

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Université Ahmed Draïa d'Adrar

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences et Technologies



Mémoire de Fin d'étude
En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil
Option : Structure en Génie Civil

Présenté par :

Bendjaouane Soumia

Lemherzi Nassira

Thème

**Evaluation du confort thermique dans les
anciennes bâtisses de la région d'Adrar**

Pr. KHLAFI Hamid

Mr. BASSOUD Abdelkader

Dr. OUDRANE Abdellatif

Mr. BADA Abdelmalek

Examineur

Examineur

Encadreur

Co-Encadreur

*****Année universitaire 2019/2020*****

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



Remerciements

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à
tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Nous tenons également à remercier
et à exprimer toute notre gratitude à nos encadreurs

Dr. OUDRANE Abdellatif et Mr. BADA.A pour leurs soutiens,
leurs orientations et leurs conseils tout au long du travail.

Aussi, nous remercions les membres
du jury d'avoir accepté d'évaluer ce modeste travail.

Enfin, nous tenons à not
gratitude à nos chers parents que dieu
les protège qui nous ont toujours assisté et encouragé.



Dédicaces

*Nous dédions ce modeste travail a nos chers parents que dieu les protège pour leurs prières
tout au long de nos études*

A nos familles et à tous ceux qui de prés

Ou de loin ont contribué a l'évaluation de ce mémoire.

A nous professeurs de la promotion GENIE CIVIL

De l'année universitaire 2019/2020 et aussi à nous encadreurs

Résumé

Ce travail est pour but de mettre en œuvre un aperçu sur la réhabilitation et de restauration des constructions en terre constituant le patrimoine architectural local de la région d'ADRAR dans le Sahara algérien. Par ailleurs, il est pour servi à fixer les bases des méthodologies d'évaluations dans l'anciens bâtis de la région d'ADRAR, qui caractérise le confort thermique à travers les interactions thermique entre l'occupant et son environnement habitable.

En effet, l'exploitation des nouveaux matériaux dans les constructions habitables peut conduire à un recours systémique à la climatisation et puis la hausse consommation d'énergie électrique, alors que la réhabilitation des maisons en terre crue permet d'assurer le confort thermique avec des consommations d'énergie plus modestes.

Nous nous intéressons dans ce contexte à l'aspect adaptatif du confort thermique en complément à l'aspect analytique dont l'ensemble permet d'avoir une vision globale du confort thermique dans l'anciens bâtis de la région d'ADRAR.

En partant d'une étude bibliographique sur l'ancien bâti de la région prise en considération, nous avons conduit une étude analytique in situ dans cette région pour explorer de plus près le confort thermique et caractériser l'interaction entre l'occupant et son environnement habitable en se basant sur des données climatiques mesurées récemment en 2016.

Ensuite, nous avons développé une méthodologie fondamentale pour évaluer le confort thermique qui permet d'intégrer les différentes compositions d'une ancienne enveloppe habitable de cette région identifiés dans la bibliographie.

Cette méthodologie, permet de déterminer l'état du confort thermique de l'occupant selon les caractéristiques des bâtis et les données climatiques qui sont tenir en compte dans les calculs.

Mots clés: Réhabilitation, Méthodologie, Climatiques, Bâtis, Confort, ADRAR, Consommation

Abstract

This thesis work is for purpose is to implement an overview on the rehabilitation and restoration of earthen constructions constituting the local architectural heritage of the region of ADRAR in the Algerian Sahara. In addition, it is to be used to establish the fundamentals of evaluation methodologies in the old buildings of the ADRAR region, which characterizes thermal comfort by means of the thermal interactions between the occupant and his habitable setting.

Indeed, the use of new materials in habitable buildings can induce a systemic use of air-conditioning and then an increase in the consumption of electrical energy, while the rehabilitation of mud brick houses makes it possible to achieved thermal comfort with more moderate energy consumption.

In this context, we are interested in the adaptive aspect of thermal comfort as a complement to the analytical aspect, which as a whole provides a overall vision of thermal comfort in old buildings in the ADRAR region.

On the basis of a bibliographical study on the ancient buildings in the region under consideration, we conducted an in situ analytical study in this region in order to explore thermal comfort more closely and to characterize the interaction between occupant and his habitable environment on the basis of climatic data recently measured in 2016.

Subsequently, we have developed a fundamental methodology to evaluate the thermal comfort, which allows us to integrate the different compositions of an old habitable envelope from this region identified in the bibliography.

This methodology enables the state of thermal comfort of the occupant to be determined according to the characteristics of the buildings and the climatic data that are taken into account in the calculations.

Keywords: Rehabilitation, Methodology, Climatic, Buildings, Comfort, ADRAR, Consumption

الملخص

يهدف هذا العمل إلى تنفيذ معاينة عن إعادة تأهيل وترميم المباني الترابية التي تشكل التراث المعماري المحلي لمنطقة أدرار في صحراء الجزائر . بالإضافة إلى ذلك, يتم استخدامه لإنشاء أسس منهجيات التقييم في المباني القديمة بمنطقة أدرار، والتي تميز الراحة الحرارية من خلال التفاعلات الحرارية بين الساكن والبيئة التي يمكن أن يعيش فيها .

في الواقع، إن استغلال المواد الجديدة في المباني القابلة للسكن قد يؤدي إلى استخدام أجهزة تكييف الهواء بشكل منتظم ومن ثم زيادة في استهلاك الطاقة الكهربائية، في حين إن إعادة تأهيل المنازل الترابية تسمح بضمن الراحة الحرارية مع استهلاك أكثر تواضعا للطاقة .

في هذا السياق ، فإننا مهتمون بالجانب التكميلي للراحة الحرارية بالإضافة إلى الجانب التحليلي ، حيث يتيح لنا كل ذلك رؤية شاملة للراحة الحرارية في المباني القديمة في منطقة أدرار .

بدءاً من الدراسة البليوغرافية للمباني القديمة في المنطقة التي تم أخذها في الاعتبار ، أجرينا دراسة تحليلية في الموقع في هذه المنطقة لاستكشاف المزيد عن الراحة الحرارية ووصف التفاعل بين الساكن والبيئة القابلة للسكن ، بناءً على بيانات المناخ التي تم قياسها مؤخراً في عام 2016.

ثم قمنا بتطوير منهجية أساسية لتقييم الراحة الحرارية التي تسمح بدمج التركيبات المختلفة لحيز سكني قديم صالح للسكن في هذه المنطقة المحددة في المرجع.

تتيح هذه المنهجية تحديد حالة الراحة الحرارية للساكن وفقاً لخصائص المباني والبيانات المناخية التي تؤخذ في عين الاعتبار في الحسابات.

الكلمات المفتاحية : إعادة التأهيل ، المنهجية ، المناخ ، المباني ، الراحة ، أدرار ، الاستهلاك.

Remerciements.....	II
Dédicaces.....	III
Résumé.....	V
Abstract.....	VI
المخلص.....	VII
Nomenclature.....	XI
Liste des figures.....	XX
Liste des tableaux.....	XXI
Introduction générale.....	2
Problématique.....	5
Hypothèses.....	6
Structure du mémoire.....	6
Objectif de l'étude.....	6

CHAPITER I : HISTORIQUE DES ANCIENS BATIS DE LA REGION D'ADRAR

I.1 Introduction	8
I.2 Situation géographique de la région d'Adrar.....	8
I.3 L'habitat traditionnel.....	9
I.3.1L'habitat traditionnel au Touat	9
I.3.1.1 Une première seguifa "Bit Ediaf ".....	9
I.3.1.2 Une seconde seguifa "souari ".....	10
I.3.1.3 Mesria	10
I.3.1.4Rahba.....	10
I.3.1.5Le Makhzen	10
I.3.1.6L'escalier.....	10
I.3.1.7Le Stah.....	11
I.3.1.8El Kos	11
I.4 Matériaux de construction traditionnels locaux.....	12
I.4.1 Le Toub.....	12
I.4.1.1 La Touba.....	12
I.4.2 Le palmier	12
I.4.2.1 La Khechba	12
I.4.2.2 Le Djrid	13
I.4.2.3 Le kernef	13

I.4.2.4 Le « Fdem ».....	14
I.5 Techniques constructives	14
I.5.1 Les fondations (Tasliya).....	14
I.5.2 Le mur.....	15
I.5.3 Les ouvertures (Portes).....	15
I.5.4 Le toit (Sguef).....	16
I.6 Conclusion.....	17
Références bibliographiques	18
<u>CHAPITER II : TRANSFERT THERMIQUE</u>	
II. Introductions.....	20
II.1 Définition.....	20
II.1 .1 Transfert thermique.....	20
II.2 Les modes de transfert thermique.....	21
II. 2. 1 Transfert par conduction.....	21
II. 2. 1.1 Loi fondamentale de la conduction (loi de J.Fourier)	21
II. 2. 2 Transfert par convection.....	23
II. 2. 2 .1 La convection naturelle (convection libre).....	24
II. 2. 2 .2 Convection forcée.....	24
II. 2. 2.3 La convection mixte	25
II. 2. 2 .4 Loi fondamentale de la convection (loi d'I. Newton).....	26
II. 2. 3 Transfert par rayonnement.....	26
II. 2. 3.1 Loi de Stefan.....	26
II.3 Les coefficients d'échange.....	27
II.3 .1 Les coefficients d'échange par conduction.....	27
II.3 .2 Les coefficients d'échange par convection naturelle.....	27
II.3 .2.1 Convection Forcée externe.....	28
II.3 .2.2 Convection Forcée interne.....	28
II.3 .3 Les coefficients d'échange par rayonnement.....	28
II.4 Les propriétés thermo-physiques des matériaux de construction.....	29
II. 4. 1 Conductivité thermique λ	29
II.4.2 La masse volumique ρ	29
II.4.3 Chaleur spécifique C_p	29
II.4.4 L'émissivité (ϵ).....	30

II.4.5 La coefficient d'absorption α	30
II.5 Modélisation des transferts thermiques dans l'habitat.....	30
II. 5. 1 Description physique de l'habitat.....	30
II.5 .1.1Equations de base.....	32
II.5 .2 Niveau on des transferts thermiques dans l'habitat.....	32
II.5 .2 .1 Les équations de face externe.....	34
II.5 .2 .2 Les équations de face interne.....	35
II.6 Conclusion.....	36
Références bibliographiques.....	37
<u>CHAPITER III : EVALUATION DU CONFORT THERMIQUE</u>	
III.1 Introduction.....	40
III.2. Définition.....	40
III.2.1 Le confort.....	40
III.2.2 Confort thermique	40
III.3 Méthode d'évaluation du confort thermique	41
III.3.1 Les outils graphiques d'évaluation du confort thermique.....	41
III.3.1.1 Définition du diagramme bioclimatique.....	41
III.3.1.2 Diagramme de Givoni	43
III.3.1.3 Le diagramme d'Olgyay	44
III .3.1.4 Tables de Mahoney	44
III.3.2 Température de confort thermique	45
III.3.2.1 La température de l'air ambiante T_a	45
III.3.2.2 Température opérative (Top).....	45
III.3.2.3 La température des parois T_p	45
III.3.2.3.1 La température de confort ressentie.....	45
III.4Résultats et interprétation.....	47
III.4.1Apports solaires.....	47
III.5 Conclusion.....	49
Références bibliographiques	50
Conclusion Générale.....	53

Nomenclature

α_i : Coefficient d'absorption thermique du matériau(i).....	[-]
α_b : Coefficient d'absorption du béton.....	[-]
φ_{xij} : densité de flux de chaleur échangé par le mode de transfert x entre les milieux(i) et(j).....	[W.m ⁻²]
φ_i : Densité de flux solaire capté par la surface du milieu (i).....	[W.m ⁻²]
λ_i : Conductivité thermique.....	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
ϕ_{ra} : Flux d'échange par renouvellement d'air.....	[j/h]
Δt : Ecart de temps.....	[s]
C_{pi} : Chaleur spécifique (i).....	[j.Kg ⁻¹ .K ⁻¹]
DFSA : Densité de flux solaire absorbé par le matériau(i).....	[W.m ⁻²]
e : Epaisseur de la matière (i).....	[m]
FSGH : Densité de flux solaire incident globale sur la paroi faux plafond.....	[W.m ⁻²]
h_{cint} : Coefficient de convection toiture intérieure.....	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
h_{cext} : Coefficient de convection toiture extérieure.....	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
h_{VC-PSE} : Coefficient d'échange par rayonnement entre la voute céleste et la paroi sud externe.....	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
h_{VC-PNE} : Coefficient d'échange par rayonnement entre la voute céleste et la paroi Nord externe.....	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
$h_{SOL-PSE}$: Coefficient d'échange par rayonnement entre le sol et la paroi sud externe.....	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
$h_{PNI-PSI}$: Coefficient d'échange par rayonnement entre la paroi Nord interne et la paroi sud interne.....	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
$h_{POI-PSI}$: Coefficient d'échange par rayonnement entre la paroi ouest interne et la paroi sud interne.....	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
PS : Paroi sud.....	[-]
PN : Paroi sud.....	[-]
PSE : Paroi sud externe.....	[-]
PNI : Paroi Nord interne.....	[-]
PFPE : Paroi faux plafond externe.....	[-]

Q : la quantité de chaleur échangée à travers la surface (S).....	[W]
Q_{absor} : Quantités de la chaleur absorbées.....	[W]
Q_{absor} : Quantités de chaleur émise par un surface.....	[W]
RGIS : densité du flux solaire globale incident sur la paroi sud.....	[W.m ⁻²]
RGIO : densité du flux solaire globale incident sur la paroi ouest.....	[W.m ⁻²]
RGIN : densité du flux solaire globale incident sur la paroi Nord.....	[W.m ⁻²]
RGIE : densité du flux solaire globale incident sur la paroi Est.....	W.m ⁻²]
S_i : Surface du plan (i).....	[m ²]
T : Temps.....	[°C]
T_i : Température d'une surface (i).....	[°C]
T_j : Température d'une surface (j).....	[°C]
T_a :Température du milieu environnant la surface.....	[K]
T_{A1} : Température de l'air extérieure de l'habitat.....	[°C]
T_{A2} : Température de l'air intérieure de l'habitat.....	[°C]
T_{PNI} : Température de la paroi Nord externe.....	[°C]
T_{POE} : Température de la paroi ouest externe.....	[°C]
T_{PSE} : Température de la paroi sud externe.....	[°C]
T_{PEE} : Température de la paroi Est externe.....	[°C]
T_{PFPI} : Température de la paroi faux plafond intérieure.....	[°C]
T_{SOL} : Température du sol.....	[°C]
T_{mri} : Température radiante moyenne émise par l'environnement intérieure.....	[°C]
T_{VC} : Température de la voute céleste.....	[°C]
m_i : Masse de la matière.....	[Kg]

Liste des figures

CHAPITER I :	
Fig. I.1 : Frontières de la région d'Adrar	9
Fig. I.2 : Technique de réalisation traditionnelle des escaliers	11
Fig. I.3: Ksar Tamentit au Touat	11
Fig.I.4: A l'intérieur dans ancienne bâtisse à Tamentit	12
Fig.I.5: Khachba (Troncs de palmier)	13
Fig.I.6 :Djrid (Feuille de palmier)	13
Fig.I.7: Kernaf	14
Fig.I.8:Fdam (Fibre)	14
Fig.I.9: Ancien mur	15
Fig.I. 10 : Technique de construction fondation et murs	15
Fig.I.11 : Technique de réalisation des portes	16
Fig.I.12: Ancien plafond à Tamentit	16
Fig.I.13 : Schéma de disposition d'un plancher ancien à Tamentit	17
CHAPITER II	
Fig.II.1 : Représentation des 3 modes de transfert de chaleur	20
Fig.II.2 : Transfert de chaleur par conduction	21
Fig.II.3: Plaque plane	22
Fig.II.4 : Conduction dans une couche élémentaire de mur plan	23
Fig.II.5 : Transfert de chaleur par convection	24
Fig.II.6 : Transfert par convection naturelle	24
Fig.II.7 : Transfert par convection forcée	25
Fig.II.8 : Transfert de chaleur par rayonnement	26
Fig.II.9 : Ancien bâtis à Sali	31
Fig.II.10 : Schéma descriptif des différents modes d'échanges thermiques dans l'enveloppe habitable	33
Fig.II.11 : Schématisation des différents types d'échanges thermiques d'une paroi de l'habitat	34
CHAPITER III	
Fig. III. 1 : Diagramme bioclimatique	42
Fig.III. 2 : Zones de confort selon le diagramme bioclimatique de Givoni	43
Fig.III. 3 : Diagramme bioclimatique Olgyay (1963)	44
Fig. III. 4 : La température de confort dépend à la température de l'air et de paroi	46
Fig. III.5 : La variation du flux solaire estimé les parois de l'enceinte habitable dans une journée type au mois de juillet 2016	49

Liste des tableaux	
CHAPITER II	
Tableau II .1 : Valeurs de α en fonction de la vitesse d'air	30
Tableau II . 2 : La propriété thermo-physique des matériaux de construction	23

Introduction Générale

Introduction Générale

Ce qui différencie la situation où se trouve l'architecture moderne au niveau du problème énergétique, de l'architecture de n'importe quelle époque est non seulement la diminution de la disponibilité des ressources énergétiques mais plutôt l'exigence d'un confort thermique et ambiant devenu de masse seulement depuis des siècles.

Actuellement, le confort thermique constitue une demande reconnue et justifiée dans les bâtiments du fait de son impact sur la qualité des ambiances intérieures, la santé et la productivité de l'occupant passant les trois quarts de son temps à l'intérieur. Cette demande est soutenue par des normes et des réglementations qui permettent d'assurer la conformité des ambiances intérieures aux exigences du confort thermique. Or, la recherche des ambiances thermiques intérieures uniformes et confortables, conformément aux normes, tout au long de l'année et sans tenir compte des particularités du climat, du site, des bâtiments est accompagnée par une multiplication des installations climatiques, entraînant ainsi des fortes consommations d'énergie, d'origine fossile essentiellement, épuisable et polluante.

Au cours des trente dernières années, la consommation d'énergie finale en Algérie n'a cessé pas de progresser dans le secteur résidentiel, toujours en tête des autres secteurs. En 1995, ce secteur représentait 13.5% de la consommation nationale d'énergie finale. De surcroît, il était responsable de plus de 20% des émissions des GES. Le chauffage constitue le principal usage de cette énergie dans les bâtiments. La climatisation marque aussi une évolution progressive depuis plusieurs années notamment après la canicule en été 2003 avec une plus grande occurrence des étés chauds suite au réchauffement climatique accéléré par l'accroissement des rejets de gaz à effet de serre.

Avec l'intérêt grandissant pour le développement durable et la lutte contre le changement climatique, il devient pressant de réduire les dépenses énergétiques dans les bâtiments afin de parvenir à respecter les exigences de réduction des émissions de GES dans le cadre du protocole de Kyoto. Cette directive vise à améliorer la performance énergétique des bâtiments au sein de la communauté en prenant en considération le climat et le site au même degré que les exigences de confort et de qualité d'ambiance intérieure et la rentabilité.

Par ailleurs l'ensemble des études réalisées dans les bâtiments naturellement ventilés affirme l'acceptabilité et la préférence des occupants pour des conditions thermiques au-delà des recommandations normatives. Ces bâtiments offrent généralement à ses occupants une marge

importante de contrôle individuel et laissent l'opportunité à chacun d'eux de créer les conditions qui lui conviennent.

L'étude qui a été menée dans ce mémoire a permis de développer une méthodologie, qui caractérise le confort thermique à travers les interactions thermiques entre l'occupant et son environnement habitable.

Il consiste à explorer les nouvelles méthodologies d'évaluation du confort thermique afin de contribuer d'une manière efficace dans l'interaction physique, physiologique et comportementale entre l'occupant et son environnement habitable.

L'utilisation de cette méthodologie doit permettre une représentation réelle du confort thermique en conditions climatiques sévères notamment dans les anciens bâtis de la région d'Adrar en été.

Pour atteindre notre objectif, nous avons mis en œuvre une démarche méthodologique adaptée à la nature multidisciplinaire du confort thermique. Une étude bibliographique va nous permettre en premier temps d'identifier les différents mécanismes mis en jeu ainsi que les différentes approches concernant le confort thermique dans les anciens bâtis de la région considérée.

Ainsi ce travail se compose de trois chapitres organisés de la façon suivante. Dans le premier chapitre (I) nous avons donné un aperçu général sur l'histoire des anciens bâtis de la région d'Adrar.

Le deuxième chapitre (II) est consacré à l'évaluation du confort. Ceci nous conduit à effectuer un état de l'art qui permet de présenter les variables et leurs interactions dans les différents milieux de l'habitat, et de caractériser les ressources et les besoins de l'être humain en termes de confort thermique.

Le troisième chapitre (III) est destiné pour le rappel de transfert thermique et leurs formulations qui permettent de comprendre le phénomène physique du confort thermique.

Problématique

Problématique

Avec l'aggravation des problèmes environnementaux et l'augmentation du coût des matériaux de construction modernes, la nécessité de rechercher des matériaux naturels comme matériaux alternatifs dans le processus de construction a augmenté de jour en jour, et à notre époque aujourd'hui, les maisons d'argile s'imposent comme une solution possible au "chaos urbain" plus approprié avec le climat du sud, car il est considéré La construction en argile est une alternative solide aux technologies de construction modernes, car l'adoption de l'architecture en argile rétablit la relation intime entre les humains et l'environnement. L'argile est un matériau naturel et respectueux de l'environnement qui fournit un climat intérieur sain, comme l'ont prouvé de nombreuses études récentes.

La région d'Adrar se caractérise par son climat généralement sec, chaud en été et froid en hiver. Le confort thermique ne peut être obtenu que si il est pris en charge dans la construction lors de la conception architecture. A cela s'ajoute l'intégration de matériaux locaux adaptés aux, construction climatique de la région .Les anciennes habitations reflètent le génie architectural des anciens habitant.

Dans le cadre de ce travail, nous essaierons de répondre aux questions suivantes :

- Quelle sont les meilleures technique de construction pour les zone désertique ?
- Quelles sont les modes de transfert thermique qui ont lieu au niveau des bâtiments ?
- Quels sont les principaux facteurs climatiques qui ont un impact sur le confort thermique?
- Quelles sont les procédés de conception à adopter, les mécanismes architecturaux pour assurer le confort thermique à l'intérieur et l'extérieur de bâtiment ?

Hypothèses

Afin de reprendre à la problématique nous avons proposé les hypothèses suivantes :

- Il est difficile d'obtenir un confort thermique bien dans notre climat chaud et sec, mais les vieux bâtiments en argile offrent un certain confort de vie.
- Les techniques de construction traditionnelles et l'utilisation de matériaux environnementaux tels que l'argile peuvent être utilisées dans la construction d'une solution afin d'obtenir un confort thermique maximal.

Objectif de l'étude

Le but principal de cette recherche est évaluer le confort thermique d'une ancienne résidence individuelle située dans la ville d'Adrar par rapport aux conditions climatique difficiles. Il s'agit d'une étude détaillée de la composante la plus importante du logement traditionnel l'argile ,les propriétés thermo-physique ,avec une étude des différents types d'échange de chaleur dans la couverture de logement proposée en définissant les différent modèles de transfert thermique dans chaque mur .

À la fin estimer les bilans énergétiques des surfaces intérieures et extérieures de chaque paroi de l'habitat.

Structure du mémoire

Un véritable besoin en confort nous a poussés à aborder notre thème de recherche, ce travail est composé de deux grandes parties : une approche thématique suivie d'une mise en application pratique. Après un chapitre introductif où nous abordons les généralités du thème et posons la problématique, la partie théorique est organisée en quatre chapitres.

Chapitre I :

Historique des anciens bâtis

de la région d'Adrar

I.1 Introduction

Le bâtiment en argile de la ville d'Adrar est considéré comme un signe du patrimoine bâti de la région, car il se distinguait par sa splendeur et sa magnificence, et dans sa simple élégance exprimait la personnalité des personnes qui l'ont construit et habité, et il a également exprimé son style en réponse aux conditions environnementales difficiles auxquelles ils étaient confrontés. Les maisons d'argile diffèrent par leur construction, les éléments et les matériaux à partir desquels elles sont construites et les formes traditionnelles imposées par la nature Géographie dans toutes les régions de notre pays.

Dans cette étude, nous voulons fournir un aperçu des bâtiments anciens, la méthode de construction et les composants les plus importants utilisés à l'époque.

I.2 Situation géographique de la région d'Adrar

Le mot Adrar signifie en langue berbère "montagne". Issue du découpage administratif de 1974, la Wilaya d'Adrar est située dans le Sud-ouest de l'Algérie, et couvre une superficie globale de 427.968 Km² soit 17,97% du territoire national, elle s'étend selon les coordonnées géographiques [1].

- Entre les longitudes 0°30 Est et 0°30 à l'Ouest.
- Entre la latitude 26°30 et 28°30 au Nord.
- Et une altitude moyenne de 222m.

Elle est limitée (Fig.I. 1) [2]:

- Au Nord, par la Wilaya d'El-Bayedh.
- Au Nord-ouest, par la Wilaya de Bechar.
- A l'Ouest, par la Wilaya de Tindouf.
- Au Sud, par la Mauritanie et le Mali.
- Au Nord-est, la Wilaya de Ghardaïa.



Fig.I.1 : Frontières de la région d'Adrar [2].

I.3 L'habitat traditionnel

L'architecture traditionnelle est le témoignage de la diversité des cultures et des modes de vie. Elle est transmise de génération en génération, elle est spécifique pour chaque communauté, société, région etc.... « L'habitat traditionnel peut être défini comme un cadre adapté à un contenu social créé par un groupe social pour lui-même par référence à sa propre culture. Il est généralement, œuvre collective d'une société homogène très individualisée, produisant par ses propres moyens et pour ses propres besoins» [3].

I.3.1 L'habitat traditionnel au Touat

La population du Touat habite soit le ksar (pl. ksour) entouré de murs de fortifications, soit la kasba, sorte de château-fort saharien. Les habitations, bien que différentes selon leur grandeur, le nombre et la disposition des pièces, montrent toutes une même conception. Elles forment des cubes de 5-6 m de haut, sans étage proprement dit. Celui-ci est formé par une terrasse à laquelle on accède par un escalier montant de la cour. En été, elle sert souvent de dortoir à toute la famille. Les portes d'entrée en bois donnent soit directement sur la rue, soit sur un embranchement étroit [4].

I.3.1.1 Une première seguifa "Bit Ediaf "

Il s'agit de la pièce d'entrée, longue (10 m), mais étroite (2,5m) qui sert au maître de maison pour recevoir ses hôtes. C'est là qu'il les installe sur des tapis et leur offre une collation. C'est là aussi que la famille passe la nuit ordinairement, dormant sur des tapis ou

à même le sol couvert de sable. Les murs, sans ornement aucun, portent uniquement des entailles triangulaires où placer les bougies [4].

I.3.1.2 Une seconde seguifa "souari "

La plus grande pièce recouverte, divisée par des murs de soutien, pièce d'habitation de la famille. Des hôtes y sont également reçus, mais en l'absence des femmes seulement. Par les froides soirées d'hiver, un feu de rameaux y brûle et tous les membres de la famille se chauffent autour de ce « Kanoun » [4].

I.3.1.3 Mesria

Petit réduit fermé, on garde de nombreux objets, habits, bijoux, armes, vaisselle, mais aussi des vivres comme du blé, du sucre, du thé, mais pas de dattes cependant dans le Touat en général. C'est le maître de maison qui en conserve la clef. Souvent, le mari et la femme ont chacun leur « Mesria » où ils rangent leurs affaires séparément [4].

I.3.1.4 Rahba

C'est un espace central, source de lumière et d'aération. Il distribue la majorité des espaces et régularise le fonctionnement de toute l'habitation puisque la quasi-totalité des activités s'y déroule. Elle est carrée ou rectangulaire (8-10 m) de long et de large d'habitude, recouverte de sables [4].

I.3.1.5 Le Makhzen

Les dattes se conservent dans de petits greniers, les makhzens, élevés à hauteur des terrasses de maison et avançant sur la rue. De telles constructions surélevées s'appellent « el ali » (ali = élevé). Les côtés du makhzen donnant sur la rue sont garnis d'une petite ouverture qui permet l'aération. Beaucoup de maisons disposent d'au moins deux makhzens et cela pour pouvoir serrer séparément les dattes et le blé. L'on sait par expérience que les dattes se gâtent lorsqu'elles voisinent immédiatement avec le blé, personne n'en sait la raison cependant. Lorsqu'on ne possède qu'un seul makhzen, on le sépare soigneusement en deux compartiments pour éviter que les deux denrées ne se touchent [4].

I.3.1.6L'escalier

Il permet la continuité spatiale entre la "Rahba" et le "Stah". Les grandes maisons du ksar peuvent avoir deux escaliers : l'un positionné sur la "Rahba" est à l'usage des habitants de

la maison, l'autre, positionnée près de "Bit ediaf" permet aux étrangers l'accès à la partie de la terrasse que leur est réservée [4].

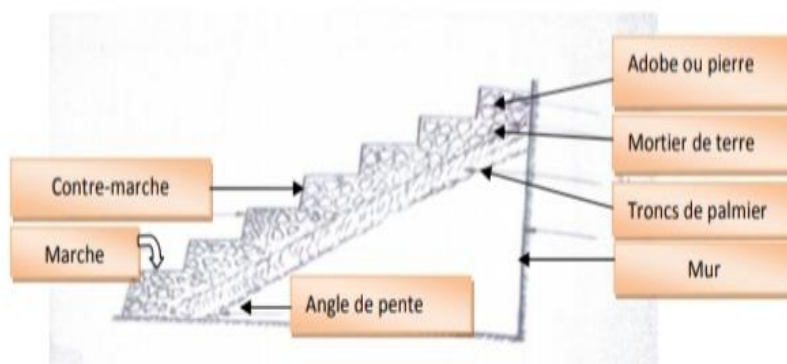


Fig.I. 2 : Technique de réalisation traditionnelle des escaliers [5].

I.3.1.7Le Stah

C'est la terrasse. Elle est, du fait des conditions climatique très utilisée par les ksouriens [6].

I.3.1.8El Kos

C'est l'espace que sert à dormir en hiver [6].



Fig.I.3: Ksar Tamentit au Touat.



Fig.I.4: A l'intérieur dans ancienne bâtisse à Tamentit.

I.4 Matériaux de construction traditionnels locaux

Dans le ksar, « Toub » et palmiers ont toujours été les seuls éléments nécessaires à la construction. Aujourd'hui considéré comme un matériau précaire et archaïque, la brique de terre « Touba » est supplantée par le béton et le parpaing. Pourtant, « l'architecture de terre n'est pas une curiosité, puisqu'on estime aujourd'hui que la moitié de la population du globe habite des maisons en terre » [4].

I.4.1 Le Toub

C'est un matériau obtenu par malaxage d'une argile avec du sable de dune ou de la « Tafza » (roche locale pillée) et de l'eau, de cette bouillie, on forme les toub à la main et on les sèche au grand air et au soleil.

I.4.1.1 La Touba

C'est une brique de terre produite artisanalement dans des moules de $15 \times 15 \times 30$ ou de $20 \times 10 \times 40$ cm et pèsent 8 kilos, séchée au soleil pendant une période de 4 à 5 jours en été et de 15 à 20 jours en hiver.

I.4.2 Le Palmier

Il est utilisé dans sa totalité. On en tire :

I.4.2.1 La Khechba

Tronc, seul bois disponible presque dans les oasis, que l'on sectionne en deux ou en quatre selon son utilisation. Après, ils sont laissés à sécher pendant plusieurs jours. Ils ne

sont pas obligatoirement de forme droite et leur longueur ne dépasse pas deux mètre et demi au maximum, ce qui déterminer les dimensions des espaces qu'ils auront à structurer.



Fig.I.5:Khachba (Troncs de palmier).

I.4.2.2 Le Djrid

Ce sont les branches du palmier.



Fig.I.6:Djrid (Feuille de palmier).

I.4.2.3 Le Kernef

Ce sont ces grandes queues triangulaires à la base des feuilles. Ses dimensions sont de 20×25 cm.

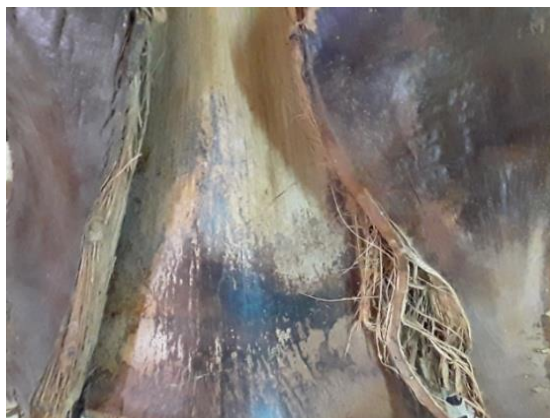


Fig.I.7:Kernaf.

I.4.2.4 Le Fdem

Ce sont les extrémités effeuillées des tiges des palmes .Il est utilisé sur ‘‘El Kernaf’’ après humidification avec de l'eau dans le processus de couverture.



Fig.I.8:Fdam (Fibre).

I.5 Techniques constructives

Souvent, les techniques des constructions employées sont considérées comme des réponses directes aux contraintes du milieu .Il obéissent la rigueur de la construction. Elle est due au savoir et habitudes des artisans et des habitants sur un style dominant porteur d'une identité à laquelle en adhère. Ce sont principalement :

I.5.1 Les fondations (Tasliya)

Pour les réaliser, on creuse jusqu'à ce que la couche solide soit atteinte et à partir de laquelle les murs sont construits et élevés, et l'on dépose de la pierre dans l'excavation jusqu'à une hauteur de 10cm du sol au minimum, dans le cas où la couche superficielle de la terre est composée de "Tafza", la construction est faite sans creuser les fondations [7,8].

I.5.2 Le mur

C'est une association de « Toubates » appareillées de différentes manière et liées avec de la boue molle. Les murs ont une épaisseur minimale de 50 cm, c'est-à-dire de un toub et demie puisqu'ils sont porteurs avec un interstice de 5 cm environ que l'on recouvre de mortier. Les murs de façade sont généralement hauts de manière à ce qu'un homme debout ne puisse voir l'intérieur [7].



Fig.I.9: Ancien mur.

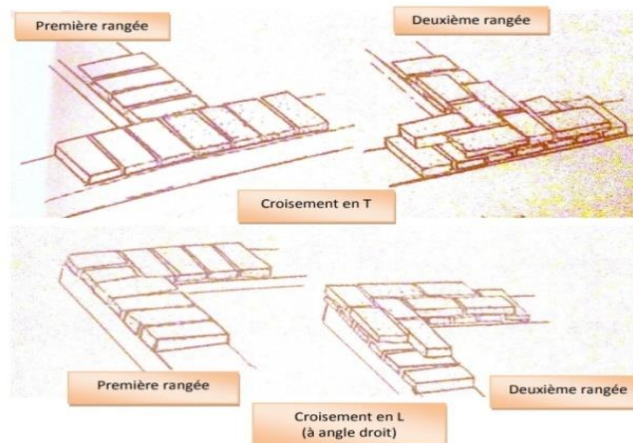


Fig.I. 10 : Technique de construction fondation et murs [8].

I.5.3 Les ouvertures (Portes)

C'est la « khachba » qui joue le rôle de linteau. Selon l'épaisseur du mur, on utilise deux ou trois demi-khechbates [7].

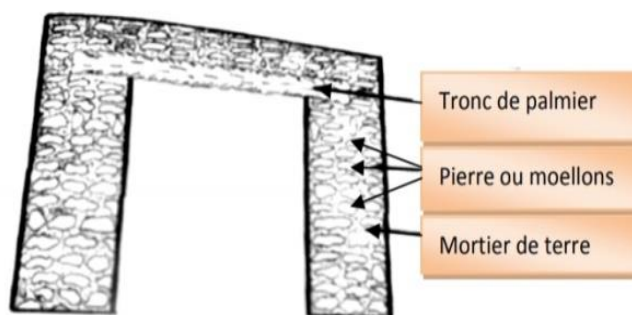


Fig.I.11 : Technique de réalisation des portes [5].

I.5.4 Le toit (Sguef)

Conçu avec une simplicité étonnante, il nécessite deux matériaux principaux : La terre et les différentes composantes du palmier (Djrid, Kernefs, Khechba).

Les troncs de palmier sont alignés au-dessus des murs parallèles et espacés de 20 à 25 cm, et reliés par «alkarnaf» dans le sens perpendiculaire, lui donnant un bel aspect. Au-dessus est disposée la fibre végétale appelée «alfdam» renforcée parfois par des tiges de blé broyées appelé «albromi». Si le bois est rare, les kachba seront éloignées jusqu'à un mètre l'une de l'autre et les intervalles bourrés de rameaux de palmier (aldjerid). Le rôle de ce système est d'empêcher les fuites d'eau du plafond vers le bas en le recouvrant d'une couche d'argile molle. Celle-ci doit être épaisse pour empêcher le transfert de chaleur de l'extérieur vers l'espace intérieur. Il a également la fonction de garder la maison au chaud en hiver. Le plafond contient les ouvertures de 20 X 30 cm «el-coua» permettant la ventilation de la maison et la pénétration des rayons de soleil [8].



Fig.I.12: Ancien plafond à Tamentit.



Fig.I. 13 : Schéma de disposition d'un plancher ancien à Tamentit.

I.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons montré que l'architecture traditionnelle était une réponse directe aux problèmes climatiques. L'art de la construction était spécifique à chaque région. En plus, on a constaté que les habitants de la région d'Adrar ont toujours construits leurs maisons avec des matériaux de construction locaux. Tout en respectant certains critères (le choix de l'habitat, sa forme, son orientation, et les dimensions des ouvertures). Par conséquent, ils ont réussi à obtenir un bon niveau de confort thermique sur toute l'année.

Références bibliographiques

1. www.algerie-monde.com/wilayas/adrar.
2. www.andi.dz/PDF/monographies/Adrar. consulter le 2013.
3. A. Amina, D.BAKHTI," La Continuité Urbaine De L'habitat Traditionnel» Le cas de l'habitat traditionnel d'el Eubbed", Thèse de Master Université Abou Bakr Belkaïd - Tlemcen,p12, consulté le 13/06/2016.
4. www.Architecture & Urbanisme.com, "L'habitat traditionnel au Touat dans le Sahara algérien", quintessences.unblog.fr, article sur l'habitat traditionnel au Touat, consulté le 2016/03/29.
5. M.BENSOUISSI, "L'Architecture islamique à Tamentit (en arabe)", Mémoire de magister en archéologie islamique, Université d'Alger, p308, p309, p310, consulté (2007/2008).
6. B.E. Yousfi, "Dynamiques urbaines, mobilités et transports dans le Sud-ouest Algérien (wilayas d'Adrar et de Bechar)", Thèse de docteur, université de Franche-Comté, France, 27 juin (2012).
7. Centre de recherches et d'Application, Terre : "Construire en terre", Edition alternative et parallèles, article sur la Construire en terre, (1980).
8. C. BENABDALLAH," Techniques de réhabilitation et de restauration du bâti ancien construit en terre « Cas d'étude : Mausolée de Sidi Ba Yousef à Tamentit ", Mémoire de magister Matériaux en Génie Civil ,Université Ahmed Draïa d'Adrar,p 40, consulter le 20 juin 2018.

Chapitre II :

Transfert Thermique

II. Introductions

Depuis plus d'un siècle il est bien connu que les scientifiques se penchaient sur l'étude des principes fondamentaux des transferts thermiques (conduction, convection, rayonnement). Lorsqu'on parle de « transferts thermiques », on cherche à expliquer la façon dont les transferts de chaleur se font ainsi que leur vitesse.

L'objectif principal de cette étude est de mieux connaître les phénomènes physiques mis en jeu dans les échanges énergétiques.

II.1 Définition

II.1 .1 Transfert thermique

Le transfert thermique est la science qui tente à prédire le transfert d'énergie entre les molécules ou les particules de la matière à différentes températures. Le but est d'expliquer la manière et de prédire le taux d'échange de la chaleur sous certaines conditions spécifiques. Il complète les deux premiers principes de la thermodynamique par des lois expérimentales additionnels afin d'établir les proportions de transfert d'énergie [1].

La figure suivante présente les trois modes de transfert de chaleur pour un composant électronique :

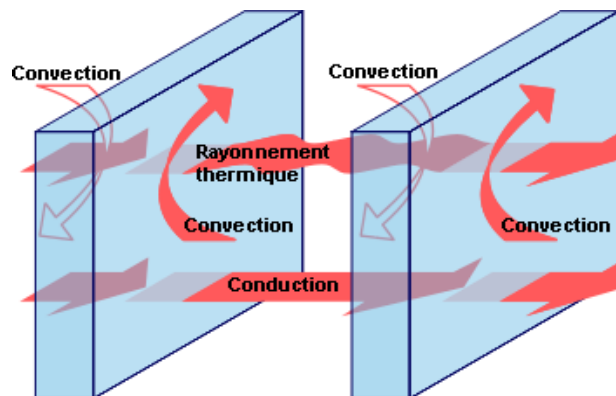


Fig. II.1 : Représentation des 3 modes de transfert de chaleur [2].

II.2 Les modes de transfert thermique

L'étude des transferts thermiques nous a permis découvrir trois modes différents de transfert de la chaleur. Chacun de ces modes est du à un processus physique bien spécifique.

II.2. 1 Transfert par conduction

La conduction thermique est spécifique aux solides (bois, métaux, etc.), elle est un transfert direct au sein d'un milieu matériel, qui se fait par propagation de proche en proche de la chaleur. Le mouvement d'agitation thermique (flux de chaleur) va toujours des zones chaudes vers les zones froides [3].

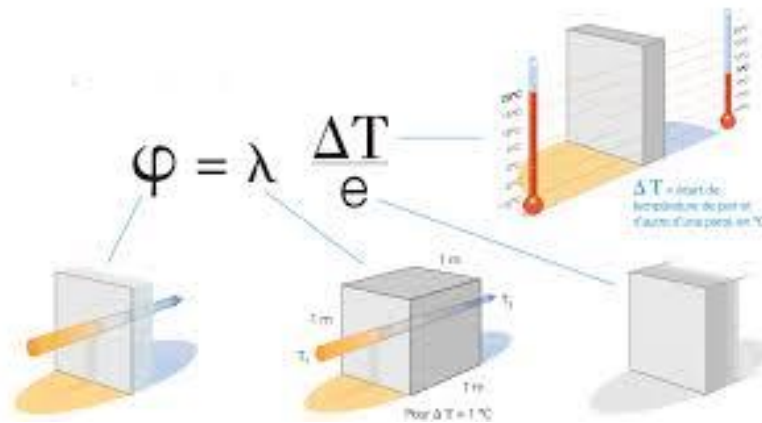


Fig. II.2 : Transfert de chaleur par conduction [4].

II.2. 1.1 Loi fondamentale de la conduction (loi de J. Fourier)

La loi fondamentale de la transmission de la chaleur par conduction, a été proposée par le mathématicien et physicien Français, Jean Baptiste Joseph Fourier en 1822.

- ✓ Considérons une plaque plane (D), de surface (S) et d'épaisseur (voir Fig.II.3);
- ✓ Soit dQ , la quantité de chaleur échangée entre la plaque et l'air ambiant pendant le temps dt ;
- ✓ On définit le flux de chaleur (flux thermique, ϕ) comme la puissance échangée entre la surface S de la plaque et le milieu extérieur [1 ,5].

$$\phi = \frac{dQ[J]}{dt[s]}; (W) \tag{II -1}$$

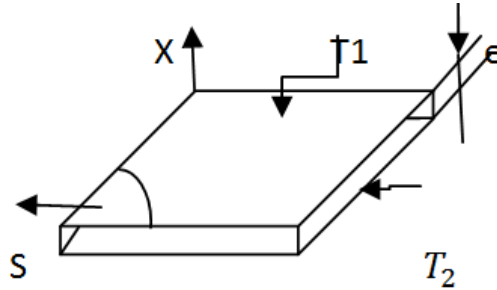


Fig. II.3: Plaque plane.

On définit la densité de flux thermique comme la puissance échangée par unité de surface de la plaque [1,5] :

$$\varphi = \frac{dQ[J]}{S \cdot dt[m^2 \cdot s]} ; \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (\text{II -2})$$

Les principes fondamentaux de la thermodynamique nous font savoir que :

- ✓ L'énergie est conservée en l'absence d'une source de chaleur

La chaleur transmise passe toujours du corps chaud vers le corps froid (dans notre cas : $T_1 > T_2$).

On peut vérifier expérimentalement que :

$$Q = \lambda \frac{S}{e} (T_1 - T_2) \quad (\text{II -3})$$

Pour un élément infinitésimal, ds , la relation (II-3) s'écrit:

$$dQ = d\phi = -\lambda \cdot ds \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \quad (\text{II -4})$$

L'équation (II-4) est attribuée au mathématicien et physicien Français J. B. Fourier qui en 1822 énonça sa loi et qui peut se traduire comme suit : **«En tout point d'un milieu isotrope, la densité de flux thermique instantané, est proportionnelle à la conductivité thermique du milieu et au gradient de température».**

La forme vectorielle de cette loi qui exprime la densité de flux thermique est définie comme étant la quantité de chaleur transmise par unité de surface, soit :

$$\vec{\varphi} = -\lambda \overrightarrow{grad}T \text{ en } W \cdot m^{-2} \quad (\text{II -5})$$

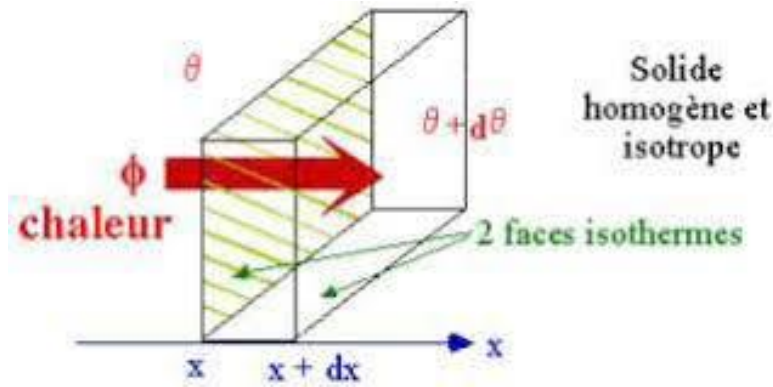


Fig. II.4 : Conduction dans une couche élémentaire de mur plan [4].

- **Remarque**

Par convention, $\vec{\varphi}$ est compté positivement dans le sens d'écoulement de la chaleur, c'est-à-dire vers les températures décroissantes. $(\overrightarrow{grad}T)$ est un vecteur porté par le même axe mais de sens contraire à $\vec{\varphi}$ (de petites valeurs vers les grandes valeurs) d'où le signe négatif de la loi de Fourier.

Le signe '-' intervenant dans cette loi traduit le fait que le flux de chaleur circule des zones chaudes vers les zones froides [1].

II.2. 2 Transfert par convection

La convection est un mode de transport d'énergie par l'action combinée de la conduction, de l'accumulation de l'énergie et de mouvement de milieu, elle est considérée comme le mécanisme le plus important de transport de l'énergie entre une surface solide et un liquide ou gaz. Le transport d'énergie par convection d'une surface dont la température est supérieure à celle du fluide qui l'entoure s'effectue en plusieurs étapes. D'abord la chaleur s'écoule par conduction de la surface aux molécules du fluide adjacent. L'énergie ainsi transmise sert à augmenter la température et l'énergie interne de ces molécules du fluide. Ensuite les molécules vont se mélanger avec d'autres molécules et transférer une partie de leur énergie. Dans ce cas l'écoulement transporte simultanément, le fluide et l'énergie. L'énergie est à présent, emmagasinée dans les molécules du fluide et elle est transportée sous l'effet de leur mouvement [6].

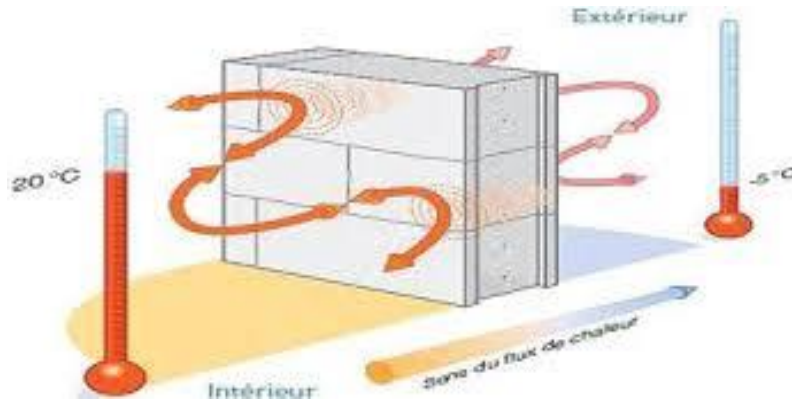


Fig. II.5 : Transfert de chaleur par convection [4].

On classe généralement la convection en trois catégories :

II.2. 2 .1 La convection naturelle (Convection libre)

C'est celle dans laquelle le mouvement du fluide est créé par des différences de densité, elles -mêmes dues à des différences de température existant dans le fluide. La convection naturelle dans laquelle le mouvement résulte de la variation de la masse volumique du fluide avec la température, cette variation crée un champ de forces gravitationnelles qui conditionne les déplacements des particules fluide. La convection naturelle est due au contact du fluide avec une paroi plus chaude ou plus froide et qui crée des différences de masse volumique, génératrice du mouvement au sein du fluide. On retrouve dans plusieurs applications industrielles ce mode de transfert de chaleur, Par exemple, dans les échangeurs de chaleur où deux fluides en mouvement, séparés par une paroi solide s'échange de l'énergie [2].



Fig. II.6 : Transfert par convection naturelle [4].

II.2. 2 .2 Convection forcée

La convection forcée dans laquelle le mouvement est provoqué par un procédé mécanique indépendant des phénomènes thermiques, c'est donc un gradient de pression extérieur qui provoque les déplacements des particules du fluide. L'étude de la transmission de chaleur par convection est donc étroitement liée à celle de l'écoulement

des fluides. La convection est dite forcée quand il existe une cause du mouvement autre que les variations de températures du fluide, cette cause étant la seule à prendre en compte en raison de son importance relative [2].

La relation générale pour la convection forcée est $Nu = f(Re, Pr)$. En microélectronique, le transfert de chaleur obéit alors à l'expression suivant :

$$Nu = c \cdot Re^n \cdot Pr^m \quad (\text{II}-6)$$

Où c , n et m sont des constantes dépendant des caractéristiques du solide et du fluide.

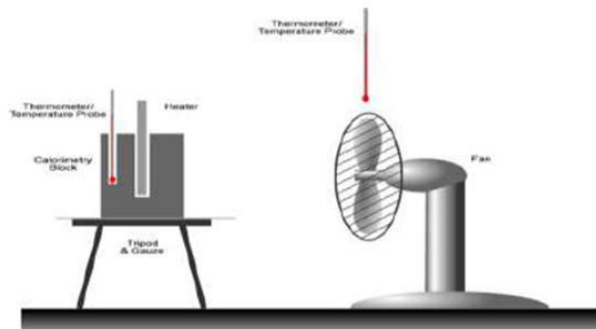


Fig. II.7 : Transfert par convection forcée [4].

II.2. 2.3 La convection mixte

Il existe une cause externe au mouvement du fluide mais insuffisante pour que la poussée d'Archimède puisse être négligée (frontière entre la convection libre et la convection forcée) c'est le cas des transferts de chaleur dans un habitacle d'automobile :

L'air est soufflé dans l'habitacle par un ventilateur, mais la poussée d'Archimède n'est pas négligeable, surtout lorsqu'on se place loin des entrées d'air [2].

Le groupe adimensionnel qui détermine laquelle de ces convections est dominante est le nombre de Richardson Ri qui est le rapport du nombre de Grashof sur le carré du nombre de Reynolds :

$$Ri = \frac{Gr}{Re^2} \quad (\text{II}-7)$$

Si : $\frac{Gr}{Re^2} < 0.1$ c'est la convection forcée qui domine.

Si : $\frac{Gr}{Re^2} > 10$ c'est la convection naturelle qui domine.

Si : $0.1 < \frac{Gr}{Re^2} < 10$ c'est la convection mixte (naturelle et forcée).

II.2. 2 .4 Loi fondamentale de la convection (loi d'I. Newton)

La loi fondamentale de la convection est la loi d'Isaac Newton (1643-1727), traduite par la relation expérimentale de flux de chaleur échangé par convection entre un fluide et une paroi solide [7].

Le flux de chaleur [1,5]:

$$\vec{\varphi} = h. (T_1 - T_2). S \quad (W) \quad (\text{II -8})$$

Avec : $h = \frac{\lambda}{e} (\frac{W}{m^2 \cdot K})$

II.2. 3 Transfert par rayonnement

Le rayonnement est un transfert thermique qui ne nécessite pas de milieu matériel par opposition aux deux autres. En effet, ce type de transfert thermique résulte de l'émission des rayons électromagnétiques transporte l'énergie. Ils sont émis par un corps chaud, tel que le soleil, et échauffent le corps qui les reçoit [8].

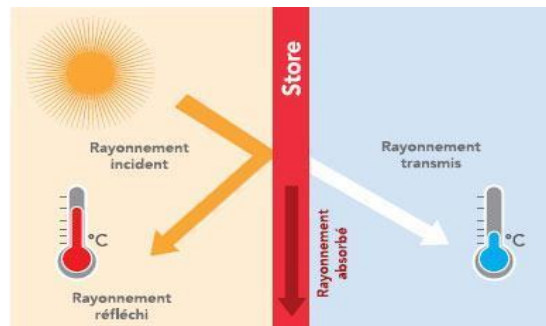


Fig. II .8 : Transfert de chaleur par rayonnement [4].

II.2. 3.1 Loi de Stefan

Le flux de chaleur rayonné par un milieu de surface (S) et de température (T) s'exprime grâce à la loi de Joseph Stefan (1835-1893) et Ludwig Eduard Boltzmann (1844-1906) [9,5].

$$\varphi = \varepsilon \sigma S (T_s^4 - T_a^4) \quad (\text{II -9})$$

ε : Facteur d'émission de la surface ($0 < \varepsilon \leq 1$)

σ : constante de Stefan = $5.67 \times 10^{-8} W.m^{-2}.K^{-4}$

II.3 Les coefficients d'échange

Il est nécessaire de déterminer les coefficients de transfert de chaleur qui sont généralement fonction des températures des différents milieux de notre modèle [10]. La densité de flux de chaleur est exprimée par la relation :

$$\varphi_{x-i,j} = q_{x-i,j}/S = h_{x-i,j} \times (T_j - T_i) \text{ (W.m}^{-2}\text{)} \quad (\text{II}-10)$$

$q_{x-i,j}$: L'intensité du transfert thermique entre deux fluides dans un échangeur suit la loi de Fourier [11] :

$$q_{x-i,j} = h_{x-i,j} \cdot S \cdot F \cdot \Delta T$$

F=1 pour un échangeur à contre-courant parfait

II.3 .1 Les coefficients d'échange par conduction

Considérons un solide de conductivité thermique " λ ", d'épaisseur " e " dans les faces sont maintenue aux températures " T_1 " et " T_2 ". La densité du flux de chaleur entre les isothermes " T_1 " et " T_2 " vérifie la loi de Fourier et s'écrit [10] :

$$\varphi_{cond-1,2} = \frac{\lambda}{e} \times (T_1 - T_2) = h_{cond-1,2} \times (T_1 - T_2) \quad (\text{II}-11)$$

$$\varphi_{cond-1,2} = \frac{\lambda}{e_{pi}} \text{ (W.m}^{-2}\text{K}^{-1}\text{)}$$

II.3 .2 Les coefficients d'échange par convection naturelle

La valeur du coefficient de transfert de chaleur par convection naturelle entre une paroi et le fluide qui circule en son voisinage est, en règle générale, déduite du nombre de Nusselt [7 ,12].

$$Nu = \frac{h_{conv-i,j} \times L}{\lambda} \quad (\text{II}-12)$$

Avec :

$$Nu = a \times (Gr \times Pr)^n \quad (\text{II}-13)$$

❖ Gr est le nombre de Grashof thermique qui s'exprime par la relation :

$$Gr = \frac{g \times \beta \times L^3 \times \Delta T}{\nu^2} \quad (\text{II}-14)$$

❖ Pr nombre de Prandtl défini par :

$$Pr = \frac{\rho \times \nu \times C_p}{\lambda} \quad (\text{II}-15)$$

Si la convection est laminaire $GrPr < 10^9$ et donc $n = 1/4$

Si la convection est turbulente $GrPr > 10^9$ et donc $n = 1/3$

II.3 .2.1 Convection Forcée externe

Pour la plaque plane de température uniforme de longueur L en régime laminaire de vitesse V, nous allons voir dans la suite du cours où les notations seront définies : en régime laminaire [11]:

$$h = Nu (\lambda/L) \text{ avec } Nu = 0.664 Pr^{1/3} R_L^{1/2} \quad (\text{II} -16)$$

En régime turbulent ($Re > 10^4$) :

$$h = Nu (\lambda/L) \text{ avec } Nu = 0.036 Pr^{1/3} R_L^{4/5} \quad (\text{II} -17)$$

II.3 .2.2 Convection Forcée interne

Pour un tube de température uniforme de diamètre D en régime laminaire de vitesse V, nous allons voir dans la suite du cours où les notations seront définies: en régime laminaire [11]:

$$h = Nu (\lambda/L) \text{ avec } Nu = 3.66 \quad (\text{II} -18)$$

En régime turbulent ($Re > 10^3$) :

$$h = Nu (\lambda/L) \text{ avec } h = Nu (\lambda/L) \text{ avec } Nu = 0.023 Pr^{1/3} R_L^{4/5} \quad (\text{II} -19)$$

II.3 .3 Les coefficients d'échange par rayonnement

Afin de tenir compte des propriétés optiques et géométriques des surfaces considérées, il est possible d'utiliser le facteur de forme " $F'_{1 \rightarrow 2}$ " défini par l'expression [7] :

$$F'_{1 \rightarrow 2} = \left[\frac{1 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{F'_{1 \rightarrow 2}} + \frac{1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_2} \times \frac{S_1}{S_2} \right]^{-1} \quad (\text{II} -20)$$

Le flux radiatif net " $q_{r,1 \rightarrow 2}$ ", entre les surfaces "1" et "2" de températures respectives " T_1 " et " T_2 ", Est donné par :

$$\varphi_{r,1 \rightarrow 2} = S_1 \times F'_{1 \rightarrow 2} \times \sigma \times (T_1^4 - T_2^4) \quad (\text{II} -21)$$

σ : Constante de Stefan-Boltzmann , $\sigma = 5.67.10^{-8} \text{W. m}^{-2}. \text{K}^{-4}$ [7].

La densité surfacique du flux radiatif au niveau de la surface d'indice 1 s'écrit :

$$\varphi_{r,1 \rightarrow 2} = \frac{q_{r,1 \rightarrow 2}}{S_1} = F'_{1 \rightarrow 2} \times \sigma \times (T_1^4 - T_2^4) \quad (\text{II}-22)$$

Sous forme linéarisée, $q_{r,1 \rightarrow 2}$ s'écrit :

$$\varphi_{r,1 \rightarrow 2} = hr_{1 \rightarrow 2} \times (T_1 - T_2) \quad (\text{II}-23)$$

En égalant les deux relations précédentes, et en tenant compte de la relation (3), l'expression générale du coefficient de transfert radiatif entre deux surfaces d'indice 1 et 2 s'écrit [7] :

$$hr_{1 \rightarrow 2} = \frac{\sigma \times (T_1^2 - T_2^2) \times (T_1 + T_2)}{\frac{1 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{F_{1 \rightarrow 2}} + \frac{1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_2} \times \frac{S_1}{S_2}} \quad (\text{II}-24)$$

II.4 Les propriétés thermo-physiques des matériaux de construction

II.4.1 Conductivité thermique λ

La conductivité thermique est le flux de chaleur traversant un matériau d'épaisseur un mètre, pour une différence de température d'un Kelvin entre les deux faces entrante et sortante. Elle exprime en $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$, sa valeur permet de quantifier le pouvoir du matériau à conduire la chaleur (en termes d'amplitude) [13].

II.4.2 La masse volumique ρ

ρ La masse volumique d'un matériau est égale au rapport entre la masse de celui-ci et le volume qu'il occupe. La masse volumique s'exprime en kg/m^3 [14].

$$\rho = \frac{M (Kg)}{V (m^3)} \quad (\text{II}-25)$$

II.4.3 Chaleur spécifique C_p

La chaleur spécifique C_p d'un corps (ou capacité thermique massique) est la quantité d'énergie à apporter pour élever d'un kelvin la température de l'unité de masse du corps. L'unité légale est donc le joule par kilogramme-kelvin ($J \cdot Kg^{-1} \cdot K^{-1}$) [15].

$$C_p = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad (\text{II}-26)$$

II.4.4 L'émissivité (ϵ)

L'émissivité d'un matériau (d'une surface) renseigne sur son aptitude à émettre un rayonnement. Elle s'exprime sous la forme du rapport entre la quantité d'énergie émise par la surface (luminance L) et l'énergie émise par un corps noir (luminance L_0) porté à la même température [15].

$$\epsilon = \frac{L}{L_0} \quad (\text{II -27})$$

II.4.5 La coefficient d'absorption α

Le coefficient d'absorption ou absorptivité est une quantité locale définie à partir de la dérivée de l'absorbance A par rapport au chemin optique L parcouru par un rayonnement électromagnétique dans un milieu donné [16].

Le tableau II.1 nous donne quelques valeurs de ' α ' en fonction de la vitesse de l'air [17] :

Vitesse (m/s)	0-0.2	0.2-0.6	0.6-0.7
α :coefficient	0.5	0.6	0.7

Le tableau II.1 : Valeurs de α en fonction de la vitesse d'air.

II.5 Modélisation des transferts thermiques dans l'habitat**II. 5. 1Description physique de l'habitat**

Dans la région d'Adrar, malgré la Pierre, le grès dur (**hajra**), se trouve fréquemment à disposition, la population locale se sert uniquement des toub (argile +sable), vite fabriquée et vite séchés, plus faciles à manier que la pierre qu'il faut casser, façonner et transporter péniblement.



Fig. II.9 : Ancien bâtis à Sali.

Le modèle physique retenu dans cette étude est un local résidentiel de type maison individuelle composée d'une seule chambre à 4 façades. La construction est implantée sur une surface de $20m^2$.

- Les murs des maisons ont une épaisseur de 50 cm. C'est-à-dire d'un toub et demi avec un interstice de 5 cm (mesurent environ 30cm, de longueur 15cm de largeur, et 10 cm de hauteur).
- Les plafonds se composent de poutre de palmier (**Khachba**). Qui peuvent atteindre une longueur maxima de 2.50 m environ .On rapprochera les (**Khachba**) de façon à pouvoir remplir les intervalles de kernaf (30-40cm), ce bois très dur. Ils correspondent à peu près à la largeur d'un toub. Le tout recouvert de bourre de palmier (**Fedam**) mouillé, de paille ou de feuilles de palmier et le tout est habillé d'une couche de terre glaise 30 cm.
- Longueur "L" 5 (m) et Hauteur "h" 2.50 (m) et Largeur "L" 5 (m).
- La dalle de plancher se compose uniquement d'une fine couche de sable.

Dans le tableau, on donne les paramètres thermiques et géométriques de l'enveloppe habitable, qui ont été retenus dans la simulation numérique [18].

les paramètres thermiques et géométriques	Conductivité thermique λ' (W/m. k)	Masse volumique ρ' (kg/m ³)	Chaleur spécifique C_p' (J/kg. k)	Emissivité ϵ''	Coefficient d'absorptin α''
Argile +sable	0.45	1500	880	0.85	0.5
Kernaf (Bois lourd)	0.20	800	2700	0.86	0.07

Tableau II.2 : La propriété thermo-physique des matériaux de construction [18].

II.5 .1.1 Equations de base

L'établissement des équations de transfert est basé sur l'analogie entre les transferts thermique. D'une façon générale, la variation instantanée de l'énergie au sein d'un composant de l'habitat est égale à la somme algébrique des densités de flux échangés au sein de ce composant.

Le bilan énergétique des parois de l'enceinte habitable est déterminé par l'équation gouvernementale suivante [7,19] :

$$\frac{m_i \times C_{pi}}{s} \times \frac{\partial T_i}{\partial t} = DFSA_i + \sum_{i+1}^n \times \sum_x \varphi_{xij} \tag{II -28}$$

Avec :

$$DFSA_i = \alpha_i \times \varphi_i \tag{II -29}$$

En introduisant un coefficient d'échange h_{xij} et en linéarisant les transferts, nous pouvons écrire:

$$\varphi_{xij} = h_{xij} \times (T_j - T_i) \tag{II -30}$$

Ainsi, l'équation (II-27) s'écrit :

$$\frac{m_i \times C_{pi}}{s} \times \frac{\partial T_i}{\partial t} = DFSA_i + \sum_{i+1}^n \times \sum_x h_{xij} \times (T_j - T_i) \tag{II -31}$$

Donc, en peut écrire:

$$m \times C_p \times \frac{\partial T}{\partial t} = \sum Q_{absor} - \sum Q_{emis} \quad (\text{II}-32)$$

La figure II.10 montre les différentes modes de transfert de chaleur au niveau de chaque paroi de l'enveloppe habitable assimilée à une cavité parallélépipédique.

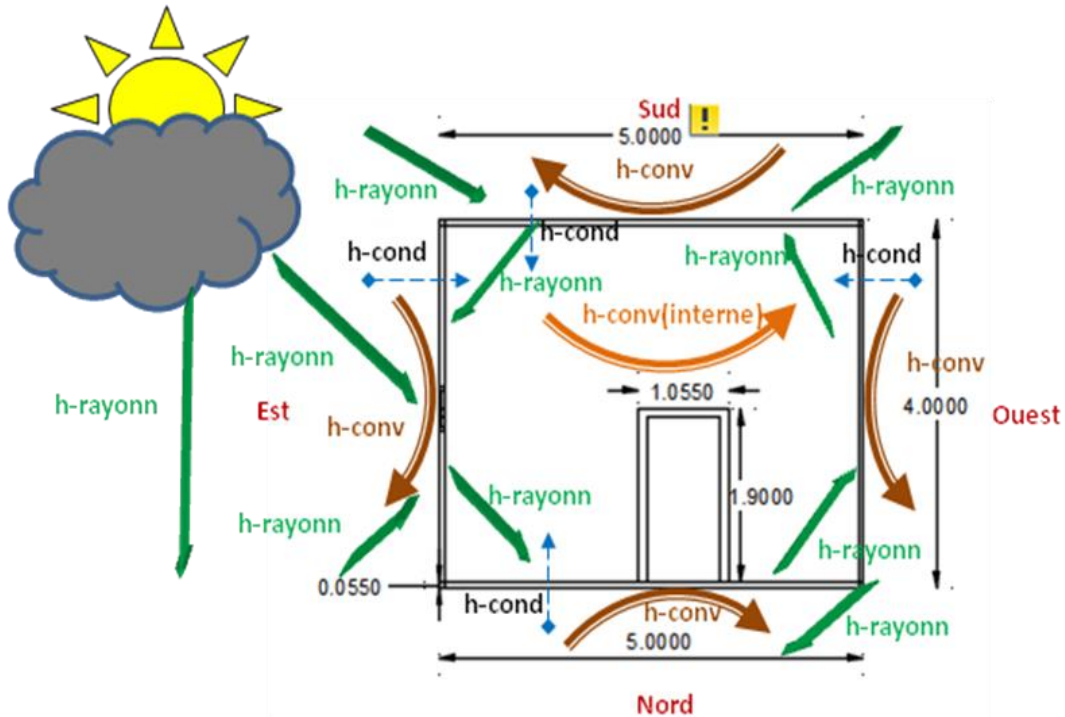


Fig. II.10 : Schéma descriptif des différents modes d'échanges thermiques dans l'enveloppe habitable.

II.5.2 Niveau équation des transferts thermiques dans l'habitat

Nous allons par, la suite, appliquer l'équation (II-31) aux divers milieux de notre système. En effet, l'établissement d'un bilan thermique en chaque paroi associée au modèle de l'enveloppe habitable conduit aux équations de transfert suivantes selon le schéma partiel ci-après [7, 18,20] :



Fig. II.11 : Schématisation des différents types d'échanges thermiques d'une paroi de l'habitat [18].

II.5 .2 .1 Les équations de face externe

- **Paroi Sud – Face externe**

$$\frac{M_{PS} \times C_{pb}}{S_{PS}} \times \frac{T_{PSE}^{t+\Delta t} - T_{PSE}^t}{\Delta t} = h_{cext} \times (T_{AI}^t - T_{PSE}^{t+\Delta t}) + \frac{\lambda_b}{e} \times (T_{PSI}^{t+\Delta t} - T_{PEE}^{t+\Delta t}) + hr_{VC-PSE} \times (T_{VC}^t - T_{PSE}^{t+\Delta t}) + hr_{SOL-PSE} \times (T_{SOL}^t - T_{PSE}^{t+\Delta t}) + (\alpha_{PSE} \times RGIS) \quad (\text{II}-33)$$

- **Paroi Nord – Face externe**

$$\frac{M_{PN} \times C_{pb}}{S_{PN}} \times \frac{T_{PNE}^{t+\Delta t} - T_{PNE}^t}{\Delta t} = h_{cext} \times (T_{AI}^t - T_{PNE}^{t+\Delta t}) + \frac{\lambda_b}{e} \times (T_{PNI}^{t+\Delta t} - T_{PNE}^{t+\Delta t}) + hr_{VC-PNE} \times (T_{VC}^{t+\Delta t} - T_{PNE}^{t+\Delta t}) + hr_{SOL-PNE} \times (T_{SOL}^t - T_{PNE}^{t+\Delta t}) + (\alpha_{PNE} \times RGIN) \quad (\text{II}-34)$$

- **Paroi Ouest – Face externe**

$$\frac{M_{PO} \times C_{pb}}{S_{PO}} \times \frac{T_{POE}^{t+\Delta t} - T_{POE}^t}{\Delta t} = h_{cext} \times (T_{AI}^t - T_{POE}^{t+\Delta t}) + \frac{\lambda_b}{e} \times (T_{POI}^{t+\Delta t} - T_{POE}^{t+\Delta t}) + hr_{VC-POE} \times (T_{VC}^{t+\Delta t} - T_{POE}^{t+\Delta t}) + hr_{SOL-POE} \times (T_{SOL}^t - T_{POE}^{t+\Delta t}) + (\alpha_{POE} \times RGIO) \quad (\text{II}-35)$$

Donc :

$$T_{POE}^{t+\Delta t} \left(\frac{M_{PO} \times C_{pb}}{S_{PO}} \times \frac{1}{\Delta t} + h_{cext} + \frac{\lambda_b}{e} + hr_{VC-POE} + hr_{SOL-POE} \right) + T_{POI}^{t+\Delta t} \left(-\frac{\lambda_b}{e} \right) = \frac{M_{PO} \times C_{pb}}{S_{PO}} \times \frac{T_{POE}^t}{\Delta t} + h_{cext} \times T_{AI}^t + hr_{SOL-POE} \times T_{SOL}^t + (\alpha_{POE} \times RGIO) \quad (\text{II}-36)$$

• **Paroi de toiture– Face externe**

$$\frac{M_{PFP} \times C_{pb}}{S_{PFP}} \times \frac{T_{PFPE}^{t+\Delta t} - T_{PFPE}^t}{\Delta t} = h_{cext} \times (T_{AI}^t - T_{PFPE}^{t+\Delta t}) + \frac{\lambda_b}{e} \times (T_{PFPI}^{t+\Delta t} - T_{PFPE}^{t+\Delta t}) + hr_{VC-PFPE} \times (T_{VC}^{t+\Delta t} - T_{PFPE}^{t+\Delta t}) + (\alpha_{PFPE} \times FSGH) \quad (\text{II -37})$$

• **Paroi Est – Face externe**

$$\frac{M_{PE} \times C_{pb}}{S_{PE}} \times \frac{T_{PEE}^{t+\Delta t} - T_{PEE}^t}{\Delta t} = h_{cext} \times (T_{A1}^t - T_{PEE}^{t+\Delta t}) + \frac{\lambda_b}{e} \times (T_{PEI}^{t+\Delta t} - T_{PEE}^{t+\Delta t}) + hr_{VC-PEE} \times (T_{VC}^{t+\Delta t} - T_{PEE}^{t+\Delta t}) + hr_{SOL-PEE} \times (T_{SOL}^t - T_{PEE}^{t+\Delta t}) + (\alpha_b + RGIE) \quad (\text{II -38})$$

II.5 .2 .2 Les équations de face interne [7]

• **Paroi Sud – Face interne**

$$\frac{M_{PS} \times C_{pb}}{S_{PS}} \times \frac{dT_{PSI}}{\Delta t} = h_{cint} \times \Delta T + \frac{\lambda_b}{e} \times \Delta T + hr_{PSI-PNI} \times \Delta T + hr_{PSI-POI} \times \Delta T + P_{PSI-PEI} \times \Delta T + hr_{PSI-PFPI} \times \Delta T + hr_{PSI-PIP} \times \Delta T \quad (\text{II -39})$$

• **Paroi Nord – Face interne**

$$\frac{M_{PN} \times C_{pb}}{S_{PN}} \times \frac{dT_{PNI}}{\Delta t} = h_{cint} \times \Delta T + \frac{\lambda_b}{e} \times \Delta T + hr_{PNI-PSI} \times \Delta T + hr_{PNI-PEI} \times \Delta T + P_{PNI-POI} \times \Delta T + hr_{PNI-PFPI} \times \Delta T + hr_{PNI-PIP} \times \Delta T \quad (\text{II -40})$$

• **Paroi Ouest – Face interne**

$$\frac{M_{PO} \times C_{pb}}{S_{PO}} \times \frac{dT_{POI}}{\Delta t} = h_{cint} \times \Delta T + \frac{\lambda_b}{e} \times \Delta T + hr_{POI-PSI} \times \Delta T + hr_{POI-PNI} \times \Delta T + P_{POI-PEI} \times \Delta T + hr_{POI-PFPI} \times \Delta T + hr_{POI-PIP} \times \Delta T \quad (\text{II -41})$$

- **Paroi de toiture – Face interne**

$$\frac{M_{PFP} \times C_{pb}}{S_{PFP}} \times \frac{dT_{PFP}}{\Delta t} = h_{cint} \times \Delta T + \frac{\lambda_b}{e} \times \Delta T + hr_{PFP-PSI} \times \Delta T + hr_{PFP-PNI} \times \Delta T + P_{PFP-POI} \times \Delta T + hr_{PFP-PEI} \times \Delta T + hr_{PFP-PIP} \times \Delta T \quad (\text{II -42})$$

- **Paroi Est – Face interne**

$$\frac{M_{PE} \times C_{pb}}{S_{PE}} \times \frac{dT_{PEI}}{\Delta t} = h_{cint} \times \Delta T + \frac{\lambda_b}{e} \times \Delta T + hr_{PEI-PSI} \times \Delta T + hr_{PEI-PNI} \times \Delta T + P_{PEI-POI} \Delta T + hr_{PEI-PFPI} \times \Delta T + hr_{PEI-PIP} \times \Delta T \quad (\text{II -43})$$

- **Air intérieure de l'habitat**

$$\frac{M_a \times C_{pa}}{S_{PN}} \times \frac{dT_{int}}{\Delta t} = h_{cPNI} \times \Delta T + h_{cPFPLI} \times \Delta T + h_{cPNI} \times \Delta T + h_{cPEI} \times \Delta T + h_{PWI} \times \Delta T + \Phi_{ra} \quad (\text{II -44})$$

II.6 Conclusion

Dans le présent chapitre, nous avons étudiés les modes de transfert thermique et les coefficients de transfert thermique, et donner quelque propriétés thermo-physique de matériau utilisés dans l'habitat traditionnel .Aussi, nous avons exposés les équations des parois à l'intérieur et l'extérieur de l'habitat.

Références bibliographiques

1. M. Mustapha Bordjane, " Mode de transfert thermique", (Ce polycopie est destinée aux étudiants de Licence LMD Energétique et Construction Mécanique(Cours & Exercices corrigés), Université des Sciences et de la Technologie d'Oran «Mohamed Boudiaf», 2017.
2. S. SADDAM, "Amélioration de la convection mixte dans un dissipateur de chaleur à ailette elliptique creuse", Thèse de Master Université de M'sila, 2015.
3. Adrien Verschae ré, " Les 3 modes de transfert thermique", article sur les transferts thermique, 22 mai 2016 à partir de site : www.jeRetiens.net.
4. L. Abdallah, B. Tarek , "Etude expérimentale des transferts thermiques dans un local muni d'un isolant à base végétale", Mémoire de master génie mécanique, Université Kasdi Merbah D'Ouargla, 2017 à partir de site : Dspace.univ-ouargla.dz.
5. T. OUKSEL, " Cours Transfert Thermique", Destiné aux étudiants 3^{èmes} Année Licence Energétique", Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouagh, (2016/2017).
6. Cour de convection et rayonnement-4, plate-forme TTE-C.E.S.I.R.E, Université Joseph Fourier-Grenoble.pdf.
7. K. Mansatiansin, " Modélisation et simulation des transferts et de l'éclairissement dans un habitat bioclimatique", thèse de doctorat en sciences de l'ingénieur, spécialité mécanique énergétique, université de Perpignan, 2005.
8. D.DUVAL, Ailettes thermique, Institut National Des Sciences Appliquées de Rouen, Département Sciences et Techniques Pour l'Ingénieur ,2013.
9. Sophie Mergui, "Transferts Thermique", LICENCE DE MECANIQUE 2^{ème} ANNEE MODULE 2A101.
10. <http://processs.free.fr/Pages/VersionMobile0.php?page=4556> (20/10/2017).
11. www.lmm.jussieu.fr/MECAVENIR, Le coefficient d'échange h, cours5_echange, (11/03/2010).
12. M. Gacem, "Comparaison entre l'isolation thermique extérieure et intérieure d'une pièce d'un habitat situé dans le site de Ghardaïa", thèse de magister, Université Abou-BekrBelkaid Tlemcen, 2011.
13. Élaboration notionnels de métrologie et d'essais, les propriétés thermiques des matériaux et les références métrologique, article LNE ,2010 .
14. Yann, "masse volumique et densité ", article sur la masse volumique à partir le site : www.superprof.fr(20/07/2017).

15. www.Ressources.com, "Mesure de la chaleur spécifique d'un solide", Université limans, article sur physique et simulation numériques ,2011.
16. https://fr.wikipedia.org/wiki/Coefficient_d'absorption, 2014.
17. N. Cordier, op cit, pp.62, 2007.
18. A. OUDRANE, "Contribution à la Modélisation et au Développement des Systèmes de Chauffage Solaire à Usage Individuel", Thèse de doctorat, Spécialité en Génie Mécanique, Ecole Nationale Polytechnique d'Oran - Maurice Audin, 2018.
19. J. P. Nadeau, J.R. Puiggali, Séchage: 'Des processus physiques aux procédés industriels', Tec & Doc Lavoisier, (ISBN 2-7430-0018-X), 1995.
20. M. Daguant, Les Séchoirs Solaires, Théorie et Pratique, Editions Unesco, Paris, pp. 81-106, 1985.

Chapitre III:

Evaluation du Confort **Thermique**

III.1 Introduction

L'évaluation du confort thermique fait généralement recours à l'étude thermique qui permet de définir les conditions d'ambiances acceptables et de quantités d'énergie à fournir pour les équipements d'ambiance, et ce dans l'objectif de donner des recommandations les plus adaptées dans le domaine de l'habitat [1,2].

L'ambiance thermique dans les bâtiments est un facteur important pour le confort des occupants. Donc il y a lieu de prendre en considération dès les premières phases de conception tous les éléments et paramètres qui agissent sur le confort thermique des usagers du bâtiment, ce qui fera l'objet de ce chapitre.

III.2.Définition

III.2.1 Le confort

Le confort dépend de l'ensemble des commodités procurant de l'agrément, générant une impression plaisante ressentie par les sens et l'esprit, voire même un certain plaisir, tout ce qui fait défaut, qui est difficile à utiliser, qui ne correspond pas aux attentes, qui gêne ou qui est désagréable est contraire à la notion de confort [3].

III.2.2 Confort thermique

Le confort thermique est défini comme un état de satisfaction vis-à-vis des ambiances thermique, il est décrit comme une absence d'inconfort ou de gêne due au froid et à la chaleur. Il s'agit d'une des quatre cibles fondamentales pour la qualité des ambiances et certainement l'indicateur le plus étudié du confort à ce jour car il est un des plus complexes à gérer, en effet, il fait intervenir différents aspects physique, psychologiques.

Outre ces aspects, la relation entre le sujet et son environnement, ses expériences, ses humeurs affectent également sa perception thermique et il est nécessaire de le prendre en compte. Le confort thermique dépend généralement de quatre indicateurs tels que la température opérative (qui regroupe la température de l'air et température des parois), l'humidité relative, la vitesse du vent, l'habillement et l'activité de l'utilisateur [4].

III.3 Méthode d'évaluation du confort thermique

Évaluation du confort thermique est basée sur des expérimentations menées par différents chercheurs et mettant en œuvre différents paramètres de détermination du confort thermique. Plusieurs méthodes de combinaison ont été développées par les chercheurs pour la manipulation simultanée des variables du confort.

III.3.1 Les outils graphiques d'évaluation du confort thermique

Parmi les outils les plus connus dans ce domaine on peut citer le diagramme bioclimatique d'Olgyay (Olgyay, 1963), celui de Givoni (Givoni, 1992), les tables de Mahoney, et la méthode de Szokolay. Le principe consiste à confronter sur un même graphique, « un polygone de confort », représentant les conditions extérieures et l'aire d'influence thermique et hygrométrique de certaines solutions architecturales ou de certains dispositifs [5]. Dans la section suivante, nous allons nous attarder sur les diagrammes de Givoni et d'Olgyay et tables de Mahoney.

III.3.1.1 Définition du diagramme bioclimatique

Le diagramme bioclimatique est un outil d'aide à la décision globale du projet permettant d'établir le degré de nécessité de mise en œuvre de grandes options telles que l'inertie thermique, la ventilation généralisée, le refroidissement évaporatif, puis le chauffage ou la climatisation, il est construit sur un diagramme psychrométrique (appelé aussi diagramme de l'air humide) (Fig.III.1) [6].

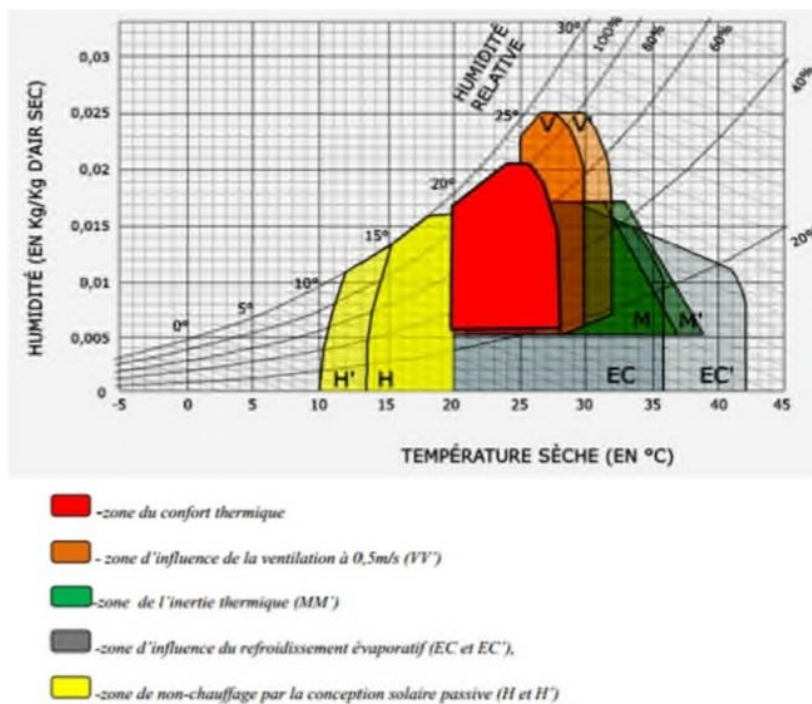


Fig. III.1 : Diagramme bioclimatique [6].

Sur ce diagramme sont représentées :

- ❖ La zone de confort hygrothermique tracée pour une activité sédentaire, une vitesse d'air minimale (en général 0,1 m/s) et les tenues vestimentaires moyennes d'hiver et d'été [7];
- ❖ L'extension de la zone de confort hygrothermique que due à la ventilation par augmentation de la vitesse d'air de 0,1 à 1,5m/s;
- ❖ La zone des conditions hygrothermiques compensables par l'inertie thermique associée à la protection solaire ;
- ❖ La zone des conditions hygrothermiques compensables par l'utilisation de systèmes passifs de refroidissement par évaporation;
- ❖ La zone des conditions hygrothermiques qui nécessitent l'humidification de l'air ;
- ❖ La zone des conditions hygrothermiques compensables par une conception solaire passive du bâtiment.

Le diagramme bioclimatique trouve son utilité dès que les conditions climatiques s'écartent du polygone de confort, la distance qui sépare ces conditions des limites du polygone suggère dans le diagramme bioclimatique les solutions constructives et fonctionnelles qu'il faut adopter pour concevoir un bâtiment adapté: ventilation, inertie thermique, protection solaire, utilisation des

systèmes passifs. Cette méthode graphique permet de bien se rendre compte de quelques techniques qu'on peut utiliser pour améliorer le confort dans le bâtiment.

III.3.1.2 Diagramme de Givoni

En 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 d'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 [8]. Il a alors mis au point un outil synthétisant les zones thermo-hygro-métriques et les moyens d'intervention par des dispositifs architecturaux ou techniques qui peuvent être ; Utilisés pour remédier aux sollicitations du climat [8]. Ceci est exprimé sur un diagramme psychométrique ou bioclimatique (Fig. III.2), présenté dans son ouvrage « L'homme, l'architecture, le climat » [9].

La zone de confort est positionnée au centre, l'aire extérieure à cette zone est subdivisée 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 [10]. 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.

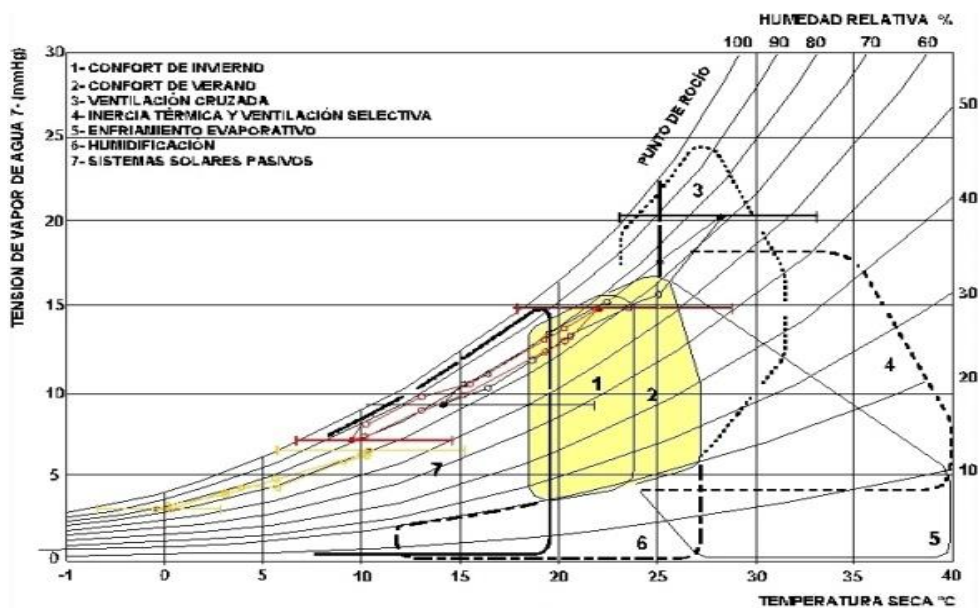


Fig. III.2 : Zones de confort selon le diagramme bioclimatique de Givoni.

III.3.1.3 Le diagramme d'Olgay

Cette méthode est basée sur un diagramme bioclimatique mettant en évidence la zone du confort humain en relation avec la température d'extérieur, l'humidité, la température radiante moyenne, la vitesse du vent, le rayonnement solaire et la perte de chaleur par évaporation.

La méthode assume que le confort thermique ne peut être estimé à partir du seul paramètre qu'est la température d'air, mais fait intervenir plusieurs facteurs tels que l'humidité et la vitesse d'air. Il s'agit d'une procédure systématique pour l'adaptation de la conception des bâtiments aux exigences humaines et aux conditions climatiques. Cependant, le système est limité dans ses applications. Du fait que les analyses des exigences physiologiques sont basées sur le climat extérieur et non sur celui qui est attendu à l'intérieur du bâtiment.

C'est une méthode destinée aux bâtiments dont l'évolution température intérieure est fortement corrélée à la température extérieure. La méthode est adaptée pour une application dans les régions humides où il y a une légère déférence entre les conditions intérieures et celles de l'extérieur (Givoni, 1992)[5].

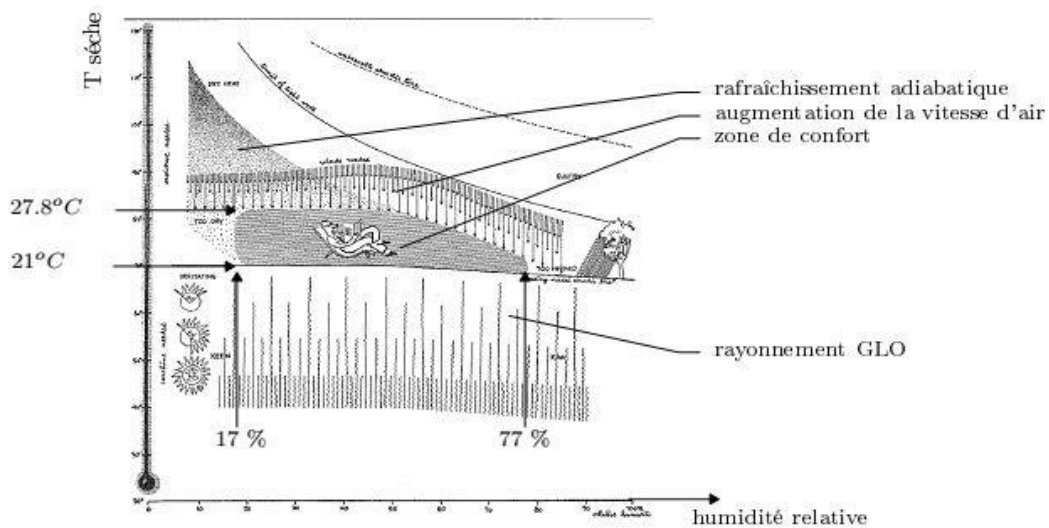


Fig. III.3 : Diagramme bioclimatique Olgay (1963)[5].

III.3.1.4 Tables de Mahoney

Carl Mahoney a développé une méthode de traitement des données climatiques, constituée d'une suite de six tableaux de référence d'architecture utilisées comme guide pour obtenir des bâtiments confortables, adapté aux conditions climatiques.

Les besoins en confort sont groupés en six indicateurs [11]:

- ❖ H1 : la ventilation indispensable (climat chaud et humide).
- ❖ H2 : la ventilation souhaitée (climat chaud et sec).
- ❖ H3 : la protection de la pluie nécessaire (climat tropical et tempéré).
- ❖ A1 : l'inertie thermique (climat à grand écart diurne de température).
- ❖ A2 : dormir dehors (climat chaud en été).
- ❖ A3 : protection du froid.

C'est un autre outil pour déterminer les recommandations nécessaires à la réalisation du confort thermique dans le bâtiment.

III.3.2 Température de confort thermique

A cause de l'importance de la température dans l'intensité des échanges de chaleur, il est naturel de s'intéresser à la température qui caractérise l'ambiance du logement [12]. Dont les spécialistes ont défini plusieurs température tel que:

III.3.2.1 La température de l'air ambiante T_a

Ou bien la température sèche de l'air, ce paramètre est mesuré par un thermomètre dans une pièce, à une hauteur d'environ 1,50 mètre du sol [13].

III.3.2.2 Température opérative (Top)

La température opérative "Top", est un indice de confort thermique intégrant deux paramètres physiques, 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 [14]. La norme ISO 7730 fournit le calcul simple de cet indice par la formule suivante [15] :

$$T_{OP} = \alpha T_a + (1 - \alpha) T_{mrt} \quad (\text{III-1})$$

III.3.2.3 La température des parois T_p :

Est égale à la moyenne des températures des parois environnantes le corps humain [16].

III.3.2.3.1 La température de confort ressentie :

Elle est appelé aussi la température résultante sèche, ou sa valeur est exprimé comme a formule suivante [17]:

$$T_{rs} = \frac{(T_p + T_a)}{2} \quad (\text{III-2})$$

Aussi, Le calcul de la température résultante (opérative), présente un indice de confort intégrant l'effet de la convection et du rayonnement pour des vitesses de l'air peu élevées ($< 0.2m/s$)[18] :

$$T_c = \frac{T_{air} + T_{mri}}{2} = \frac{T_{air} + \sum T_{i,j}}{2} \quad (III-3)$$

Et d'après, A. MISSENARD [19]

$$T_{mr} = \frac{\sum_i S_i \times T_i}{S_i} \quad (III-4)$$

$$\sum T_{i,j} = TPSI + TPEI + TPOI + TPFPI + TPNI + TPPI$$

La figue suivante illustre la notion de température résultante sèche (température de confort), selon la température des parois qui dépend à son type (isolé et non isolé).

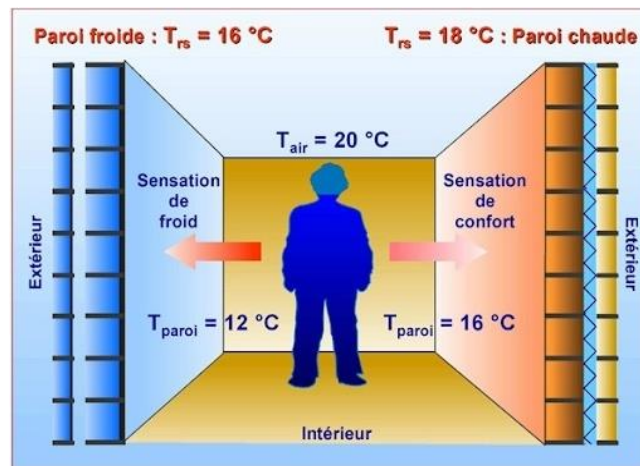
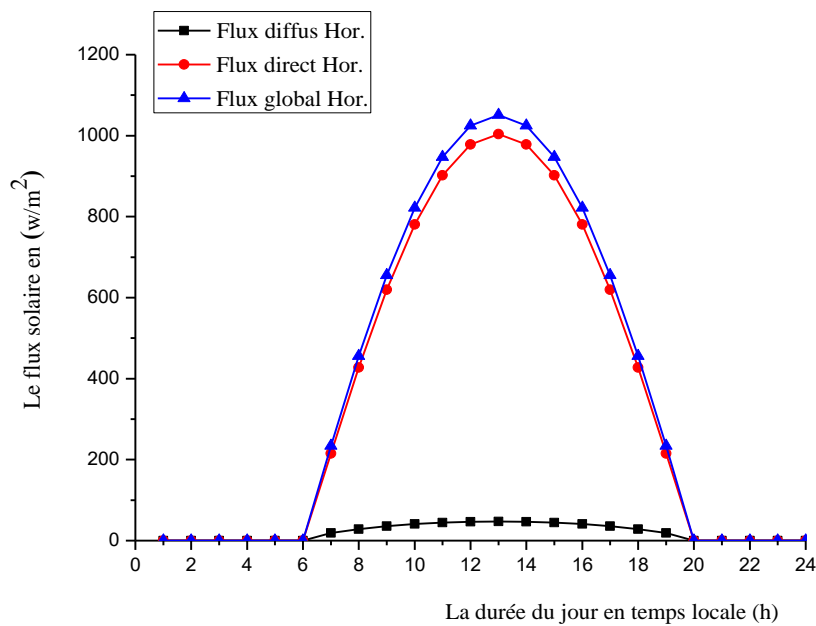


Fig. III. 4 : La température de confort dépend à la température de l'air et de paroi [16].

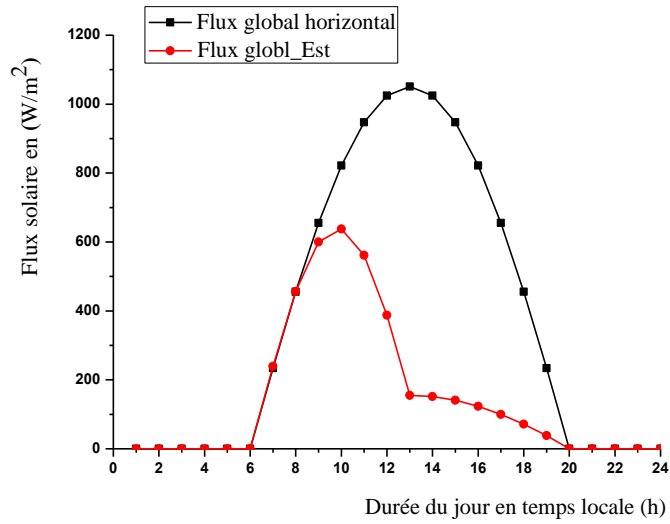
III.4 Résultats et interprétation

III.4.1 Apports solaires

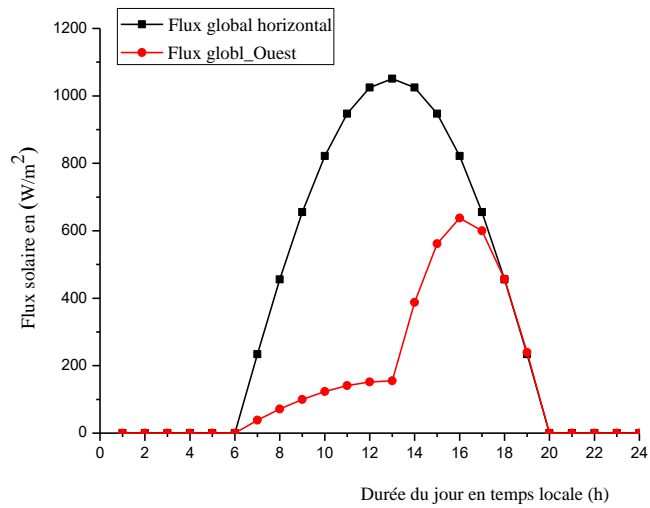
Pour bien comprendre le comportement thermique d’une enceinte habitable, il est important d’étudier l’évolution des apports solaires sur leurs parois opaques, l’analyse des variations du flux solaire sur une paroi horizontale (toiture) et flux solaire sur une paroi verticale. Les figures (1.a), (1.b), (1.c), (1.d) et (1.e) montrent les variations pendant la journée type considéré au mois de juillet dans l’année 2014 pour la région d’ADRAR, ces valeurs sont des valeurs moyennes prises sur une période de 1an. La figure (1.b) qui est similaire à la figure (1.c), et montre les gains solaires par les parois Est et Ouest, elles évoluent de façon opposée, ce qui est logique. Par contre pour la paroi Sud de l’enceinte habitable dans la figure (1.e) on remarque un gain solaire plus grand par apporté à la paroi Nord dans la figure (1.d), cette augmentation du gain solaire pour la paroi Sud est dû à l’effet que cette paroi est exposée durant tous la journée au soleil.



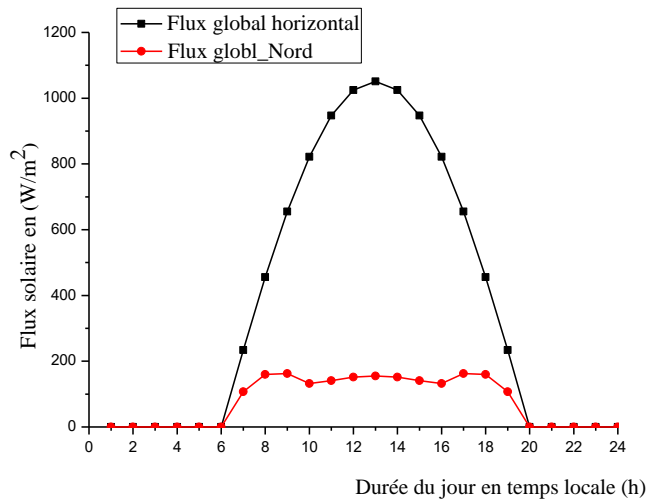
(1.a)



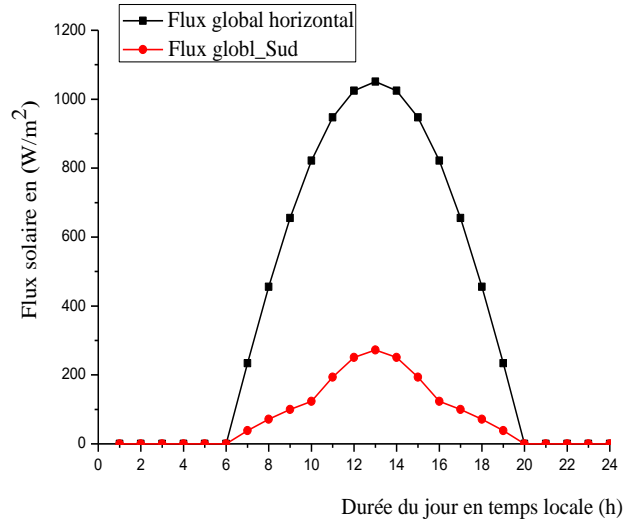
(1.b)



(1.c)



(1.d)



(1.e)

Fig. III.5 : La variation du flux solaire estimé les parois de l’enceinte habitable dans une journée type au mois de juillet 2016[20].

III.5 Conclusion

La nécessité d'évaluation du confort thermique dans les bâtiments a conduit de développer des méthodes, des outils graphiques constituent l'un des moyens les plus privilégié d'évaluation .L'évaluation du confort thermique applicable pour tous les cas de types de bâtiment de zones climatiques et des populations différentes. Ce diagramme ainsi que les tables de Mahoney, ne sont pas des outils de dimensionnement précis du projet, mais ils constituent bien des guide pour aider l’architecte à prendre les bonnes décisions pour assurer un meilleur confort thermique.

Enfin, en se besant sur des données climatiques nous avons mené une étude analytique sur une ancienne maison pour mieux comprendre le comportement thermique.

Références bibliographiques

- 1) R.CANTIN et al, " Complexité du confort thermique dans les bâtiments ", in actes du 6^{ème} congrès européen de science des systèmes, Paris, (du 19 au 22 septembre 2005).
- 2) Y. JANNOT et T. DJIAKO, " Economie d'énergie et confort thermique dans l'habitat en zone tropicale in revue "International journal of réfrigération", volume 17 n°03, France(1994).
- 3) V. Candas, "le confort thermique ", article sur la Technique de l'ingénieur, An 2000 disponible sur le site : [www.techniquesingenieur.fr/ base-documentaire/énergies-th4/génie-énergétique-ti200/](http://www.techniquesingenieur.fr/base-documentaire/energies-th4/genie-energetique-ti200/).
- 4) T. Magali, "Le confort global dans les écoles élémentaires en milieu tropical : un réaménagement des échelles et étude de l'impact de la forme architecturale", Mémoire de Master, école nationale supérieure d'architecture Montpellier, Le 26 janvier 2017, site www.researchgate.net.
- 5) M. Kaboré, " Enjeux de la simulation pour l'étude des performances énergétiques des bâtiments en Afrique sub-saharienne ", Mémoire de Master en Génie Civil et Sciences de l'Habitat, Université Grenoble Alpes, 27 janvier 2015.
- 6) J.L. Izard, O. Kaçala, Le diagramme bioclimatique, Envi robât-Méditerranée, laboratoire abc, Esna-Marseille, 2008 téléchargé le 20 septembre 2017 à partir du site (<http://www.marseille.archi.fr/~izard/2008>).
- 7) The démonstration component of the Joule-Thermie programme, Européen commission thermie. (<http://erg.ucd.ie/tp.html>) 18/11/2017.
- 8) A. Chatelet, et al, " Architecture climatique, une contribution au développement durable " Tome 2, Concepts et dispositifs, Editions Edi sud, Aix-en-Provence, France. 1998, p19.
- 9) B. Givoni, L'Homme, L'Architecture et le Climat, Edition, Le Moniteur, paris, pp39, 1978.
- 10) A. Ould-Hennia, Choix climatiques et construction, zones arides et semi-arides : la maison à cour de Boussaâda, Thèse de doctorat, école polytechnique Fédérale de Lausanne, suisse, p180, 2003.
- 11) F. GHANEM, Y. TARIKET, Evaluation du confort thermique dans l'habitat colonial à Alger Cas d'étude : Immeuble de rapport à cour, Mémoire de master Architecture et urbanisme, Université Abderrahmane MIRA –Bejaia, 2016, p32.
- 12) ANAH, Le Confort Thermique Fiche Technique. Article DDB, Agence National De L'habitat, Agence de l'environnement et de la maitrise de l'énergie.

- 13) M.JEDID, O. BENJEDDOU, La Thermique du bâtiment : Du confort thermique au choix des équipements de chauffage et de climatisation Paris De Savoirs,2016.
- 14) N. Cordier, "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, p62, 2007.
- 15) F. Richieri, Développement et paramétrage de contrôleurs d'ambiance multicritères, thèse de doctorat soutenue à L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, pp.302, 2008.
- 16) M. L. GUAY, Confort thermique dans les lieux dévie EFB, article sur le confort thermique, Consulté le 05/10/2016.
- 17) A. LIEBARD, &A.D HERBE, Traite D'architecture Et D'urbanisme Bioclimatiques, Paris, Moniteur, Observer, article à l'Architecture & climat, 2005.
- 18) F. Sam, Réhabilitation thermique d'un local dans une zone aride -Cas de Ghardaïa, thèse de magister de l'université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 2012.
- 19) Roger. CASAR, Guide des calculs des déperditions et charges thermiques d'hiver, « Détermination des puissances de chauffage a installé dans les locaux », collection des guides de l'AICVF, ouvrage de la commission technique coordonné, Edition (1989).
- 20) Bouchouich, unité de recherche énergies Renouvelables en milieu saharien Adrar Algérie,2016.

Conclusion Générale

La construction en terre crue présente un bilan environnemental très intéressant. Il s'agit d'une matière première largement disponible, renouvelable, et même recyclable, puisque non transformée. L'énergie nécessaire à sa fabrication est très faible puisqu'aucune cuisson n'est nécessaire. Lorsque les filières locales existent, l'impact lié au transport est quasi nul.

D'après l'étude qui a été menée dans ce mémoire, on conclut que la mise en œuvre de techniques de construction en terre nécessite toutefois de l'attention dans la région d'Adrar en Algérie. La terre n'étant pas étanche, elle est sensible à l'humidité et au gel. Il conviendra donc de doter la maison de bonnes fondations et d'une bonne toiture : ce seront ses bottes et son chapeau ! Notons aussi que la terre n'est pas un matériau d'isolation en soi. Il devra donc être combiné à un isolant pour améliorer les performances énergétiques du bâtiment. Quant au prix : la matière première est très concurrentielle mais sa mise en œuvre peut être fastidieuse et donc onéreuse.

Par ailleurs, dans la plupart des régions de la ville d'Adrar, le bâti en terre crue a été recensé, mais il arrive encore souvent de découvrir des murs de terre derrière un enduit dégradé. Outre les nombreux murs de clôture et bâtiments agricoles, le patrimoine rural est composé d'habitations, mais aussi de châteaux, d'églises, d'écoles, d'ateliers d'artisans, etc. Le patrimoine urbain, en pisé, adobe et torchis est également très important. Aujourd'hui, la rénovation et l'aménagement de ces multiples constructions dominent fortement le marché de la terre crue. Les principaux désordres sont dus à l'humidité, à la structure du bâti et à des interventions antérieures néfastes. Établir le diagnostic et comprendre les caractéristiques du matériau permet de proposer une restauration compatible avec le bâti ancien et l'usage qui en est fait actuellement.