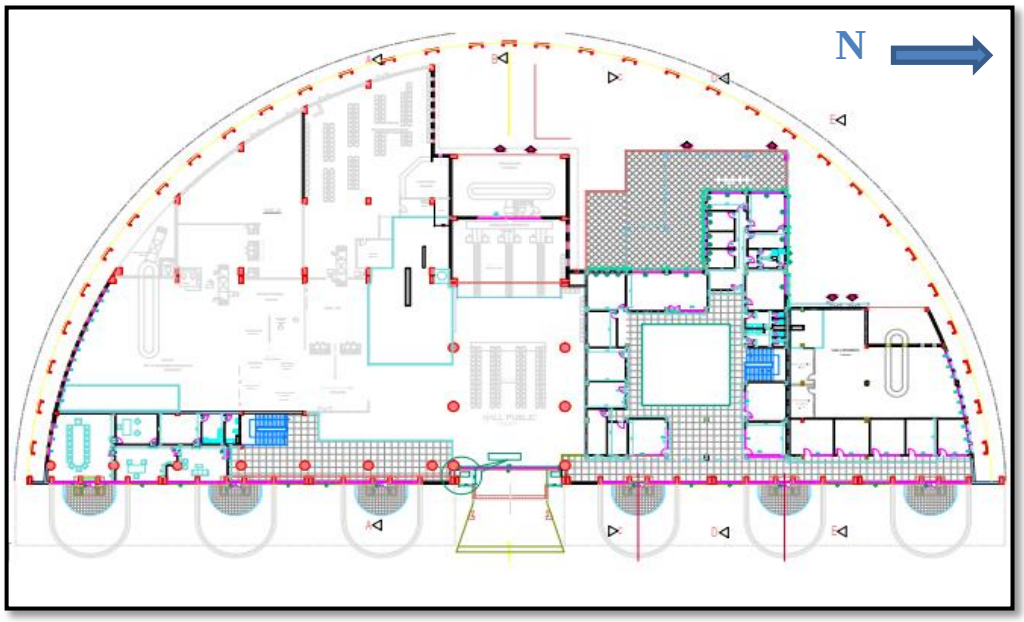


Figure III.16. Plan 1er étage.

Source : bureau d'étude.

1er étage composé de l'administration, les bureaux compagnies, sanitaires, caféterie, agences touristiques, poste PTT, vestiaires, bureaux, salle de réunion.

V.7. Les matériaux de construction

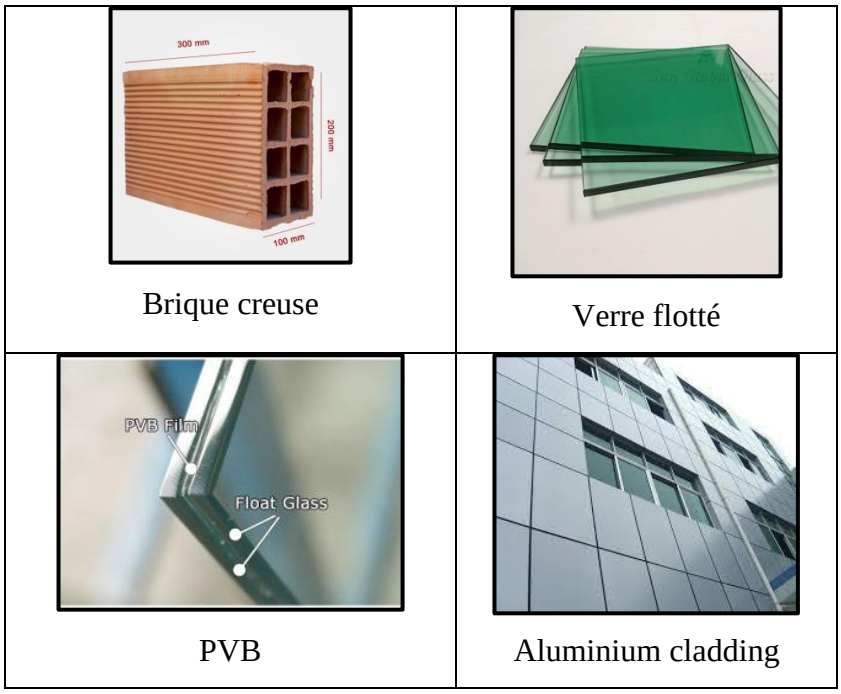


Figure III.17. Les matériaux de construction de l'aeroport

Source : auteur.

Les murs extérieurs sont en brique creuse d'une épaisseur de 15 cm, une lame d'air de 5 cm et brique creuse de 10cm, avec un enduit extérieur en mortier de ciment et l'aluminium cladding au niveau de la façade principale et a l'intérieure en enduit de ciment et plâtre. Les séparations intérieurs sont en brique creuse de 15 cm, avec enduit en plâtre sur les deux côtés. Les fenêtres sont de double vitrage d'une épaisseur de 10,38 mm (verre float de 5mm et poly butyral de vinyle -PVB -de 0.38mm).

Tableau III.3. Caractéristique des matériaux de construction

	Epaisseur (mm)	**Densité (kg/m3)**	**Chaleur spécifique (j/kg. °c)**	**Conductivité thermique (w/m.k)**
Enduit de plâtre	20	1150	1008	0.57
Brique creuse	150 -100	650	1008	0.39
Lame d'air	50	1	1000	0.047
Mortier de ciment	20	1900	864	0.80
Aluminium cladding	10	2700	880	23
Verre float	5	1080	3703	1
PVB	0.38	2500	2150	0.196

Source : auteur

Figure III. 18. Quelques photos de l'aéroport de Ferhat Abbas.

Source : auteur

VI. Méthodologie de travail

Ce travail s'organise selon la démarche suivante :

- Choix du cas d'étude.

- Choix des mesures comme méthode d'investigation au même temps une enquête sur terrain par questionnaire.

- Interprétation des résultats de mesure

- Simulation numérique par l'logiciel TRNSYS 17, en trois étapes : simulation du cas initial et deux scénarios représentant les modifications effectuées.

- Interprétation des résultats

VI .1. Investigation

VI.1.1. Objectif de la campagne de mesures

L'objectif des mesures est de quantifier les paramètres climatiques comme la température de l'air, l'humidité relative et la vitesse de l'air afin d'estimer le confort thermique intérieur et d'évaluer l'effet des façades (vitrage, ouverture et orientations) sur le confort thermique des usagers.

L'investigation a été faite au niveau du cas d'étude dans une journée de printemps (3Mars 2019) après avoir effectué plusieurs essais. Les mesures étaient bi-horaires.

VI.1.2. Instruments de mesure

Les instruments de mesure portatifs ont été utilisés qui sont disponibles dans le service météorologique de l'aéroport.

- **L'Anémomètre :** cet instrument est caractérisé par un double affichage, il est utilisé pour mesurer la température et l'humidité, vitesse de l'air et la lumière.
- **Brume :** cet instrument est utilisé pour mesurer la température sèche.
- **Thermomètre :** ce thermomètre est utilisé pour mesurer la température de l'air.

Figure III. 19. Les instruments de la mesure.

Source : auteur.

VI.1.3. Etalonnage des instruments de mesures :

On a fait l'étalonnage d'anémomètre pour déterminer l'exactitude de l'appareil par rapport à la brume et thermomètre de la station météorologique de l'aéroport.

Figure III.20. Anémomètre, thermomètre, abri.

Source : auteur.

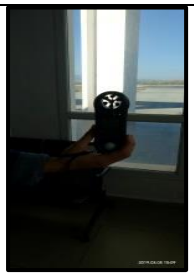
VI.1.4. Choix des points des mesures

Ce choix est dicté par les raisons suivantes :

- Connaitre la variation des différents paramètres climatiques dans les différents espaces de l'aérogare.
- Connaitre l'impact de la façade sur les variations par le rapprochement ou l'éloignement de cette dernière.
- Evaluer la perception de l'usager dans les différents espaces (voyageurs, employeurs).

Figure III. 21. Les points de mesure.
Source : bureau d'étude.

Tableau III.4. Les points de mesure

Point	Photo	Localisation
P1	interdit	Extérieur
P2	interdit	Hall
P3	interdit	Hall d'attente
P4	interdit	Hall d'attente
P5	interdit	Hall d'attente
P6	interdit	Enregistrement
P7		Sortie
P8		Salle d'embarquement

P9		Salle d'embarquement

Source : auteur.

VI.1.5. Le choix des jours de mesure

- Vue les contraintes pour le choix de cas d'étude, le travail sur terrain a été retardé et on a essayé de rattraper ce retard on effectue une mesures entre la fin de février et début de mars. Des mesures d'essai ont été faite le 25 /02/2019 - 26/02/2019 - 04/03/2019, pour avoir une idée sur l'ambiance thermique intérieure vu qu'il y avait un système de climatisation artificiel (qui maintient une T de 21°).
- Déroulement de l'investigation c'est 25/02/2019- 04/03/2019
- La mesure est bi horaire.

VI.1.6.Déroulement de l'investigation

- Déroulement de l'investigation c'est 25/02/2019- 04/03/2019
- Pour la mesure de la température de l'air et l'humidité relative on a suivé ces étapes:
- Nous avons choisi les points que nous voulons pour mesurer.
- Nous prenons les mesures à une hauteur de 1,20 m chaque 2h.
- Nous avons enregistré les résultats dans un tableau.
- Traduire les résultats obtenus des courbes.

Figure III. 22. Points de mesure de la température et l'humidité.

Source : auteur.

VI.1.7. Analyse et interprétation des résultats de l'investigation

VI.1.7.1. Evaluation de la température de l'air et l'humidité relative (période hivernale)

Les graphes des températures intérieures montrent que les températures mesurées sont supérieures à la température météo. Un écart de 3.7 °C a été enregistré à 13h. Ceci est dû à la vitesse du vent à l'extérieur (0.6 m/s à 10h) alors qu'on a effectué les mesures dans une enveloppe fermée, uniquement les entrées et les sorties qui s'ouvrent mais d'une façon automatiques et contrôlables, et les ouvertures ne s'ouvrent pas et donc les vitesses du vent à l'intérieur sont équivalentes à 0 m/s**. (Figure III.23).**

On remarque que les températures intérieure se différent d'un point à l'autre ou on trouve une augmentation près de la façade à cause de l'exposition solaire notamment au niveau des deux points **P2** et **P7**. Tandis que dans les autres points **P3**, **P4**, **P5**, **P6** les températures se diminuent dès qu'on s'éloigne des façades et on la réduction des rayons solaires, puis elle augmente à10h et 16 h environ 23C°à cause du mouvement des travailleurs a la période matinal et le mouvement des passagères a la période vespérale. Les températures se diminuent au niveau du point **P8**, **P9** à cause de la différence de l'orientation des deux points car le point **P8** est orienté au Nord et le point **P9** vers l'ouest où on remarque qu'elle augmente progressivement atteignant 23.3C° à 16h. Ce qui a été remarqué que les températures intérieures augmentent au fur et à mesure que le flux des voyageurs augmente et le mouvement lié au déplacement et à l'activité.

En ce qui est de l'humidité relative, les résultats des mesures ont montré que l'humidité relative de la station météo est supérieure à celles mesurées. La valeur la plus élevée est

estimée à 48,60% à 10h tandis que l'humidité météo est de 66%. Par contre, les valeurs des humidités à l'intérieur sont identiques à partir de 13h et ne présentent que de faibles écarts notamment la matinée (**figure III.24**). Cela s'explique pas l'absence de courant d'air et les ouvertures ne s'ouvrent pas.

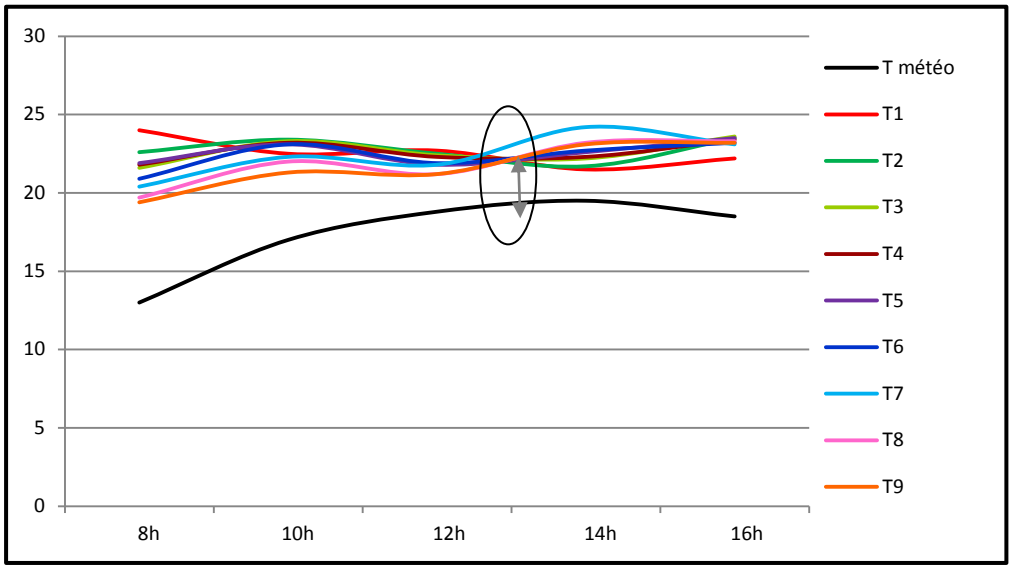


Figure III .23. Courbe des températures mesurées.
Source : auteur.

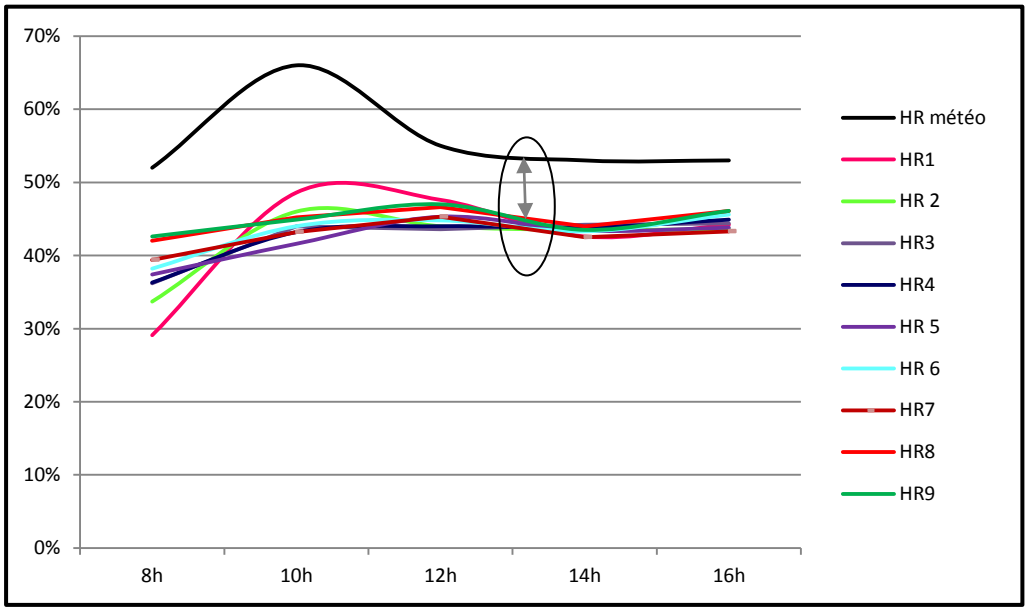


Figure III .24: courbe des valeurs d'humidité mesurées.

Source: auteur.

VI.1.8. Synthèse

Apres l'analyse des résultats des températures de l'air et l'humidité relative on conclu que les espaces intérieurs de l'aérogare était inconfortables du moment que les températures dépassent le seuil du confort admis à 23C° dans ce genre d'équipement. Pendant les heures des vols le mouvement des voyageurs et le flux augmentent. Les heures des vols sont le matin à 8h à 9h et de 16h à 17h. Au-delà de ces périodes, les températures restent stables et l'aéroport devient confortable ceci est dû à l'existence d'un système ventilo convecteur.

Aussi, les espaces orientés vers l'ouest gagnent beaucoup de chaleur à travers les façades vitrées parce que le vitrage capter le maximum des rayons solaire surtout pendant la période vespérale. Plus on se rapproche des façades on trouve plus de chaleur (la température élever par apport on éloignés de la façade).

Conclusion

Apres une analyse et l'interprétation des résultats de l'investigation on obtient que les espaces intérieures sont pas confortable à cause de l'impact de la façade réelle, cette dernière est influencée par son orientation et sa longueur donc, l'aéroport a besoin d'une ventilation naturelle.

Chapitre IV :

Evaluation de la performance thermique de la façade ventilée

Introduction

Ce chapitre est dédié à la simulation numérique par le logiciel TRNSYS 17. Le déroulement de la simulation et les scénarios proposés seront également expliqués. La simulation concerne en premier lieu l'état initial de l'aéroport, et d'évaluer en deuxième lieu l'efficacité énergétique de la façade ventilée.

Aussi, on va proposer un ensemble des solutions qui seront vérifiées par rapport aux normes, on se basant sur les résultats obtenus. Le choix sera dégagé en fonction de leur efficacité en ce qui concerne l'amélioration de confort thermique à l'intérieur de l'aéroport (Hall et salle d'embarquement) en utilisant l'adaptabilité des façades, qui permettent une pénétration contrôlée des rayons solaires et donc un bénéfice maximal des potentialités énergétiques naturelles, en réduisant la nécessité d'utiliser les énergies artificielles (électricité) pour le chauffage ou bien pour la climatisation.

I. Présentation de la technique d'étude utilisée

I.1.L'outil de travail (simulation numérique)

C'est l'un des outils qui consiste à simuler (faire paraitre comme réelle une chose qui ne l'est pas) un système/phénomène donné afin d'étudier son fonctionnement, ses propriétés et de prédire son évolution. La simulation numérique repose sur la programmation des modèles théoriques ou mathématiques adaptés aux moyens numériques. C'est donc une série de calculs utilisant souvent la technique des éléments finis effectuée sur un support matériel « Ordinateur » dont les interfaces graphiques permettent la visualisation des résultats par des « images de synthèse »[1].

I.2. Objectif de l'étude

L'objectif de la présente étude est de déterminer l'influence de la façade ventilée sur le confort thermique de l'aéroport de Jijel-Ferhat Abbas- et d'obtenir les résultats quantitatifs et qualitatifs en relation avec les paramètres de la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse du vent, et la consommation énergétique.

[1]Benkhedda Samira, 2012, Simulation multi agents d'un comportement humain face à une situation d'urgence, Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister, Université des sciences et de la technologie d'Oran, p 13.

I.3. Argumentation du choix des logiciels de Simulation

Les logiciels de simulation thermiques ont connu et connaissent encore une évolution très rapide. Ils permettent de simuler l'effet de chaleur sur la consommation énergétique dans un espace architectural localisé. Cela donne la possibilité de réaliser une conception économe des bâtiments.

Nous avons opté pour le choix du logiciel TRNSYS 17, grâce à son adéquation avec notre méthodologie du travail. Ce logiciel TRNSYS est spécialisé dans la simulation thermique appliquée au bâtiment.

I.4. Présentation de logiciel de simulation TRNSYS 17

Le logiciel permet d'intégrer toutes les caractéristiques d'un bâtiment et de son équipement (systèmes de chauffage, climatisation) pour mener une étude mono ou multizone détaillée de son comportement thermique. TRNSYS intègre les variables d'emplacement, de matériaux de construction, d'architecture globale, de concept énergétique choisi, y compris les plus complexes tels que les systèmes solaires innovants.

TRNSYS permet aux bureaux d'études, aux fabricants et aux fournisseurs de gaz et électricité de simuler les performances thermiques d'un bâtiment, y compris en géométrie 3D, afin de[2] :

- Réduire le temps et le coût des études.
- prendre en compte des phénomènes.
- valider les choix architecturaux et d'équipements.
- réaliser des bâtiments énergétiquement performants.
- expérimenter des approches novatrices compatibles HQE.

[2]Actu-environnement,https://www.actu-environnement.com/materiels-services/produit/logiciel-trnsys-cstb-simulation-thermique-batiments-et-systemes-2473.php

Figure IV.1 :TRNSYS 17.
Source: http://cfd2012.com/trnsys.html

II. Déroulement de la simulation

La simulation s'est déroulée pendant des périodes 21 décembre, 21 juin par logiciel TRNSYS 17 on étudie le paramètre suivant (température, humidité, consommation énergétiques annelles) en deux étapes :

- Le cas initial.
- Scénario avec la façade ventilée (les composants de façade ventilée).

II.1.Démarches de la simulation

La simulation a été établie à l'aide de plusieurs logiciels, qui sont :

1. **Sketch-up :** pour la création de la géométrie

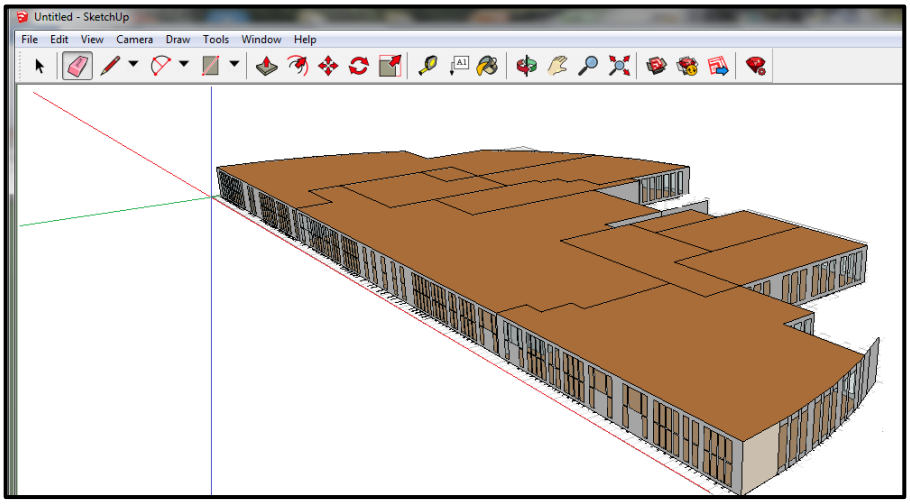


Figure IV.2 : la géométrie du cas d'étude.

Source : auteurs

2. **Météonorm7:** pour les données climatiques de willaya de Jijel.

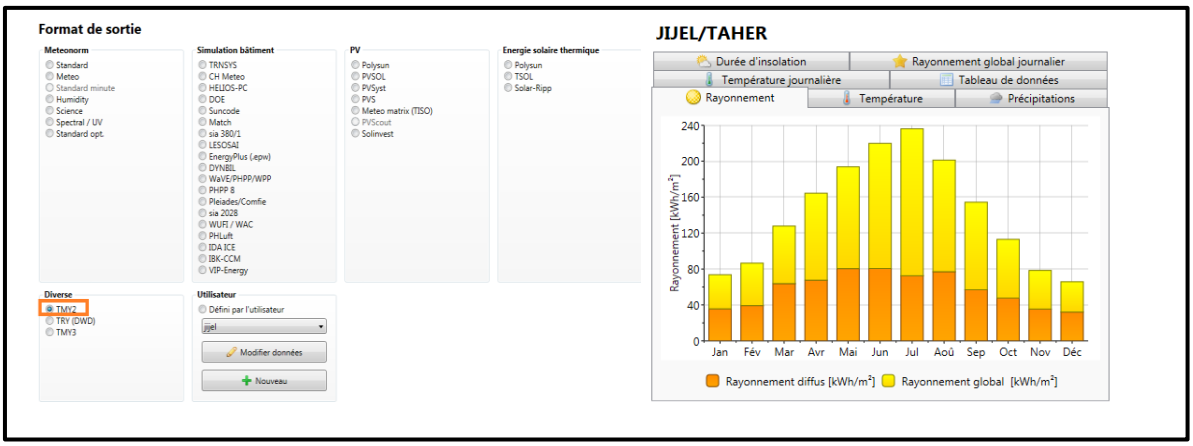


Figure IV.3 : les résultats de meteonorm7.

Source : mateonorm7

3. **TRNBuild :** pour la modélisation du prototype avec toutes ses caractéristiques formelles, dimensionnelles et techniques.

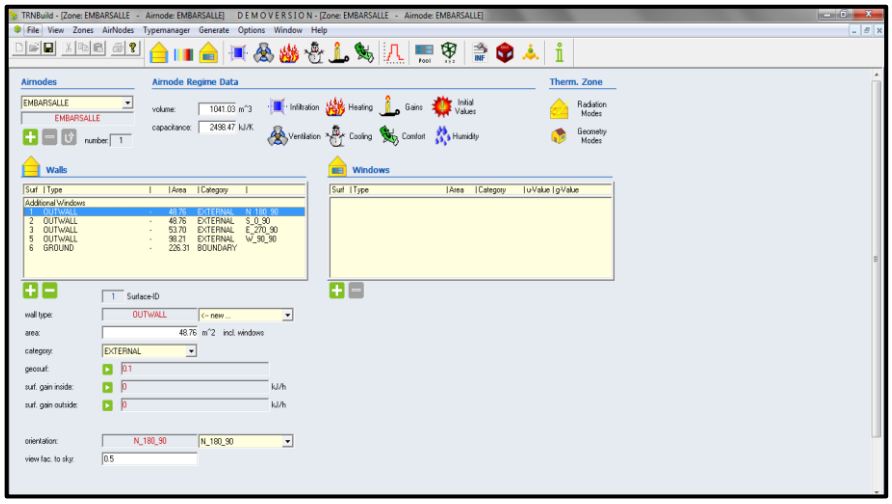


Figure IV.4: Interface de simulation du prototype dans TRNBuild.

Source : auteurs

4. **Simulation Studio :** pour la simulation ainsi que l'estimation de l'énergie incidente sur 1m².
   - Importer le projet de simulation
   - Entrée les composants des murs extérieur, intérieur, plafond, plancher

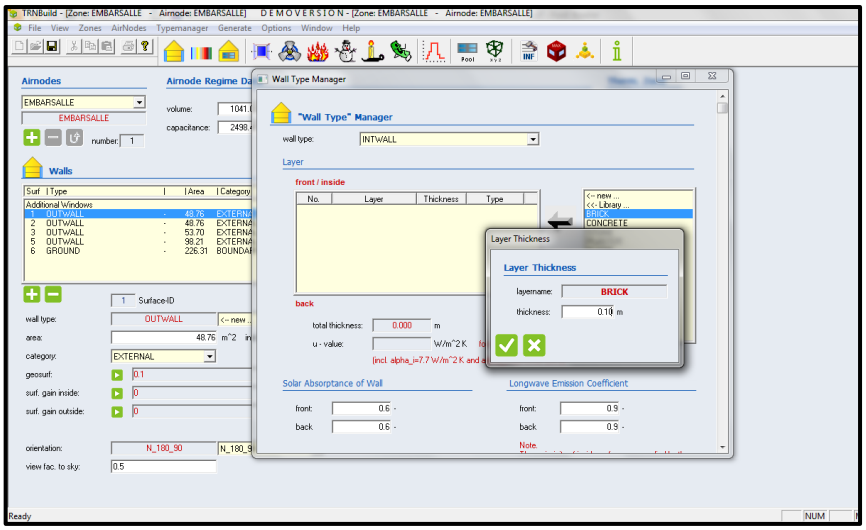


Figure IV.5: Interface de simulation studio.
Source : auteurs

Tableau IV.1 : les matériaux utilisé pour la simulation

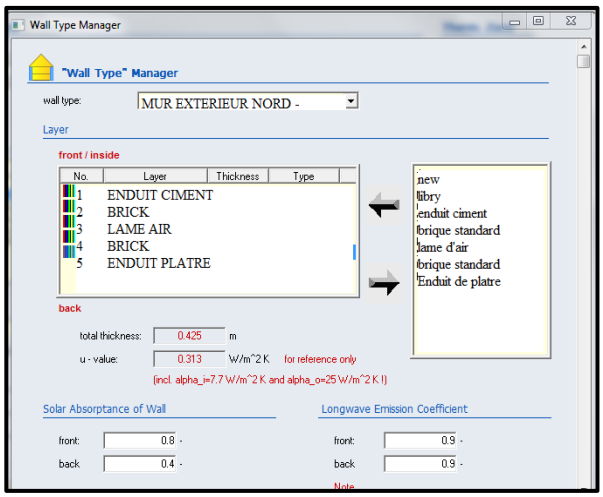
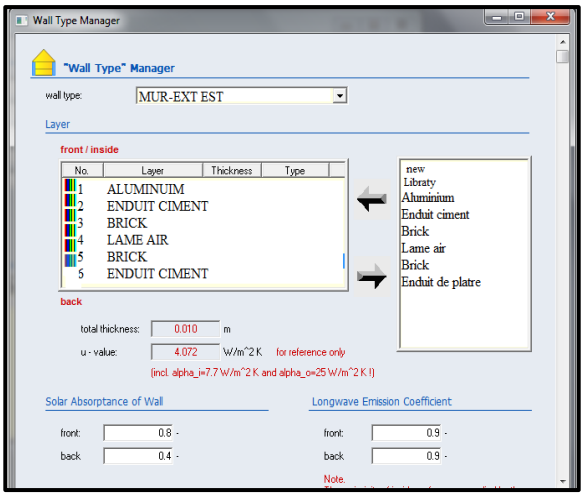
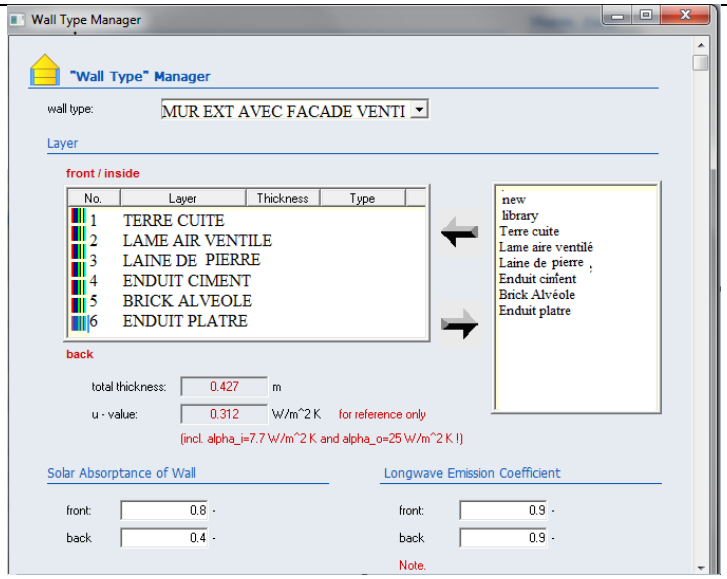
Cas initial					
Composition du mur extérieur de la façade Est		**Composition du mur extérieur de la façade nord -ouest**		**Composition du mur intérieur**	
Aluminium	2 cm	Enduit ciment	2 cm	Enduit de plâtre	2 cm
Enduit ciment	2 cm	Brique standard	10 cm	Brique standard	15 cm
Brique standard	15 cm	Lame d'air	5 cm	Enduit de plâtre	2 cm
Lame d'air	5 cm	Brique standard	10 cm		
Brique standard	10 cm	Enduit de plâtre	2 cm		
Enduit de plâtre	2 cm				

Cas de façade ventilée				
	Epaisseur (mm)	**Densité (kg/m3)**	**Chaleur spécifique (j/kg. °c)**	**Conductivité thermique (w/m.k)**
Mono mur de terre cuite	20	740	1008	0.12
Lame d'air ventilée	80	1	1000	0.192
Laine de pierre (densité forte)	30	100	1074	0.045
Enduit ciment	20	1900	864	0.8
Brique alvéole	150	687	1008	0.152

Enduit de plâtre	20	1150	1008	0.57

Source : auteurs

Tableau IV.2: les matériaux utilisé pour la simulation par logiciel

Composition du mur extérieur de la façade nord – ouest (Cas initial)	Composition du mur extérieur de la façade Est (Cas initial)
	
Composition du mur extérieur de la façade (Cas de façade ventilée)	
	

Source : auteurs

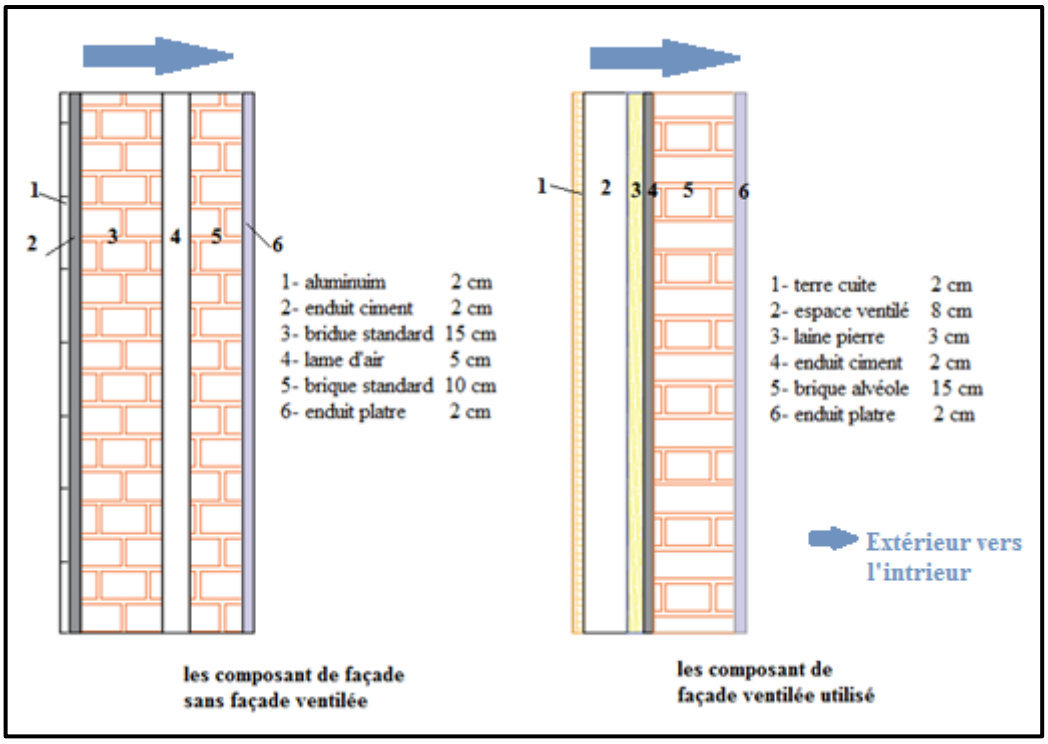


Tableau IV.6 : Schémas représente les composants de la façade (de l'extérieure vers l'intérieure)

Source : auteurs

- Crée les types de l'infiltration, climatisation, chauffage

Figure IV.7 : les types de l'infiltration, climatisation, chauffage
Source : auteurs

5. **Microsoft Excel :** pour donner les résultats finals.

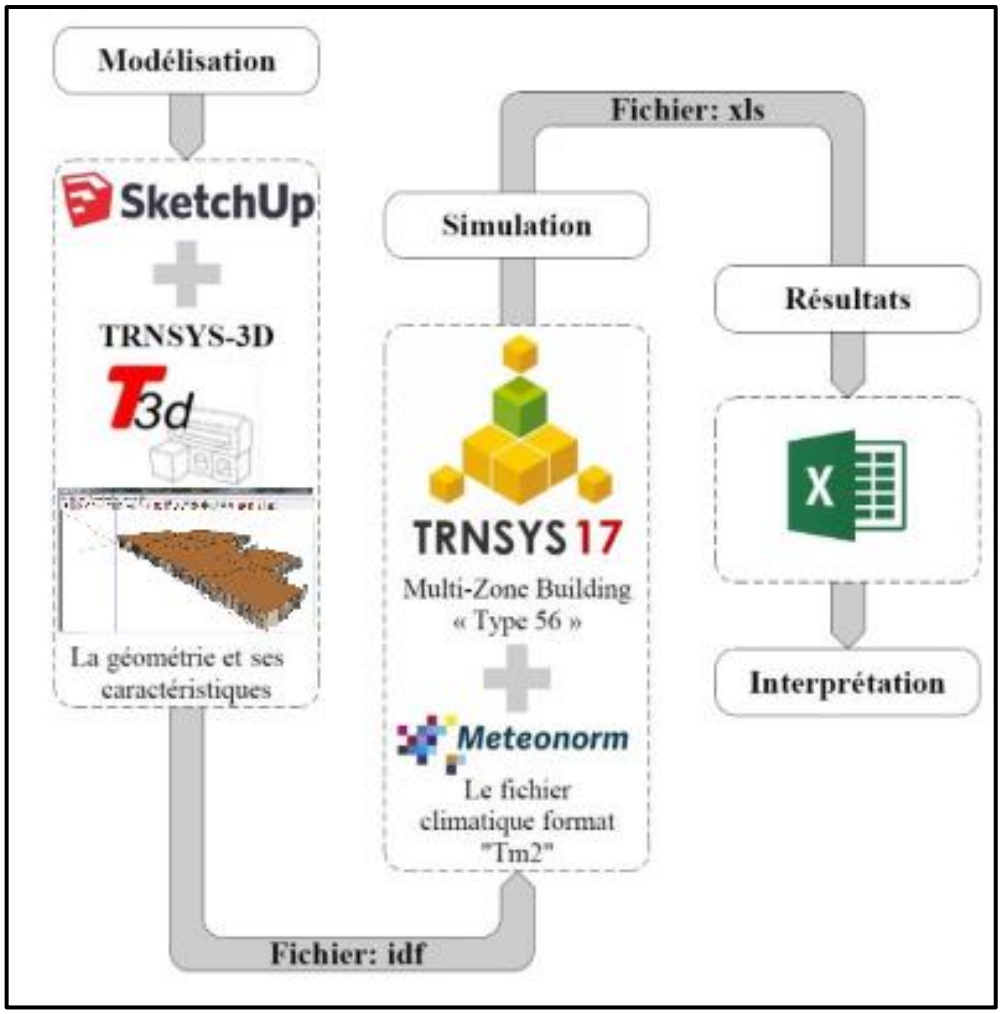


Figure IV.8 : Schémas représente les déférentes étapes de la simulation.
Source : auteurs

III. Résultat de la simulation du cas initial (sans façade ventilée)

III.1.Evaluation de la température de l'air

Dans cette simulation, on a choisi (21 Décembre) et (21 Juin) d'été.

Les résultats montrent qu'en période froide, les températures de la salle d'embarquement sont légèrement élevées par rapport à celles du hall. En été, le hall présente des températures beaucoup élevées que la salle d'embarquement. Ceci s'explique par l'orientation de sa façade. D'après les graphes, on remarque que les températures de l'air (Hall et Salle embarquement) sont hors la zone de confort.

- **En 21 décembre**

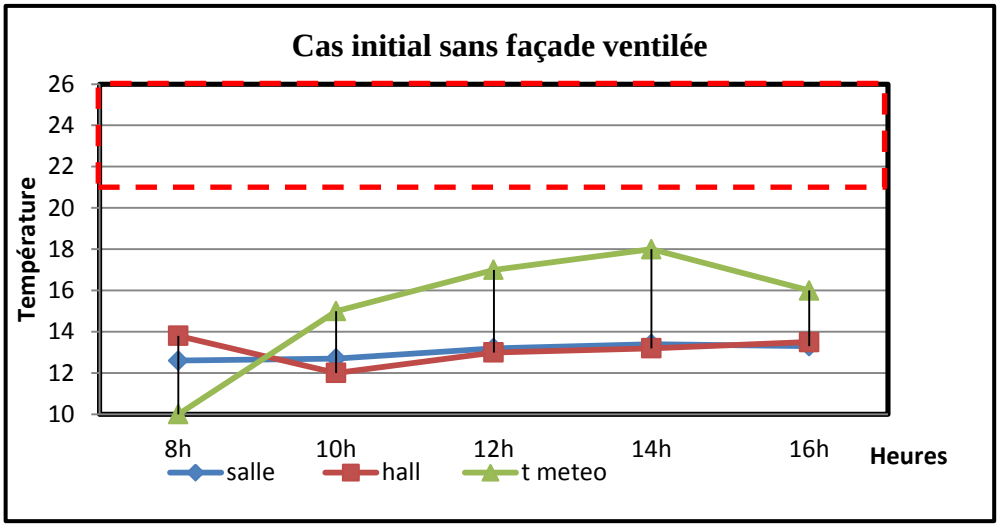


Figure IV.9: Comparaison des températures du cas initial avec la zone du confort

Source : auteurs

- **En 21 juin**

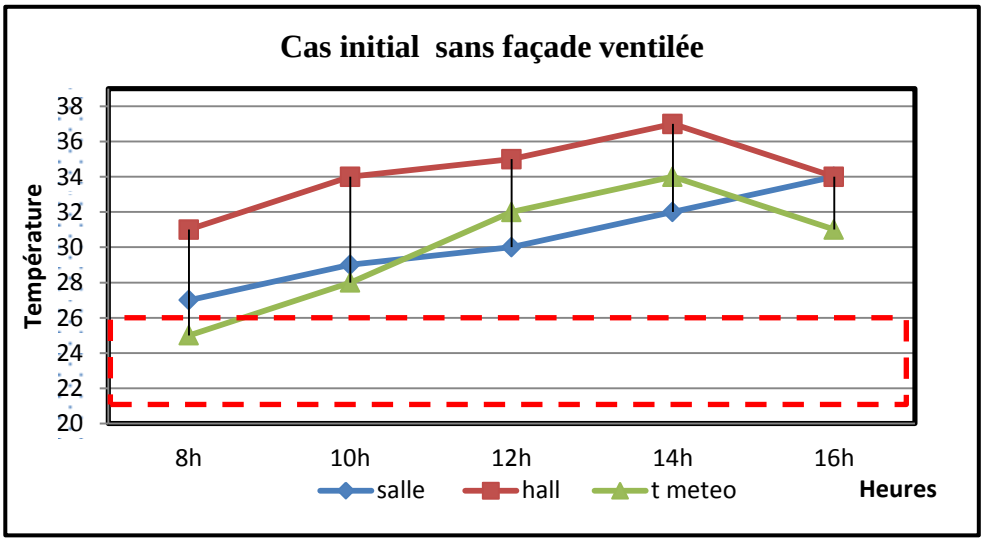


Figure IV.10: Comparaison des températures du cas initial avec la zone du confort

Source : auteurs

III.2.Evaluation d'humidité relative

Les valeurs d'humidité relative confortable sont vraies entre 30 % et 70 %.

Après les résultats en remarque que l'humidité relative dans la salle d'embarquement et le hall était confortable (les diagrammes était à la zone de confort)par contre l'humidité météo n'était pas confortable (hors la zone de confort).

- **En 21 décembre**

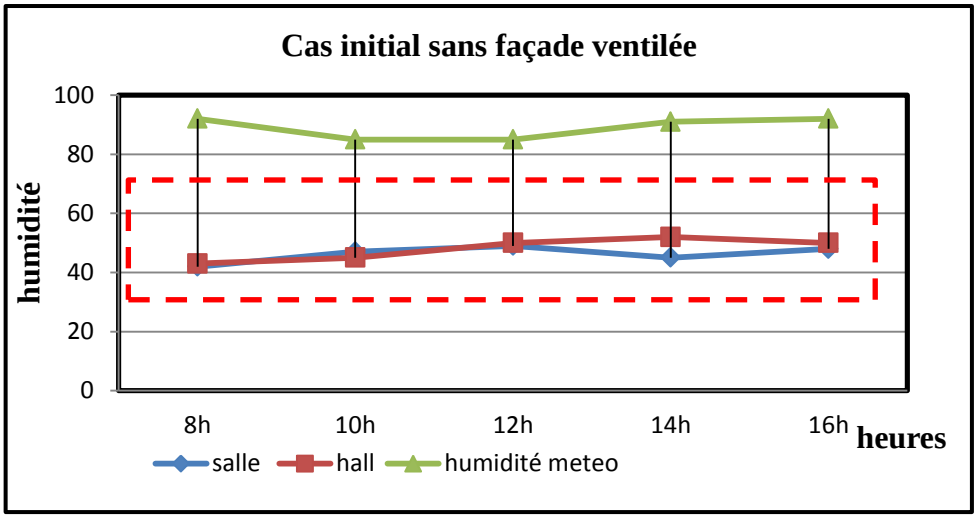


Figure IV.11: Comparaison des valeurs d'humidité du cas initial avec la zone du confort

Source : auteurs

- **En 21 juin**

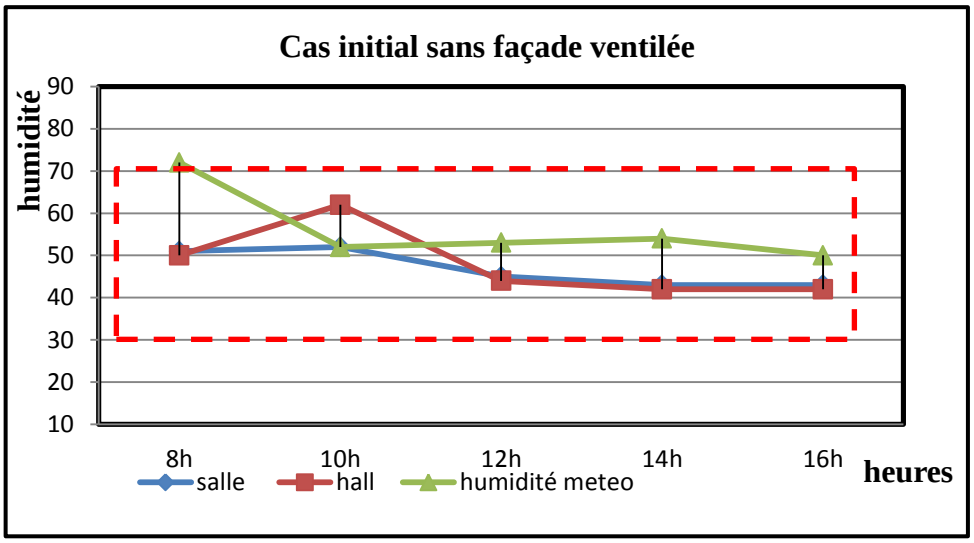


Figure IV.12: Comparaison des valeurs d'humidité du cas initial avec la zone du confort
Source : auteurs

IV. Résultat de la simulation du scénario proposé (avec façade ventilée)

Dans cette simulation, la façade ventilée se compose de : Mono mur de terre cuite, Lame d'air ventilé, Laine de pierre (densité forte), Enduit ciment, Brique alvéole, Enduit de plâtre, avec une épaisseur de 32 cm.

Les changements ont touché les matériaux utilisés sur le mur extérieur orienté vers l'Est (le hall), le mur extérieur orienté vers le nord et le mur orienté vers l'ouest (salle d'embarquement).

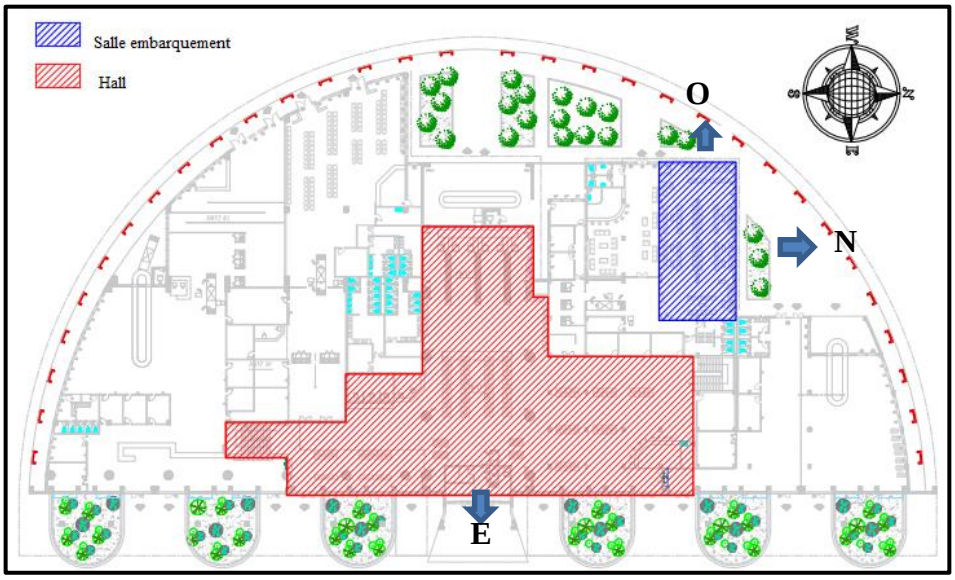


Figure IV.13: Plan RDC de l'aéroport
Source : auteurs

IV.1.Evaluation de la température de l'air

- **En 21 décembre**

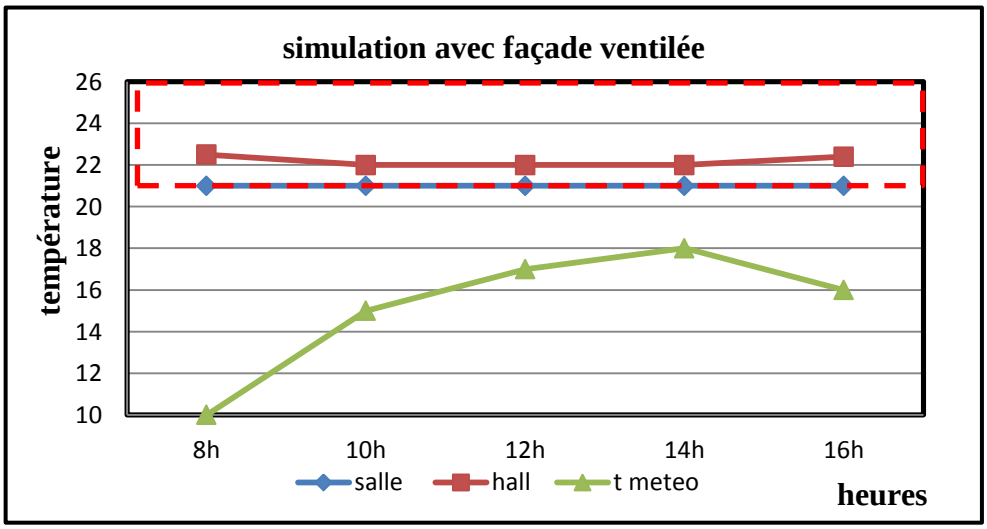


Figure IV.14: Comparaison des températures du cas de la façade ventilée avec la zone du confort
Source : auteurs

- **En 21 juin**

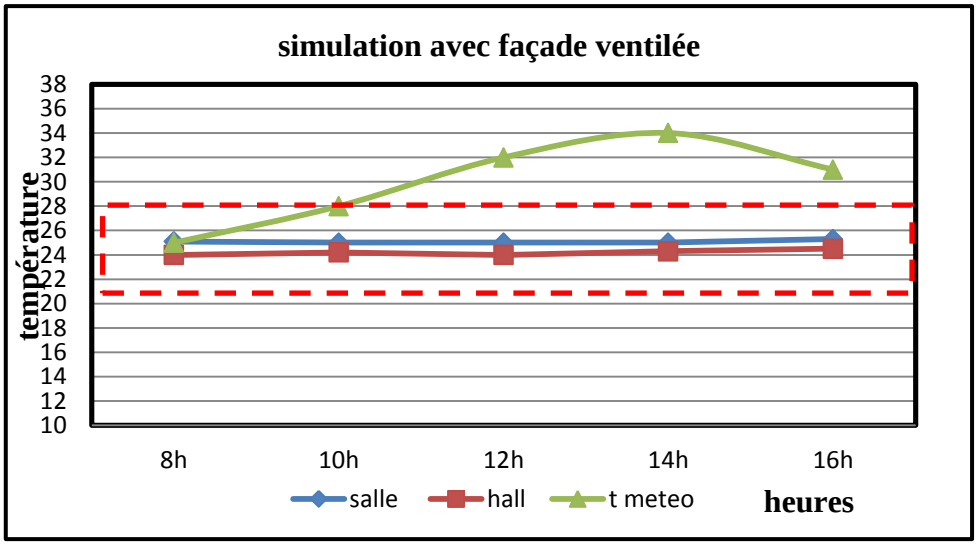


Figure IV.15: Comparaison des températures du cas de la façade ventilée avec la zone du confort

Source : auteurs

D'après les graphes, on remarque que dans le cas de la façade ventilée une amélioration considérable des températures des espaces de l'aéroport dans le mur de la façade extérieure orientée vers l'est en particulier et la plupart de ces températures sont dans la zone du confort.

IV.2.Evaluation d'humidité relative

- **En 21 décembre**

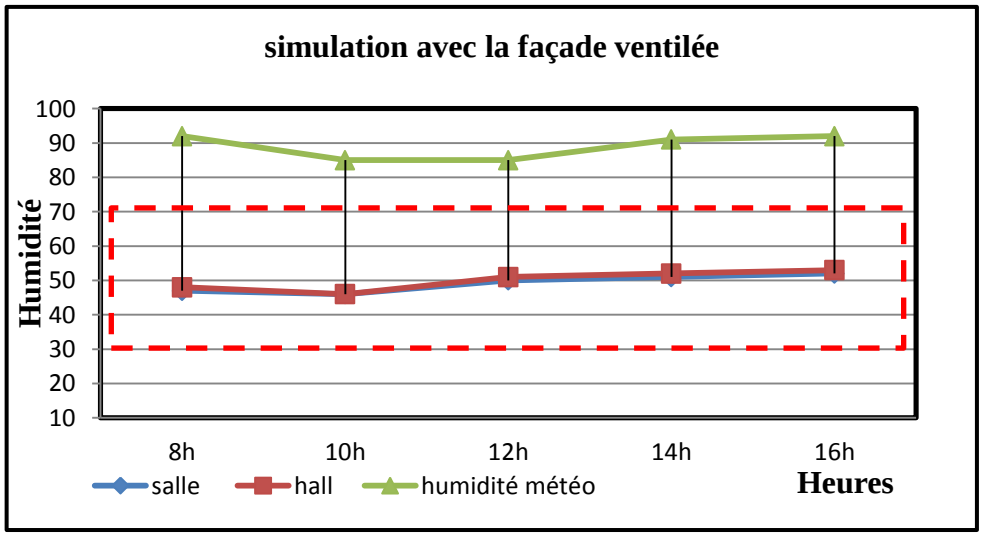


Figure IV.16: Comparaison des valeurs d'humidité du cas de la façade ventilée avec la zone du confort
Source : auteurs

- **En 21 juin**

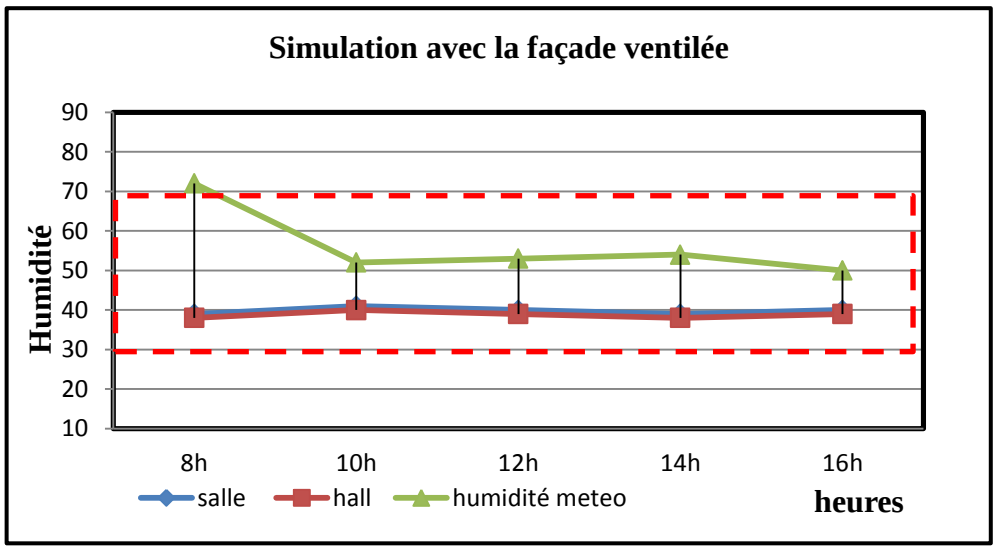


Figure IV.17: Comparaison des valeurs d'humidité du cas de la façade ventilée avec la zone du confort
Source : auteurs

D'après les résultats obtenus, on remarque qu'en été l'humidité relative est dans la zone de confort.

V. Simulation de la consommation énergétique

Dans l'aéroport, le confort thermique n'est toujours maintenu qu'avec l'utilisation de la climatisation centrale et le chauffage. Le système utilisé ici est un système ventilo-convecteur qui fixe la température à 21°C.

V.1.Evaluation de la température avec le chauffage

- **En hiver**

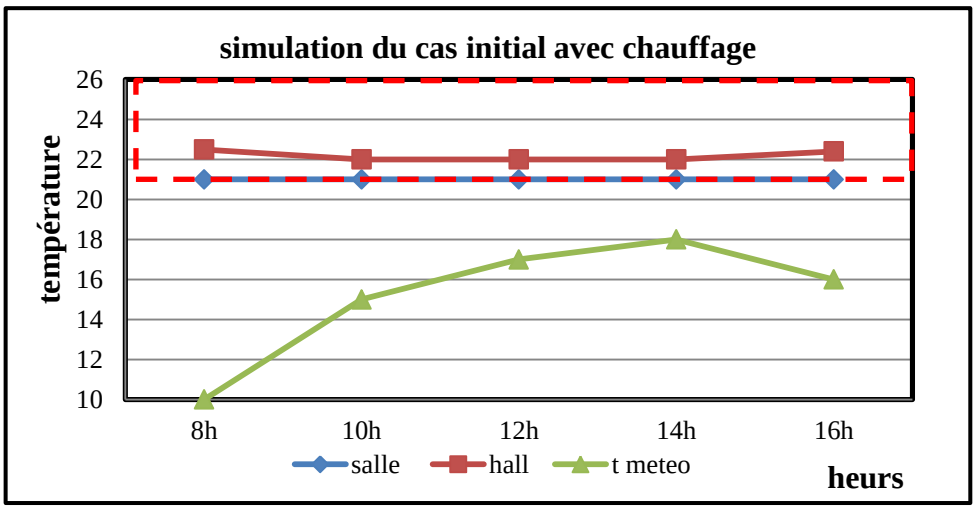


Figure IV.18: Comparaison des valeurs des températures du cas initial avec chauffage en hiver
Source : auteurs

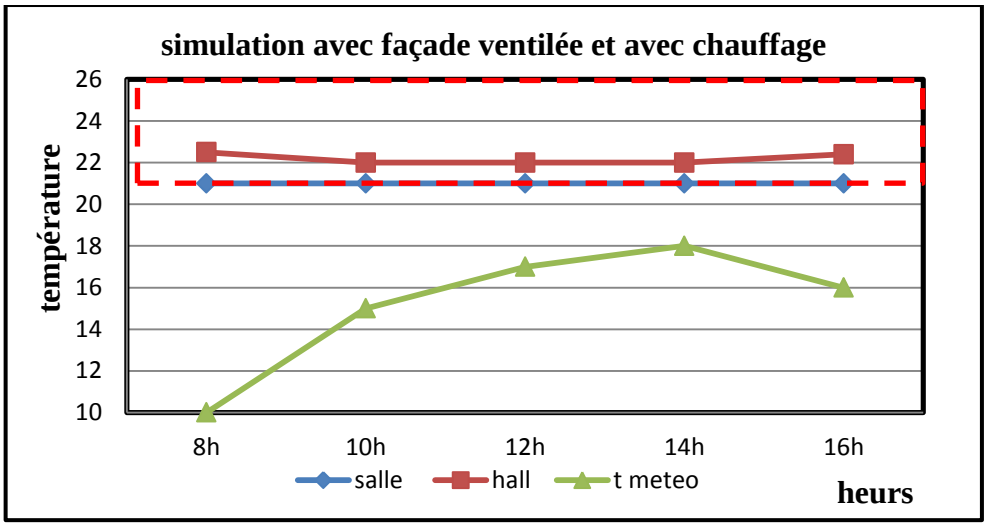


Figure IV.19: Comparaison des valeurs des températures du cas de façade ventilée avec chauffage en hiver

Source : auteurs

V.2.Evaluation de la consommation annuelle de chauffage

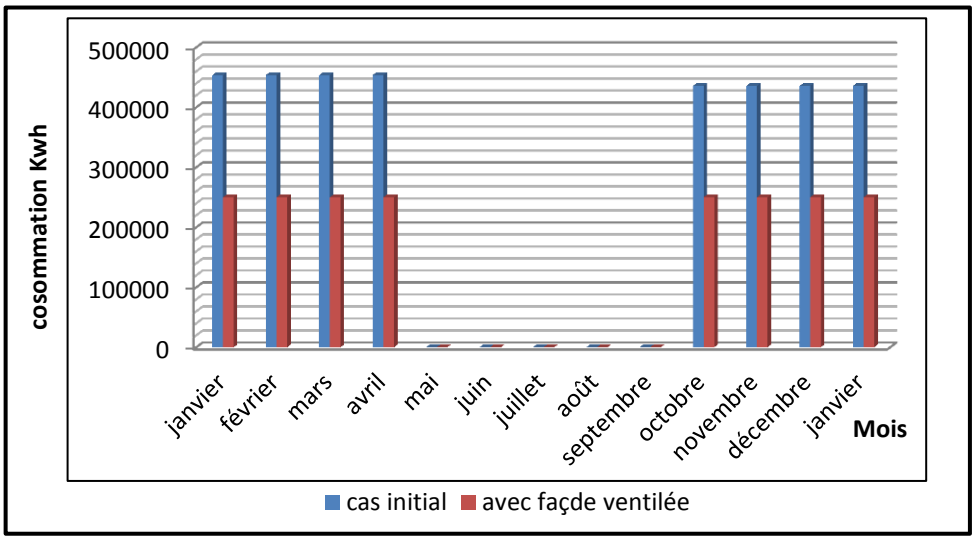


Figure IV.20: la consommation annuelle de chauffage

Source : auteurs

Les résultats annuels concernant l'utilisation de chauffage montrent que l'énergie consommée dans l'aéroport est très élevée par rapport à celle consommée dans l'aéroport qui dispose d'une façade ventilée.

V.3.Evaluation de la température avec la climatisation

- **En été**

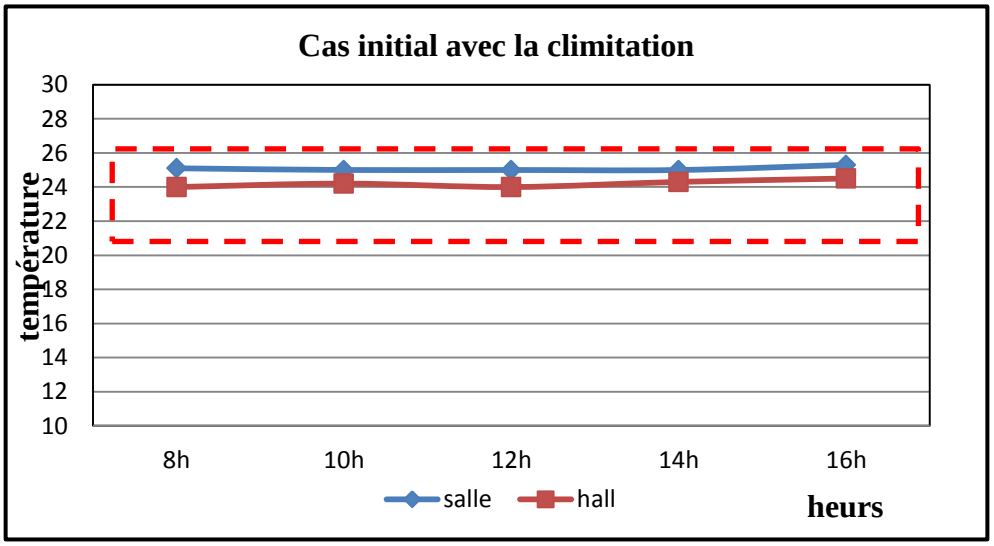


Figure IV.21: Comparaison des valeurs des températures du cas initial avec la climatisation

Source : auteurs

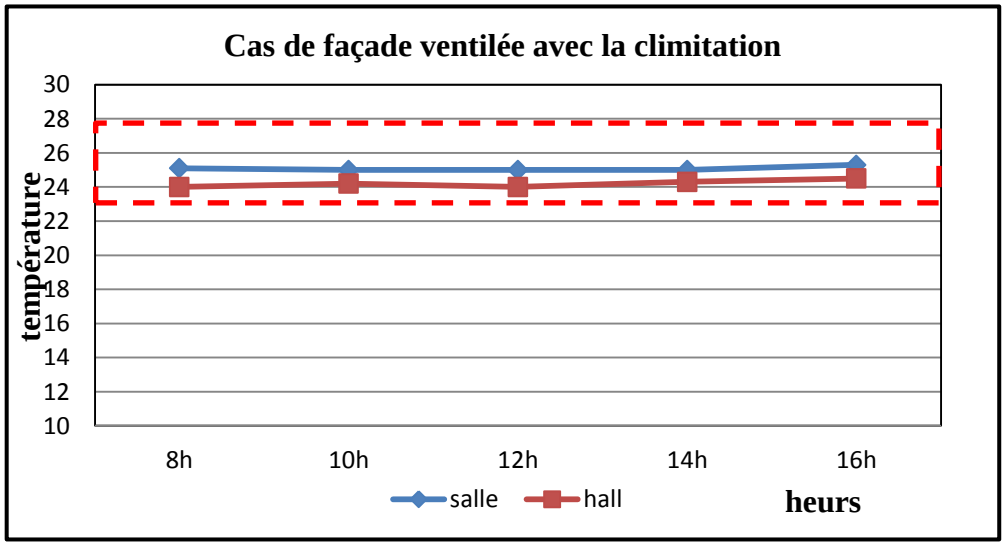


Figure IV.22: Comparaison des valeurs des températures du cas de façade ventilée avec climatisation

Source : auteurs

V.4. Evaluation de la consommation annuelle de climatisation

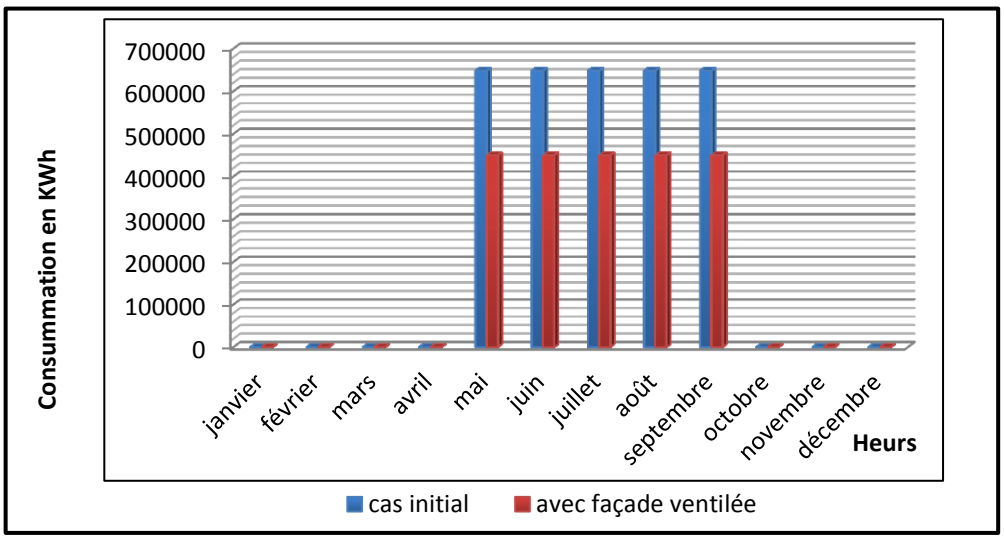


Figure IV.23: la consommation annuelle de climatisation

Source : auteurs

Les résultats annuels concernant l'utilisation de climatisation montrent que l'énergie consommée dans l'aéroport est très élevée par rapport à celle consommée dans l'aéroport qui dispose d'une façade ventilée.

V.5. Consommation énergétique annelle totale

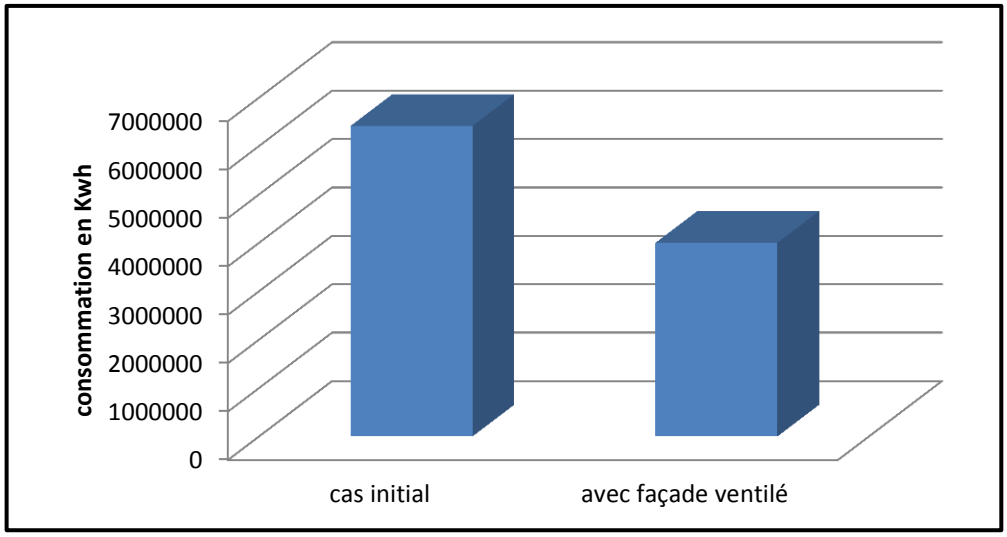


Figure IV.24: la consommation énergétique annuelle totale

Source : auteurs

Les résultats de la consommation annuelle en chauffage et climatisation montrent que l'énergie consommée dans l'aéroport est plus élevées (presque la moitié) que celle consommée dans l'aéroport avec une façade ventilée.

V.6. Synthèse

Après les calculs faits par le logiciel TRNSYS, et d'après les graphes ci-dessus, on conclut quand utilisant la façade ventilée, la consommation Energétique en terme du chauffage et climatisation se réduit comparativement à l'utilisation de la paroi ordinaire. Aussi le confort a été atteint dans la salle d'embarquement que dans le hall, en hiver comme en été avec des faibles variations.

Conclusion

Cette étude a été réalisée par le logiciel de simulation TRNSYS 17. On a présenté deux scénarios de simulation pour évaluer l'état de confort thermique à l'intérieur du l'aéroport. Le premier c'est l'état initial sans façade ventilée, alors que le deuxième est avec la façade ventilée. Dont 'elle placée dans les trois orientations Nord, Est et Ouest.

Il en résulte de cette étude les conclusions suivantes :

- L'utilisation des doubles parois n'est pas efficace pour assurer un confort thermique à l'intérieur des infrastructures de transport alors que l'utilisation de la façade ventilée est plus efficace, voire nécessaire pour assurer une meilleure isolation thermique en hiver, et une ventilation de l'air chaud en été.
- La façade ventilée permet une réduction considérable de la consommation énergétique.
- La façade ventilée est efficace pour une orientation Est et nord -Ouest selon le contexte de l'étude.

Conclusion générale

Conclusion générale

La problématique du confort thermique à l'intérieur des infrastructures de transport en Algérie a une grande importance, notamment dans les endroits clos qui contiennent un grand nombre des passagers. Ce comportement thermique en particulier dans une infrastructure de transport dépend des conditions climatiques extérieures.

Malgré l'essor considérable qu'a connu le pays en matière de réalisation de bâtiment et d'équipement publics, l'intégration de la notion d'efficacité énergétique n'est pas ou rarement prise en compte dans leurs conceptions. Cet état de fait a fait ressortir des insuffisances considérables sur le plan qualitatif de ces constructions, d'où les problèmes d'inconfort ou de surconsommation d'énergies (électricité et chauffage).

Le choix des matériaux et les techniques utilisés pour la construction de l'enveloppe représentent un enjeu considérable pour la réduction des consommations énergétiques dans le secteur du transport. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail, nous avons abordé la question énergétique par une stratégie de réduction de consommation d'énergie ainsi que l'amélioration du confort thermique dans le secteur de transport, dans le but de concilier la conception d'une infrastructure moderne et fonctionnel en intégrant l'écologie et la durabilité.

Ainsi des solutions d'ordre architectural et bioclimatique sont proposées et différents systèmes d'ordre technique sont adaptés en assurant un degré de confort acceptable sans dépenses excessives d'énergies. L'accent est mis sur l'étude des performances de la façade ventilée qui fut l'objet de cette étude.

Dans cette étude, la simulation numérique par le logiciel TRNSYS17 a été choisie comme outil et technique de recherche. Elle nous a permis en premier lieu de faire la simulation du cas d'étude sans l'utilisation de la façade ventilée et de vérifier l'évolution des paramètres climatiques comme la température de l'air, l'humidité relative et la consommation énergétique. En deuxième lieu, elle permit de vérifier l'effet de la façade ventilée et d'en comparer les résultats entre les deux simulations. D'après l'analyse et l'interprétation des résultats de l'investigation et la simulation obtenus et les informations de base acquises de la partie théorique du présent travail, il résulte que la façade ventilée a un effet sur le confort thermique et la consommation énergétique. Elle participe à

l'amélioration de l'étanchéité des parois, élimination des risques de condensation intérieure, économise l'énergie, suppression des ponts thermiques, amélioration de l'inertie thermique et du confort thermique.

Certains paramètres et recommandations doivent impérativement être prises en considération dès la conception de ce genre d'infrastructure.

Alors on recommande :

- L'orientation et la forme de l'infrastructure et l'aménagement des espaces intérieurs doivent être bien réfléchis pour bénéficier pleinement des apports solaires.
- L'orientation EST et NORD-OUEST est la plus favorable, car c'est celle qui offre la meilleure luminosité et le meilleur confort thermique,
- L'intégration d'une façade ventilée permet de réduire la consommation énergétique.
- Les ouvertures doivent être bien dimensionnées et orientées. La surface vitrée doit être selon les principes de l'architecture solaire pour éviter les éblouissements et les surchauffes à l'intérieur des espaces.
- Utilisation de bardage par l'extérieur pour minimiser les ponts thermiques et diminuer les déperditions de chaleur ce qui provoque la diminution des facteurs de chauffage et climatisation et créer un confort thermique dans l'infrastructure.
- Le vitrage utilisé doit être isolant, le choix se fait selon l'épaisseur et la couleur.

On peut donc conclure notre recherche par dire que la meilleure solution pour assurer le confort thermique et la diminution de la consommation énergétique dans les infrastructures de transport est l'intégration de la façade ventilée.

Références bibliographiques

Bibliographique

I .Ouvrages

- Alain Liebard Andre de Herd. Traite d'architecture et d'urbanisme bioclimatique.
- Bernard J. (2004), Énergie solaire ; calculs et optimisation 2004, Ellipses Édition Marketing Coll. TECHNOSUP les filières technologiques des enseignants supérieurs, Paris.
- Cantin.R et al. (2005), complexité du confort thermique dans les bâtiments, in actes de 6eme congres européen de science des systèmes, tenu à paris.
- Corinne Martinet, Meyer J. P. (1999), Travail à la chaleur et confort thermique, Institut National de Recherche et de Sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles, p.14, http://lara.inist.fr/handle/2332/1616
- Chatelet, A. et al (1998), Architecture climatique, une contribution au développement durable, Tome 2, Concepts et dispositifs, Editions Edisud, Aix-en-Provence, France.
- Chiche. P, Herzen. M, Keller. L et Nilsson. M. (2009), Architecture & conception énergétique, JMP Publications SA, Lausanne, http:/www.lausanne.ch/fr consulte le 18/03/2018.
- Florence, J. et AL. (2008), Enveloppe hybride pour bâtiment économe, Centre scientifique et techniques de bâtiment. France.
- Izard-L. (1994), Architectures d'été construire pour le confort d'été, Edition Edisud.
- NEUF : Climat intérieur/ confort, santé, confort visuel, Revue européenne d'architecture N° 7, novembre – Décembre 1978.
- Sophie.T. (2012), Matériau, Matière d'Architecture Soutenable. Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale et d'urbanisme LOCI. France,
- Thellier, François. (1999), L'homme et son l'environnement thermique-Modélisation. Université de Paul Sabatier de Toulouse.

III. Thèses de doctorat et mémoire de Magister ,Master

- Alexandre Baguet & Isabelle Lortal. Mars (2010), les ports, Master IASIG Informatique Appliquée aux SIG Projet de Structuration.
- Bendasse M, Benhamada KH, et Laribi R (2017), Impact des dispositions végétal sur le confort hygrothermique dans un village touristique à El OUANA, Département d'architecture Jijel.
- Benkhedda Samira, (2012), Simulation multi agents d'un comportement humain face à une situation d'urgence, Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister, Université des sciences et de la technologie d'Oran.
- Cordier N. (2007), Développement et évaluation de stratégies de contrôle de ventilation appliquées aux locaux de grandes dimensions, thèse de doctorat soutenue à L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France.
- dermouchi L. Chekraouikh (2005), Confort Thermique Intérieure Des Constructions S Par Les Procèdes Passif, Département d'architecture, Université de Jijel.
- Desmons, Jean. (2009), Aide-mémoire génie climatique, Paris, éd, Dunod.

- Estéban Emilio Montenegro Iturra. (2011), Impact de la configuration des bâtiments scolaires sur leur performance lumineuse, thermique et énergétique. Thèse de doctorat Faculté des études supérieures de l'Université Laval. Canada.
- Faurastier, Françoise et Jean(1962), Domotique et confort un état des lieux, mémoire de 3éme cycle.
- Kadi S. et Ikhelf (2014), Rénovation de la gare ferroviaire de Tlemcen .mémoire Pour l'obtention Du Diplôme d'Architecte d'Etat soutenue université de Tlemcen. [En ligne].URL :http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/6145/1/Ing.Arch.Kadi.
- Letiet Mohammed Cherif (2019), Amélioration des microclimats des villes par la prolifération de terrasses et toitures végétalisées en zones aride et méditerranéenne, thèse de doctorat .université de Jijel.
- Mazari Mohammed, Septembre (2012).Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public, Mémoire de magister en architecture.
- Mazari Mohammed(2012), Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public: Cas du département d'Architecture de Tamda (Tizi-Ouzou), Département d'Architecture, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Op cit p.5, Hygrothermique Intérieur Cas De BiDe Technologie Supérieure, Université Du Québe.
- Mouffok F (2016), Transport. Projet : Gare Intermodale. Université de Tlemcen Mémoire De Master Soutenue en. [En ligne] URL : http://dspace.univ tlemcen.dz/bitstream/112/10518/1/Ms.Arc.Mouffok.F%2BMouffok.M.pdf.
- Ould-Hennia, A. (2003), Choix climatiques et construction, zones arides et semi-arides : la maison à cour de Boussaâda, Thèse de doctorat, école polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse.
- Richieri F. (2008), Développement et paramétrage de contrôleurs d'ambiance multicritères, thèse doctorat, Institut national des Sciences de Lyon.

III. cours

- BelakehaL Azzedine. (2012), Confort et maitrise des ambiances. [En ligne]. Biskra : Département d'architecture, université de BISKRA 2éme année, cours, p06, Disponible sur : http://www.univ_Biskra.dz/BELAKEHAL/cours%20S2-6.pdf.
- Diaz Maria Lopez (2012), cour : Maitrise des ambiances thermiques, Ecole national supérieur d'architecture de Paris la Villette.
- Errien Nicolas, cour : Transfert thermique Université du Maine, Faculté des Sciences Département de Physique http://www.univ-lemans.fr/fr/index.html consulté le 19/05/2018.
- Hamel khalissa, Confort Thermique , Département d'architectur et Environement, Cours N°1.

IV. site web

- Actu-environnement, https://www.actu-environnement.com/materiels-services/produit/logiciel-trnsys-cstb-simulation-thermique-batiments-et-systemes-2473.php
- Aliva, https://www.aliva.it/fr/facciata-ventilata.asp

- Archiexpo, http://www.archiexpo.fr/fabricant-architecture-design/facade-ventilee
- Ariostea, https://www.ariostea.fr/technique/facades-ventilees
- Ariostea, Façades ventilées. [En ligne], http://www.ariostea.fr/technique/facadesventilees,
- https://www.beswic.be/fr/themes/agents-physiques/ambiances-thermiques/indices-de-confort-et-de-Contrainte thermique/indice-pmv-ppd-de-confort-thermique
- billsergeconseil.com
- Cupapizarras, https://www.cupapizarras.com/fr/actualite/facade-ventilee-fonctionnement-avantages/
- Doc Player, https://docplayer.fr/ -systèmes-de-façades-ventilées.
- Facetec, https://www.facetec.ch/technique
- https://fr.glosbe.com
- Index https://www.indexfix.com/uploads/FOTECFV15/FOTECFV15_FR.pdf
- Iris, https://www.irisfmg.fr/façades-ventilée
- Iscover, https://www.isover.fr/sites/isover.fr/files/assets/documents/isolation-thermique-mur-exterieur-maison-individuelle-bardage.pdf
- Isolation.ooreka, https://isolation.ooreka.fr/astuce/voir/731723/facade-ventilee.
- Kobbigroup, https://www.kobbigroup.com/uploads/kobbi-group-facade-ventilee.pdf
- https://www.memoireonline.com
- Tempio, https://www.tempio.es/fr/facades-ventilees.php
- Tempio, Façades ventilées Tempio, [En ligne], http://www.tempio.es/fr/facadesventilees.

V. Guide

- Deoux. S, P. Deoux (2004), Le guide de l'habitat sain : habitat, qualité, santé pour bâtir une santé durable, 2 éd. rev. etaugm. Andorre: Medieco,

VI. Document divers

- Legrand V (2013), Réunion technique Quelques aspects sur la conception Ligne B - Station Métro OULLINS GARE Sécurité des personnes. [en linge]. URL :http://www.aftes.asso.fr/contenus/upload/File/Mastere%202012-2013/75c-Station_OGAERP-05-02-2013-IndA-VLegrand-p.pdf
- Suel M (2010), la gare routière dynamique au cœur des villes. Étude Prospective RATP pour une application au secteur de Montparnasse . [En linge].URL : https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas 00878661/document
- The demonstration component of the Joule-Thermie programme. European commission thermiehttp://erg.ucd.ie/ttp.html

VII. Internet

- Clo : Unité d'isolement vestimentaire, 1Clo=0.155m² o C.w-1

Annexes

Annexes

Annexe I.1 : les différentes tables de Mahoney

Table 1. Mean relative humidity and Humidity group

Mean relative humidity	Humidity group
Below 30%	1
30-50%	2
50-70%	3
Above 70%	4

Table 2. Shanghai climatic data

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
Monthly mean max. (℃)	7.7	9.7	13.7	19.0	24.5	27.4	30.7	29.8	27.2	22.4	17.0	11.0	
Monthly mean min. (℃)	1.6	3.7	6.6	12	17.4	21.7	25.3	24.6	21.9	15.9	10.5	4.3	
Monthly mean range (℃)	6.1	6	7.1	7	7.1	5.7	5.4	5.2	5.3	6.5	6.5	6.7	
RH	76	71	78	73	76	82	81	82	76	73	67	66	
HG	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	
Rainfall (mm)	75	44	118	63	85	212	142	230	76	64	43	34	1186

Table3. Comfort limits

Average RH	HG	AMT over 20℃		AMT 15-20℃		AMT under 15℃	
		Day	Night	Day	Night	Day	Night
0-30%	1	26-34	27-34	23-32	14-23	21-30	12-21
30-50%	2	25-31	17-24	22-30	14-22	20-27	12-20
50-70%	3	23-29	17-23	21-28	14-21	19-26	12-19
>70%	4	22-27	17-21	20-25	14-20	18-24	12-18

RH: relative humidity; HG: humidity group; AMT: annual mean temperature.

Table 4. Diagnosis of Shanghai climatic data

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Diurnal mean range (℃)	6.1	6	7.1	7	7.1	5.7	5.4	5.2	5.3	6.5	6.5	6.7
HG	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3
Monthly mean max. (℃)	7.7	9.7	13.7	19.0	24.5	27.4	30.7	29.8	27.2	22.4	17.0	11.0
Day comfort Max. (℃)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	28	28
Day comfort min. (℃)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	21	21
Monthly mean min. (℃)	1.6	3.7	6.6	12	17.4	21.7	25.3	24.6	21.9	15.9	10.5	4.3
Night comfort Max. (℃)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	21	21
Night comfort min. (℃)	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Thermal stress: Day	C	C	C	C	N	H	H	H	H	N	C	C
Thermal stress: Night	C	C	C	C	N	H	H	H	H	N	C	C

HG: humidity group; H: above comfort limit; N: within comfort limit; C: below comfort limit.

Table 5. Indicators

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
Humid													
H1 Air movement						X	X	X	X				4
H2 Air movement					X					X			2
H3 Rain protection						X		X					2
Arid													
A1 Thermal storage													0
A2 Outdoor sleeping													0
A3 Cold-season	X	X	X	X							X	X	6

(Source : www.google .com)

Annexe II.1 : températures de l'air moyennes de Jijel 1999-2008.

Mois / Année	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
1999	11.6	10.4	13.6	15.0	20.4	23.3	25.1	27.8	24.8	22.9	14.7	12.2
2000	9.5	11.9	13.6	16.3	19.7	21.9	25.9	26.6	23.5	19.4	15.4	13.4
2001	12.5	11.2	17.0	15.2	18.0	23.4	24.9	26.1	22.9	22.6	15.1	10.7
2002	10.7	11.7	14.0	15.1	18.4	22.4	24.5	25.0	22.8	19.5	16.7	13.9

2003	11.6	11.0	13.7	16.0	18.4	25.3	27.7	28.3	24.0	21.1	16.1	12.0
2004	11.4	12.3	13.6	14.9	17.2	21.7	24.8	26.7	24.1	22.0	14.0	12.8
2005	9.0	9.2	13.0	16.0	19.8	23.5	26.2	25.5	23.7	21.0	15.7	11.8
2006	10.9	11.3	14.2	17.8	20.8	23.4	26.1	25.4	23.4	22.1	17.9	13.6
2007	12.3	13.9	13.2	16.7	19.8	22.8	25.1	26.8	23.5	20.0	14.9	12.3
2008	12.4	13.1	9.0	16.6	18.9	22.3	25.9	26.0	24.2	20.3	15.0	11.9

Source : ONM – El Achouat Jijel

Annexes II.2 : températures de l'air maximal de Jijel 1999-2008.

Mois / Année	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
1999	16.4	14.6	18.8	20.9	26.3	28.1	30.4	33.6	30.0	28.6	19.1	16.8
2000	15.0	17.2	18.8	22.1	24.0	26.4	31.3	33.1	29.0	24.7	21.3	19.2
2001	18.0	16.8	23.0	20.3	22.8	29.6	30.6	31.5	28.0	28.9	20.2	16.4
2002	16.2	17.1	19.4	20.6	24.2	28.3	29.6	29.7	27.7	25.6	21.2	18.5
2003	15.6	15.5	18.6	20.6	22.5	31.0	33.0	33.9	28.9	25.9	21.2	16.9
2004	16.5	18.0	18.0	19.8	21.9	26.7	29.9	32.4	29.7	28.2	18.8	17.1
2005	14.0	13.3	17.4	20.0	24.8	28.3	30.8	30.4	28.4	25.7	20.5	16.2
2006	15.1	15.6	19.4	22.4	25.4	29.0	31.3	30.1	28.8	27.5	22.9	17.9
2007	17.8	18.1	17.5	20.8	25.1	27.8	30.0	32.3	28.4	24.1	19.6	16.4
2008	17.2	17.8	17.8	21.7	23.4	26.9	31.2	31.1	29.4	25.3	19.5	18.2

Source : ONM – El Achouat Jijel

Annexes II.3 : températures de l'air minimal de Jijel 1999-2008.

Mois / Année	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
1999	6.5	5.4	7.5	8.0	13.6	17.8	18.3	22.1	18.9	17.0	10.3	7.6
2000	4.3	6.2	7.8	9.6	14.5	16.5	19.4	19.7	17.8	14.2	10.1	7.3
2001	7.1	5.7	10.1	9.0	12.0	15.7	18.2	19.6	17.5	16.2	10.3	5.5
2002	5.5	5.8	7.6	8.5	11.1	15.1	18.7	19.8	17.4	13.4	11.8	9.3
2003	7.1	6.4	8.1	10.5	13.1	18.4	21.4	21.7	18.8	16.1	11.2	7.1
2004	6.7	6.4	8.8	9.3	12.1	15.6	18.8	20.6	18.1	15.5	9.5	8.3
2005	4.3	4.9	8.4	11.5	14.2	18.0	20.8	20.2	18.6	15.7	11.0	7.8
2006	6.8	6.6	8.5	12.6	16.1	17.7	20.3	20.4	18.3	16.5	12.9	9.1
2007	6.8	9.0	8.4	12.5	14.3	17.8	19.9	21.3	18.6	16.3	10.4	8.3
2008	7.0	7.4	7.7	10.7	14.6	17.0	20.5	20.4	19.7	15.6	10.1	8.8

Source : ONM – El Achouat Jijel

Annexes II.4 : humidité relative moyenne de Jijel.

Mois / Année	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
1999	81	79	75	75	73	73	70	70	74	67	80	81
2000	80	77	78	71	81	81	69	69	77	74	77	72
2001	77	77	73	77	79	67	73	71	77	71	77	78
2002	78	77	75	76	73	76	75	76	74	73	71	76
2003	78	75	75	79	80	69	68	67	79	76	75	80
2004	80	78	79	76	78	78	75	71	73	69	82	77
2005	80	77	79	76	76	73	69	68	71	77	74	77
2006	73	76	73	74	79	66	70	71	70	73	70	77
2007	80	81	74	80	72	75	73	70	75	80	76	77
2008	77	74	78	73	82	75	71	72	80	76	77	78

Source : ONM – El Achouat Jijel

Annexe II.5 : humidité relative maximale de Jijel

Mois / Année	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
1999	94.0	94.0	93.0	94.0	93.0	92.0	90.0	89.0	93.0	94.0	95.0	93.0
2000	94.0	94.0	94.0	93.0	95.0	97.0	92.0	91.0	95.0	90.0	94.0	94.0
2001	94.0	93.0	91.0	96.0	95.0	90.0	92.0	89.0	94.0	93.0	92.0	91.0
2002	93.0	94.0	93.0	95.0	92.0	95.0	94.0	93.0	92.0	91.0	90.0	93.0
2003	92.0	92.0	93.0	95.0	95.0	93.0	90.0	87.0	95.0	92.0	92.0	91.0
2004	93.0	94.0	94.0	93.0	93.0	94.0	93.0	91.0	92.0	93.0	94.0	92.0
2005	94.0	91.0	93.0	91.0	93.0	91.0	86.0	85.0	88.0	89.0	89.0	91.0
2006	88.0	92.0	91.0	91.0	93.0	88.0	88.0	88.0	87.0	92.0	87.0	91.0
2007	94.0	94.0	93.0	93.0	90.0	92.0	91.0	90.0	92.0	92.0	91.0	91.0
2008	92.0	89.0	92.0	91.0	94.0	90.0	88.0	88.0	88.0	94.0	92.0	90.0

Source : ONM – El Achouat Jijel

Annexe II.6 : humidité relative minimal de Jijel 1999-2008.

Mois / Année	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
1999	60.0	56.0	52.0	49.0	48.0	51.0	48.0	44.0	50.0	53.0	61.0	55.0
2000	57.0	52.0	55.0	46.0	63.0	61.0	46.0	44.0	54.0	46.0	52.0	60.0
2001	54.0	55.0	48.0	52.0	58.0	43.0	48.0	49.0	55.0	51.0	55.0	50.0
2002	57.0	53.0	50.0	51.0	49.0	53.0	52.0	52.0	51.0	47.0	49.0	54.0
2003	57.0	51.0	50.0	57.0	62.0	45.0	45.0	43.0	59.0	47.0	55.0	55.0
2004	59.0	53.0	59.0	55.0	56.0	57.0	53.0	48.0	47.0	52.0	61.0	56.0
2005	56.0	54.0	59.0	55.0	55.0	53.0	49.0	48.0	52.0	44.0	53.0	57.0
2006	55.0	53.0	50.0	52.0	57.0	43.0	47.0	50.0	46.0	56.0	50.0	56.0
2007	57.0	61.0	62.0	60.0	52.0	54.0	49.0	49.0	54.0	52.0	56.0	56.0
2008	56.0	53.0	59.0	51.0	64.0	54.0	51.0	53.0	49.0	63.0	56.0	60.0

Source : ONM – El Achouat Jijel

Annexes II.7 : cumul mensuel de précipitation de Jijel 1999-2008

Mois / Année	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
1999	163.2	97.0	62.1	42.7	5.9	4.0	1.6	5.6	27.0	23.9	250.8	247.7
2000	108.6	42.4	17.0	33.2	95.3	13.5	1.4	2.7	25.7	89.8	117.8	84.6
2001	247.7	110.9	14.2	50.7	50.3	3.7	0.0	2.5	38.8	1.1	125.2	142.4
2002	71.8	66.3	37.6	49.7	15.3	4.4	16.2	86.2	49.5	103.0	182.0	407.3
2003	333.1	115.0	30.7	130.0	70.9	0.8	7.1	0.0	128.4	76.0	82.0	220.5
2004	137.2	83.3	75.2	96.6	81.2	56.4	1.3	4.3	75.8	34.8	267.1	158.8
2005	262.1	212.6	85.5	121.8	4.8	0.0	1.2	18.4	56.4	21.4	134.5	171.6
2006	178.2	165.5	54.9	24.1	32.7	2.8	0.0	34.8	45.3	37.9	39.6	215.4
2007	12.3	74.5	268.5	70.6	14.4	26.4	3.3	4.8	70.8	142.9	291.4	211.3
2008	34.3	27.4	172.1	18.8	144.7	3.7	0.0	1.3	86.7	30.8	109.8	145.9

Source : ONM – El Achouat Jijel

Annexe II.8 : vent maximale de Jijel – Force (vitesse)[m/s] – Direction [°] 360° = Nord

Mois / Année	Jan		Fev		Mar		Avr		Mai		Juin	
	Force	Dir.	Force	Dir.	Force	Dir.	Force	Dir.	Force	Dir.	Force	Dir.
1999	18.0	30.0	24.0	26.0	22.0	28.0	17.0	32.0	15.0	28.0	19.0	10.0
2000	13.0	33.0	18.0	28.0	13.0	15.0	24.0	20.0	13.0	30.0	15.0	30.0
2001	20.0	25.0	15.0	28.0	18.0	28.0	17.0	26.0	17.0	28.0	13.0	30.0
2002	16.0	32.0	20.0	27.0	16.0	16.0	22.0	28.0	20.0	26.0	15.0	31.0
2003	25.0	30.0	27.0	30.0	15.0	30.0	16.0	36.0	16.0	28.0	13.0	18.0
2004	19.0	36.0	28.0	18.0	17.0	27.0	14.0	18.0	16.0	30.0	14.0	28.0
2005	18.0	28.0	X	X	X	X	X	X	14.0	28.0	14.0	18.0
2006	17.0	30.0	17.0	22.0	20.0	32.0	18.0	34.0	22.0	24.0	16.0	8.0

2007	14.0	30.0	22.0	27.0	32.0	36.0	15.0	26.0	13.0	28.0	16.0	28.0
2008	15.0	18.0	14.0	18.0	25.0	26.0	22.0	8.0	14.0	28.0	14.0	26.0

Source : ONM – El Achouat Jijel

Annexe II.9 : mesure de la température de l'air à l'aéroport de Jijel.

Temp / Heure	8 :00	10 :00	12 :00	14 :00	16 :00
T met	13	17	18.8	19.5	18.5
T1	24	22.5	22.7	21.5	22.2
T2	22.6	23.4	22.5	21.7	23.5
T3	21.6	23.3	22.4	22.2	23.6
T4	21.8	23.2	22.3	22.3	23.4
T5	21.9	23.1	21.8	22.6	23.5
T6	20.9	22.1	21.9	22.7	23.2
T7	20.4	22.3	21.8	24.2	23.1
T8	19.7	22	21.2	23.2	23.3
T9	19.4	21.3	21.2	23.1	23.2

Source : auteurs

Annexe II.10 : humidité relative mesure à l'aéroport de Jijel.

Hu / Heure	8 :00	10 :00	12 :00	14 :00	16 :00
Hu met	52	66	55	53	53
Hu1	29.1	48.6	47.6	42.6	44.2
Hu2	33.7	46	44	43.5	44.6
Hu3	36.2	44	43.6	44.2	44.4
Hu4	36.3	43.2	44	43.8	44.9
Hu5	37.4	41.6	45.3	43.4	43.8
Hu6	38.2	44	44.8	43.3	45.6
Hu7	39.4	43.2	45.3	42.5	43.3
Hu8	42	45.2	46.6	44	46.1
Hu9	42.6	44.9	47	43.5	46.1

Source : auteurs

Résumé

Ce travail se focalise sur l'étude de l'effet de la façade ventilée sur le confort thermique dans les infrastructures de transports. Actuellement, et avec le développement technologique la consommation énergétique augmente notamment dans le secteur des infrastructures de transport qui contient un très grand nombre des passagers. Ceci nécessite un choix réfléchit des techniques utilisées dans la construction pour garantir un équilibre thermique et une consommation énergétique raisonnable.

Dans le cadre de cette étude l'intérêt s'est porté sur l'interaction de la façade ventilée et l'orientation et son effet sur le confort thermique intérieur. Pour ce fait, une investigation et une simulation ont été menées par le logiciel « TRNSYS 17 » sur l'aéroport Ferhat Abbas de Jijel afin de quantifier les variation microclimatique pour élaborer par la suite une analyse numérique qui sert à l'évaluation du confort thermique dans les espaces intérieurs, d'en proposer la façade ventilée, sa meilleure orientation et son effet sur le confort thermique et la consommation énergétique.

Mots-clés :confort thermique, façade ventilée, la consommation d'énergie.

Summary :

Our work focuses on the stady of the effect of the ventilated facade on the thermal comfort in transport infrastructure in a humid climat.

Currently, and withe technological development, energy consumption is increasing particularly in the transport infrastructure sector, which contains a very large number of passengers. This requires a careful consideration of the techniques used in the construction to ensure a thermal balance and a reasonable energy concemption.

In the contexte of this study the interest is on the interaction of the ventilated facade. Their orientation and their effect on indoor thermal comfort. For this fact, an investigation and a simulation was carried out by the software « TRNSYS 17 » on the airport Farhat Abbas de Jijel in ordre to quantify the microclimatic variations in ordre to subsequently develop a numerical analysis that serves to evaluate the thermal comfort in the interior spaces, to propose the ventilated facade, its better orientation and its effect in the thermal comfort and the energy consumption.

Keyword : thermal comfort, ventilated facade, energy consumption.

ملخص

هدا العمل يرتكز على دراسة تأثير الواجهة ذات التهوية على الراحة الحرارية في منشآت النقل تحت مناخ رطب .

حاليا و مع التطور التكنولوجي ارتفع استهلاك الطاقة خاصة في قطاع منشآت النقل التي تحتوي على عدد هائل من المسافرين. هذا يحتاج إلى اختيار مدروس للتقنيات المستعملة في البناء لضمان التوازن الحراري و الاستهلاك العقلاني للطاقة.

في سياق هده الدراسة القينا الاهتمام على الواجهة ذات التهوية، اتجاهها و تأثيرها على الراحة الحرارية الداخلية. ولهدا الغرض تم إجراء بحث ومحاكاة عددية بواسطة برنامج TRNSYS17 على مطار فرحات عباس بجيجل ،من اجل تحديد التغيرات المناخية المحلية لوضع تحليل رقمي بعدها يعمل على تقييم الراحة الحرارية في المساحات الداخلية لاقتراح الواجهة ذات التهوية و أحسن وجهة لها وتأثيرها على الطاقة الحرارية و استهلاك الطاقة .

كلمات مفتاحيه:الراحة الحرارية، الواجهة ذات التهوية، استهلاك الطاقة.