

République Algérienne Démocratique et Populaire
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université Mohamed Khider – Biskra
Faculté des Sciences et de la technologie
Département d'architecture
Ref :.....



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم: الهندسة المعمارية
المرجع:.....

Mémoire présenté en vue de l'obtention
Du diplôme de
Magistère en : Architecture
Option : Ville et Architecture Au Sahara

**L'EFFET DE L'ORIENTATION D'UN BATIMENT SUR LE
POTENTIEL DE VENTILATION NATURELLE DANS
LES REGIONS A CLIMAT CHAUD ET SEC
(BECHAR, ADRAR, TAMANRASSET)**

Présenté par :

BERKANE AYYOUB

Soutenu publiquement le 29/09/2019

Devant le jury composé de :

Pr. ZEMOURI Nouredine	Professeur	président	Université de biskra
Pr. HAMOUINE Abdelmadjid	Professeur	Rapporteur	Université de béchar
Pr. BELAKEHAL Azzedine	Professeur	Examineur	Université de biskra
Dr. BIARA Ratiba Wided	MCA	Examineur	Université de béchar
Dr. FEZZIOUI Naima	MCB	Invitée	Université de béchar

Année université :2019/2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ
وَالَّذِي يُضَوِّبُ الْمَوْتِ
وَالَّذِي يُضَوِّبُ الْمَوْتِ
وَالَّذِي يُضَوِّبُ الْمَوْتِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ
وَالَّذِي جَعَلَ مِنَ
النَّارِ سَمُوكًا
وَالَّذِي جَعَلَ
لِلنَّجْمِ أَكْثَادًا
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
جَعَلَ اللَّيْلَ لِبَاسًا
وَالنَّجْمَ أَكْثَادًا
وَاللَّيْلَ لِبَاسًا
وَالنَّجْمَ أَكْثَادًا

Remerciements

Je souhaite exprimer ici toute ma reconnaissance et mon estime au Pr HAMOUINE Abdelmadjid pour avoir accepté de diriger ce travail, en me faisant bénéficier sans restriction aucune de son savoir, ses compétences son expérience, ainsi que sa confiance, sa gentillesse et sa compréhension.

Que FEZZIOUI Naima, soit également remercié pour sa disponibilité, ses nombreux conseils tout au long de ma réflexion et de la rédaction.

Mes remerciements s'adressent également aux membres du jury qui ont accepté d'être présents lors de cette soutenance, à savoir Pr ZEMOURI Noureddine en qualité de président de jury ainsi le Pr BELAKEHAL Azzedine et le Dr BIARA Ratiba wided en qualité d'examineurs, et le Dr FEZZIOUI Naima en tant qu'invitée.

Je tiens également à remercier tous nos enseignants pour leurs précieuses recommandations, et toutes les personnes avec qui j'ai eu l'occasion d'interagir, durant ce travail de recherche.



Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À ceux que j'ai de plus cher au monde : mes parents;

À ma Couronne sur la tête Dr Fezzioui Naima

À mes frères et mes sœurs et Et leurs conjoints.

*À tous mes amis et collègues du travail et ma
famille.*

*À tous ceux qui m'ont aimé et me souhaitent
le bonheur et la réussite.*

Résumés

Dans les régions à climat chaud et sec, tel que Béchar, Adrar et Tamanrasset au sud algérienne, les régions de notre étude, le problème majeur c'est l'inconfort thermique à l'intérieur des édifices en été. Et par conséquent, la refroidissement de l'espace est le facteur le plus désirable par les occupants. Ceci impose l'utilisation massive des appareils électrique de refroidissement pour une période plus longue en été que celle du chauffage en hiver. Plusieurs exemples de construction traditionnelles répondent au conditions de confort acceptables durant les période chaudes par une architecture climatique assurant une ventilation naturelle satisfaisant cette préoccupation des occupants.

"Construire avec le climat" permet de créer des conditions du confort acceptable pendant les saison moyenne (Mai, Juin, Septembre et Octobre), avec le recours à la ventilation naturelle par l'ouverture des fenêtres pour maintenir du locaux confortable. L'efficacité de cette méthode peut être efficace dans certains climats plus que d'autres.

Donc, la présente recherche s'intéresse à l'amélioration du qualité du confort thermique intérieur des bâtiments suivant le potentiel de ventilation naturel et différentes orientations. Elle a pour objectif d'apprécier l'impact de l'orientation et la ventilation sur la modification du température de l'espace intérieur, tout en se focalisant sur les paramétrés suivants (ouverture des fenêtres, orientation et la conception des paroi extérieur) dans l'enveloppe du bâtiment à étudié.

La présente étude est menée dans les trois villes algériennes mentionnées ci-dessus, afin de comparer et chercher la stratégie de ventilation adaptée pour les bâtiments des climats chauds et secs et particulier en mi-saison afin d'améliorer la qualité de l'environnement intérieur tout en minimisant les consommations énergétiques. La recherche s'effectue à l'aide d'un logiciel thermique TRNSYS couplé avec logiciel aéraulique COMIS, afin de tester l'impact de quelques variantes : position de l'appartement dans l'immeuble, orientation du bâtiment, isolation des parois extérieures, et des toitures, et scénarios d'ouvertures des ouvrants, afin de déterminer les éléments qui peuvent servir à des conditions meilleures.

Les résultats montrent que la prise en compte de l'orientation Nord et Sud offrent de bons résultats. Nord a moins d'apports solaires en cette saison, alors que l'orientation sud est plus facile à protéger. La bonne gestion des ouvertures est le facteur principal pour le contrôle de la température intérieure et cela - en fonction des températures extérieures et selon les besoin des occupants pour assurer une bonne qualité d'air - fait participer le bâtiment à une conception plus performante thermiquement et plus économe énergétiquement.

Mots clés :

Confort, climat saharien, ventilation naturelle, TRNSYS-COMIS, orientation

Abstract:

Thermal comfort inside buildings is major summer problem in southern Algerian states such as Bechar, Adrar and Tamanrasset (The studied regions in this research). These have an extremely hot and dry climate. Thus air cooling is the inhabitants; most preoccupying concern. It is met with a massive use of air cooling appliances during summer time. However, many traditional building are comfortable during the scorching season due to their climate-based architecture which assures enough natural ventilation.

Climate-based construction can create acceptable thermal comfort in May, September and October. It can provide sufficient natural ventilation through mere opening of the windows in building. But, the efficiency of this method varies from one area to another.

The main focus of this research is improving the quality of thermal comfort inside building through natural ventilation, good building orientation and proper exterior walls. Its aim is to assess the impact of these three factors on the interior and temperature of the buildings.

This present study is conducted in the three Algerian cities mentioned above in order to compare and search the ventilation strategy utilized in building. It is also intended to minimize energy consumption especially in May, September and October. The research is performed using simulation with the help of (a thermal program coupled with an aeraulic program COMIS) in order to test the impact of the following variants (building orientation, position of the apartment in the building insulation of the exterior walls and roof and windows opening) and determine the elements that can be used to get better conditions.

The results show that north-south orientation provides good thermal comfort because the north is less subjected to the sun in summer while the south can easily be protected. Moreover, proper opening or positioning of the windows can help the occupants control the interior temperature according to their need. This assures better air quality and thermal comfort as well as less energy consumption.

Keywords:

Comfort - Saharan climate – natural ventilation – TRNSYS – COMIS – orientation

ملخص:

يعتبر البحث عن الراحة في المناطق ذات المناخ الحار والجاف هاجس هام لدى الإنسان كما هو الحال في مدينة بشار، أدرار و تمنراست (ميدان الدراسة) المشكلة الكبرى هي الحرارة الداخلية للمباني في فصل الصيف. وبالتالي فإن تبريد الفضاء هو العامل المرغوب فيه من قبل شاغليها. وهذا يتطلب استخدام مكثف لأجهزة التبريد لفترة طويلة في خلال عمارة تتكيف و المناخ ملبية بذلك متطلبات ساكنيها بالتهوية الطبيعية.

"بناء مع المناخ" يسمح بصفة كبيرة في خلق ظروف الراحة الكافية خلال أشهر (ماي ؛ جوان؛ سبتمبر و أكتوبر) باستخدام التهوية الطبيعية عن طريق فتح النوافذ، لكن كفاءة هذا الأسلوب يختلف من منطقة إلى أخرى .

لذلك يركز هذا البحث على تحسين نوعية الراحة الحرارية داخل المباني عبر إمكانيات التهوية الطبيعية و مختلف التوجهات ويهدف أيضا إلى تقييم أثر هذه الإمكانيات في توفير الراحة المطلوبة التوجيه، مع الأخذ بعين الاعتبار النوافذ، التوجيه و تصميم الجدار الخارجي) في غلاف المبنى.

تم إجراء مدن الدراسة الحالية في المدن الجزائرية الثلاث المذكورة اعلاه بغية البحث عن استراتيجية مناسبة للتهوية الطبيعية داخل المباني، كما يهدف إلى التقليل من استهلاك الطاقة خاصة في أشهر(ماي،جوان،سبتمبر وأكتوبر) باستخدام محاكاة بين برنامج TRNSYSالحراري مقرن ببرنامج COMIS الديناميكا الهوائية. وقدم اختبار تأثير المتغيرات التالية (موقع الشقة في المبنى، التوجه، عزل الجدران الخارجية والأسقف وسيناريوه اتفتح النوافذ) لتحديد العناصر التي يمكن استخدامها للحصول على ظروف أفضل .

لقد أسفرت النتائج أن إدراج التوجه شمال- جنوب يسمح بتقديم أحسن أداء من الناحية الحرارية باعتبار ان الشمال أقل حصولا على الطاقة الشمسية في هذا الموسم في حين أن التوجه الجنوبي أسهل حماية، فضلا على ان الإدارة السليمة للفتحات هي العامل الرئيسي للسيطرة على درجة الحرارة الداخلية وهذا وفق درجة الحرارة الخارجية و حاجة شاغليها لضمان نوعية جيدة الهواء من أجل مبنى أحسن رفاهية و أقل استهلاكا للطاقة.

الكلمات المفتاحية:

الراحة، المناخ الصحراوي، التهوية الطبيعية، TRNSYS-COMIS والتوجه..

TABLES DES MATIERS

Remerciements

Dédicace

Résumés

Tables des matières

Introduction général	01
Problématique.....	03
objectifs.....	03
Chapitre1 : Analyse des méthodes traditionnels de climatistion dans les milieux arides a climat chaud et sec	
I.1 Introduction	05
I.2 Techniques d'adaptation sur le plan urbanistique.....	06
I.2.1 Choix du site d'implantation.....	06
I.2.2 Compacité, introversion et orientation.....	07
I.2.3 Traitement des ouvertures	08
I.2.4 Ventilation comme moyen de rafraîchissement.....	09
I.2.4.1 Cours et patios.....	09
I.2.4.2 Les Tours à vent	10
I.2.4.3 Tours de refroidissement.....	11
I.2.4.4 Le moucharabieh	12
I.2.5Toitures en voutes et en coupoles.....	13
I.2.6 Eau et végétation.....	13
I.2.7 Murs ventilés.....	15
I.2.8 les espaces intermédiaires	15
I.2.9 Les percements sur les façades.....	16
I.2.10 Murs acrotères	16

I. 3 Conclusion.....	17
Chapitre II : La ventilation naturelle et son utilisation pour la rafraîchissement passive des édifices	
II.1 Introduction.....	18
II.2 Définition des bâtiments à basse consommation.....	18
II.3 Définition de la ventilation	18
II.4 Pourquoi aérer ou ventiler	19
II.4.1 Pour le confort	20
II.4.1-a Définition.....	20
II.4.1-b Le confort respiratoire	20
II.4.1-c Le confort thermique.	21
II.4.2 Pour la santé.....	21
II.4.3 Pour le bâtiment	21
II.5 La ventilation naturelle.....	22
II.5.1 Les fonctions de la ventilation.....	22
II.5.1.1 Le tirage thermique	23
II 5.1.2 La ventilation naturelle par ouverture des fenêtres.....	24
II.5.1.3 La ventilation naturelle par conduits verticaux.....	24
II 5.1.4 Ventilation naturelle assistée par l'énergie solaire.....	25
II 5.1.5 La ventilation hybride.....	25
II 5.2 Avantages de la ventilation naturelle.....	25
II 5.3 Caractéristiques	25
II 5.4 Différentes cavités utilisé en ventilation naturelle.....	26
II.5.4.1 Le mur trombe.....	26
II.5.4.2 La façade à double peau.....	28
II.5.4.3 Les écopés	28
II.5.4.4 Les tours à vent.....	29
II.5.4.5 Les dômes.....	32
II.5.4.6 La cheminée solaire.....	34

II.6 Conclusion	35
Chapitre III : Climat et confort	
III.1 Introduction.....	36
III.2 presentation des villes d'étude.....	36
III.2.1 caractéristique climatique de la ville de BECHAR.....	36
III.2.1.1 La température de l'air.....	37
III.2.1.2 L'humidité relative.....	38
III.2.1.3 Le vent.....	39
III.2.1.4 Les précipitations.....	41
III.2.2 caractéristique climatique de la ville d'ADRAR.....	44
III.2.2.1 la température de l'air.	44
III.2.2.2 les précipitations.....	46
III.2.2.3. le vent..	47
III.2.2.4. humidite relative de l'air.....	48
III.2.2.5. l'ensoleillement.	48
III.2.2.5.1.L'ensoleillement possible.	48
III.2.2.5.2.L'ensoleillement effectif..	48
III.2.3 Carctéristique climatique de la ville de TAMANRASSET.....	49
III.2.3.1. situation géographique.....	49
III.2.3.2.La température de l'air.....	50
III.2.3.2. le vent.....	51
III.2.3.3.precipitation.....	52
III.2.3.4.L'humidité relative.....	53
III.2.3.5.l'insolation.....	54
III.3.conclusion.....	55
Chapitre 4 : Description du logiciel de simulation	
IV .1 Introduction.....	56
IV.2 Bâtiment d'étude.....	56
IV.3 Présentation des logiciels de simulation.....	58

IV.4 Composition de l'enveloppe.....	59
IV.5 Les scénarios d'utilisation du bâtiment.....	60
IV.5.1 Scénario d'occupation.....	60
IV.5.2 Apports internes des appareils électroménagers, éclairage.....	61
IV.5.3 Choix des coefficients.....	61
IV.6 Conclusion.....	63
Chapitre 5 :Résultats et discussion	
V.1 Introduction.....	64
V.2 L'effet des scénarios d'ouvertures des fenêtres par l'occupant.....	65
V.2.1 Les différentes orientations du bâtiment étudié	67
V.3 Résultats et discussion.....	69
V.4 Effet de l'emplacement de l'appartement dans l'immeuble.....	79
V.5 Effet de l'orientation sur le confort thermique.....	88
1. Orientation 1, matériaux 1.....	88
2. Orientation 2, matériaux 1.....	90
3. Orientation 3, matériaux 1.....	91
4. Orientation 4, matériaux 1.....	93
V.6 Effet des matériaux sur le confort thermique.....	95
V.7 Conclusion.....	99
Conclusion générale.....	100

Liste des tableaux

Liste des figures

Références bibliographique

Introduction

Dans les régions sahariennes des pays maghrébin, le climat est le plus souvent chaud et aride, avec un hiver très court froid et sec. Les modes de constructions traditionnels réalisent des conditions de confort acceptable l'essentiel de l'année, durant les périodes chaudes ou très chaudes par une architecture climatique exemplaire assurant une climatisation naturelle satisfaisante et des modes de chauffage simples permettant de traverser la période froide.

Actuellement en Algérie, pour les différentes saisons de l'année, les modes de constructions modernes, n'assurent plus vraiment des conditions de confort acceptable, sans le recours à des équipements de refroidissement ou de chauffage.

Durant ces dernières décennies, les modes de vie ont changé, et les usagers semblent être devenus plus sensible à la chaleur ou bien au froid. Cette mutation associée à l'élévation de niveau de vie, a conduit à un accroissement des exigences de confort.

L'Algérie même qu'elle soit un pays producteur du pétrole et gaz, a pris la conscience de la nécessité de lutter contre le gaspillage de ces ressources d'énergie, tout en développant d'autres ressources afin de répondre aux besoins toujours croissant de cette demande énergétique.

L'état à promulguer des lois de la maîtrise de l'énergie depuis 1998, pour répondre à deux questions primordiales :

L'amélioration de la qualité énergétique des bâtiments neufs ou existants pour un confort donné.

L'amélioration de la qualité thermique des bâtiments neufs ou existants en maîtrisant les implications énergétiques.

La question énergétique constitue l'une des principales préoccupations économiques mondiale (AQME 2004). Il apparait important que la science des bâtiments mette au point une solution durable du point d'énergie et de l'environnement. La conception d'un «bâtiment responsable» se doit d'offrir un équilibre entre sa performance thermique (enveloppe du bâtiment en manière de climatisation) et la qualité de l'air intérieur en termes de confort thermique et de santé des occupants (Allard 1998).

La recherche d'autres possibilités de climatisation de l'habitat, qui permettront à l'homme de jouir d'un confort thermique acceptable s'impose et devra être réalisé à moindre coût, non polluante et durable. Ceci a été déjà été prouvé en architecture vernaculaire à travers le monde.

«Une construction intelligente doit tenir compte de l'environnement climatique: soleil, vent, orientation des pièces en fonction de leurs usage». Alain Liebard, André De Herde.

L'art de bâtir prenant en compte l'influence des facteurs climatiques, l'architecture bioclimatique se distingue de l'architecture conventionnelle par le fait que l'exploitation de la ventilation naturelle et de l'orientation des bâtiments et l'adaptation climatique de la structure du bâtiment (isolation de l'enveloppe, inertie thermique) sont intégrés dans la conception des

bâtiments, ce qui permet d'assurer une diminution considérable des besoins en climatisation en climat chaud.

La recherche d'un confort thermique dans l'habitat a toujours été une préoccupation importante pour l'homme en climat chaud et aride, tel que celui du Sud de l'Algérie en général, comme les cas d'études (Béchar, Adrar et Tamanrasset).

La présente recherche s'intéresse à la qualité de confort thermique intérieur des bâtiments contemporains suivant le potentiel de ventilation naturelle et différentes orientations. Elle a pour objectif d'apprécier l'impact de la direction sur la ventilation et l'orientation sur les espaces intérieurs des édifices. L'objectif est donc de rechercher une orientation optimale pour les climats arides du sud algérien.

Le concepteur doit prendre en considération:

- La bonne implantation des bâtiments qui prend en compte l'effet de soleil.
- La meilleure orientation des bâtiments avec la position optimale par rapport à la ventilation naturelle.

Pour nous aider à bien répondre aux objectifs assignés au préalable, notre étude s'articule autour de Cinq chapitres :

Le premier chapitre concerne l'analyse et la revue des méthodes traditionnelles de climatisation dans l'architecture des zones arides. Il traite les différents paramètres qui influent sur le confort thermique et le comportement des habitants.

Le deuxième chapitre fournit des informations de base sur la ventilation naturelle et son utilisation pour le rafraîchissement passive des édifices. Son but d'utilisation qui peut être résumé dans le control de la qualité de l'air, pour le refroidissement direct de l'habitat et le refroidissent direct des personnes, et dans le refroidissement direct nocturne.

Une présentation des principes classique de la ventilation naturelle dans l'architecture traditionnelle des pays situés en région à climat chaud et sec.

Dans le troisième chapitre, nous avons présenté les données climatiques locales des villes des régions d'études sont analysées et traitées afin de présenter une étude climatique et bioclimatique de ces villes. Nous analysons les connaissances existantes en matière de confort thermique pour définir les Techniques de contrôle microclimatique et de conceptions architecturales capables de créer des Conditions de confort adaptées à ces régions (Adrar, Bechar, Tamanrasset).

Le quatrième chapitre, nous présentons une description détaillée de l'habitat choisi pour cette étude, et qui sera simulé et analysé en détail sous plusieurs aspects et cela après avoir défini et justifié les multiples coefficients des simulations thermique et aéraulique et cela avec une présentation justifiée des hypothèses retenues pour cette étude. La simulation sera effectué à l'aide du logiciel TRNSYS en couplage avec COMIS. Une brève description de ces deux outils de simulation ainsi qu'une justification de notre choix sera présentée dans ce chapitre.

Le cinquième chapitre, nous effectuerons des simulations numériques dans une gamme des conditions extérieures plus large, et pour une série de variations telles que l'orientation, la dimension de l'ouverture, matériaux de conception, système de protection... etc. qui peuvent facilement déterminer les éléments qui s'avèrent plus performants et plus intéressants pour améliorer les conditions de confort thermique. Les résultats dès cette étude numérique et pour les trois climats choisis seront analysés en détail sous plusieurs aspects.

Enfin, une conclusion est donnée, faisant la synthèse des travaux développés dans le cadre de cette thèse ainsi que les perspectives à projeter, pour la continuité de ce travail.

Problématique:

Ces dernières années on remarque une utilisation massive et prolongée des climatiseurs au sud algérien, où la pointe de consommation du matin (un phénomène nouveau) est également en augmentation, et se rapproche de plus en plus de celle du soir. Cette utilisation intensive est enregistrée aussi pendant les mois de Mai, Juin, Septembre et Octobre, en engendrant des pics de consommation électrique record qui augmentent de plus en plus chaque année.

Le recours à la ventilation naturelle par des grandes ouvertures, pour maintenir dans les locaux des conditions de confort thermiques acceptables est un concept parfaitement intégré dans l'architecture traditionnelle dans les régions sahariennes. Le rafraîchissement des bâtiments par l'ouverture des fenêtres pendant les saisons moyennes est une méthode assez pratique pour tous les climats. Mais cette méthode peut être plus efficace dans certains climats plus que dans d'autres. Cela est dû au potentiel intrinsèque que peut offrir chaque climat. L'application de la méthode de Szokolay pour le climat du sud algérien montre que l'aridité de ces climats handicape l'utilisation de la ventilation naturelle pendant les jours chauds d'été et qu'une utilisation des stratégies de conception passive [refroidissement par évaporation indirecte] sont à prendre en considération pour refroidir l'air avant son introduction vers l'intérieur de l'espace. Cependant, et pendant une bonne partie des saisons moyennes, cette ventilation naturelle peut assurer le bien-être des occupants.

Objectifs:

Le recours à l'ouverture contrôlée des baies comme moyen de rafraîchissement passif constitue une perspective à la fois intéressante et rationnelle pour limiter l'inconfort et, par conséquent, éviter ou minimiser le recours à la climatisation.

Nos travaux visent à apporter des éléments de réponses et des pistes d'amélioration pour l'élaboration de stratégies de ventilation naturelle appropriées en milieu saharien par simulations numériques.

La présente étude s'inscrit dans la recherche de stratégies de ventilation adaptées pour les bâtiments des climats chaud et sec et en particulier en saison moyennes afin d'améliorer la qualité de l'environnement intérieur tout en minimisant les consommations énergétiques. Notre contribution consiste à apporter, par simulations numérique à l'aide du Logiciel thermique dynamique TRNSYS couplé au logiciel aéraulique COMIS, des réponses supplémentaires dans cette recherche en testant les différentes orientations et leur impact sur

le confort thermique et sur le potentiel de la ventilation naturelle dans trois villes du sud algérien : Adrar caractérisée par une nature aride et hostile, un climat très chaud et sec durant environ huit mois de l'année , Béchar, caractérisée par un climat saharien hyper aride et Tamanrasset avec son climat doux et tempéré modifié par son altitude , et cela pour des bâtiments de différentes hauteurs et situés dans des quartiers de différentes densités urbaines.

Mots clés:

Confort, climat saharien, ventilation naturelle, TRNSYS-COMIS, orientation.

CHAPITRE 1 :

**Analyse des methodes traditionnels de
climatistion dans les milieux arides a climat
chaud et sec**

I.1 Introduction:

L'environnement physique (climat, topographie...) et culturel (société, économie..) sont deux aspects, qui entretiennent avec l'architecture une relation tripartite solidaire. L'omission de l'un ou l'autre, provoquera indéniablement, la perturbation de cette relation, dont le corollaire immédiat s'illustrera par plusieurs bouleversements (cas de l'architecture moderne) [Fezzioui 20134].

Les systèmes traditionnels de climatisation passive des habitations résultent des connaissances empiriques des habitants de ces régions. En vue de leur amélioration différents systèmes ont été étudiés et expérimentés ces dernières années. Le présent chapitre décrit ces différents systèmes, les conditions expérimentales et les différents résultats atteints, par certains auteurs.

La recherche bibliographique nous a permis de recenser et de classer diverses catégories de systèmes à savoir : [Bencheikh, 2007].

Les systèmes de refroidissement par ventilation, tel que les cheminées solaires et les tours de vents qui utilisent la différence de pression due à la différence de température comme force motrice pour promouvoir la circulation de l'air.

Les systèmes de refroidissement par évaporation de l'eau pour évacuer la chaleur et humidifier l'air de l'environnement à savoir ; les jets d'eau, les jarres au niveau des appuis des fenêtres dans la direction des vents ainsi que l'arrosage des surfaces des habitations.

Les systèmes de refroidissement en améliorant la performance thermique des toitures, par protection des toitures contre les rayons solaires directs, l'arrosage et les bassins d'eau sur terrasse, l'utilisation d'une peinture réfléchissante et l'isolation thermique des toitures.

I.2 Techniques d'adaptation sur le plan urbanistique :

I.2.1 Choix du site d'implantation Rapport espace bâti / environnement naturel :

A travers certains exemples, l'architecture vernaculaire présente des réponses efficaces à l'environnement hostile des milieux arides. On en distingue l'utilisation des :

- Eléments topographiques du site, tel que l'habitat troglodyte de Matmata en Tunisie (Cf. figure I.1) ;



Figure I.1 : Habitat troglodyte Matmata en Tunisie (source [AL-mumin, 1995]).



Figure I.2 : Regroupement de maisons dans un creux de vallée à Béni-Abbès.

- Eléments végétaux, telles les agglomérations et palmeraies: Ksar et Oasis en Algérie (Figures I. 2 et I.3) ;
- Eléments artificiels (Morphologie urbaine) (Figure I.4).



Figure I.3: Création d'un microclimat à travers le rapport judicieux entre cadre bâti et environnement végétal. A gauche : Ksar de Béni-Abbès, à droite : Ksar de Kenadsa (Source : l'auteur).



Figure I.4 : Forme urbaine compacte à Taghit à gauche et au Ksar de Kenadsa créatrice d'unmicroclimat urbain (Source auteur).

I.2.2 Compacité, introversion et orientationm:

Le regroupement d'habitations, observé dans les régions à climat chaud et sec (figures I. 5 et I.6), n'est dû au hasard, ni au manque d'espace. Il permet de limiter l'action des rayons solaires sur les bâtiments et celle du vent qui entraîne de l'air chaud. Les bâtiments se protègent les uns les autres.

Dans la cour intérieure de ces concessions et au milieu, une paillote est installée permettant aux familles d'y passer les heures chaudes de la journée.

Les structures urbaines dans les régions à climat chaud et sec illustrent parfaitement [Belakehal, 1995] :

- Les effets de la compacité à travers les étroites rues qui ombragent les constructions et les protègent des vents nocturnes froids [Mujgan, 2007] ;
- Les effets de l'introversion, à travers l'organisation des constructions autour d'un patio, permettent de réduire considérablement les surfaces exposées vers l'extérieur ;
- Les effets de l'orientation majeure des rues dans les directions Est/ Ouest. Cette orientation favorise un minimum de gains solaires pour les façades orientées nord, et un meilleur contrôle de ces apports pour celles orientées sud.



Figure I.5: Forme urbaine compacte au M'zab créatrice d'un microclimat urbain.



Figure I. 6 : Vue des maisons serrées dans la ville de béni-abbés.



Figure I. 7 : Regroupement de concessions dans le village d'Ismaïli dans les montagnes de Haras au Yémen.

I.2.3 Traitement des ouvertures:

Les ouvertures étaient rarement situées dans les façades, Est et Ouest. Sur les autres façades, elles étaient en général, de petites dimensions et protégées par des occultations (brise-soleil, claustra). Dans certains cas, leurs bords sont blanchis pour réfléchir le maximum de rayon solaire vers l'intérieur (Figures I. 9 et I. 10). [Fezzioui 2014].

Les surfaces vitrées étaient nécessairement protégées grâce à un judicieux ombrage.

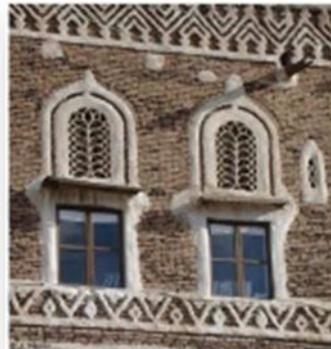


Figure I.8 : Blanchissement des bords des petites ouvertures pour une meilleure admission de lumière naturelle (à gauche source : [Belakehal, 1995], à droite source:

<http://yemen2001.blogspot.com/>)

I.2.4 Ventilation comme moyen de rafraîchissement :

La ventilation, dans les zones chaudes et sèches, est une technique à utiliser avec prudence.

Au cours de la journée, la température de l'air extérieur étant très élevée, il est donc préférable de l'éviter afin de conserver le taux de fraîcheur déjà existant, à moins de l'accompagner d'un dispositif humidificateur. Cependant, elle s'avérait très utile au cours de la nuit, afin de dissiper la chaleur cumulée et transmise par les différentes parois vers l'intérieur de la construction [Belakehal, 1995], [Bagneid, 2006].

L'architecture vernaculaire nous illustre certains cas de cette stratégie :

- Le Patio ;
- Les tours de vent 'Malkaf' ;
- Les Moucharabiehs ;
- Le mur ventilé.

I.2.4.1 Cours et patios:

Le bloc percé d'une cour ou la maison dotée d'un patio nous fait pénétrer jusqu'aux régions les plus torrides de la terre. Pour assurer leur intimité, il existe une grande diversité d'habitats sur cour avec plusieurs critères de différenciation.

Le rapport de surface entre espaces couverts et découverts, les habitats plutôt aérés, les habitats compacts tolèrent une forte proportion de pièces, [Alexandroff 1982], voir figure (I. 9) (I. 10)..



Figure I. 9 : Habitat cour Maison de la palmeraie à Ghardaïa. Source : CORPUS, Architecture traditionnelle méditerranéenne (Maison de la Vallée du M'Zab).



Figure I.10: Patio au pays du Maghreb (source www.lepatiodedefes.com)

I.2.4.2 Les Tours à vent :

Dans les climats chaud et sec, l'écart de température entre le jour et la nuit pendant l'été est très grand. Les architectes Iraniens ont profités de cet écart de température pour refroidir les habitations. Parmi les systèmes de refroidissement passif nous notons l'utilisation des tours. Les tours sont construites en murs épais en argile de hauteur qui dépasse la hauteur du toit, dans la partie haute des tours il y a des trappes sur les quatre cotés. La tour est construite à coté d'un bassin d'eau, leur fonctionnement est identique à celle d'une cheminée solaire, le mouvement d'air naturel accéléré avec le passage de l'air sur la surface d'eau, l'air est humidifié et sa température baisse ce qui rend la température de l'espace agréable, [Karakatsanis, Bahadori et Vickery 1988], voir figure (I. 11)



Figure I. 11 : Tour à vent pour refroidisse ment passif dans l’architecture Iranienne.

Source : <http://www.cyberarchi.com/actus&dossiers/batiments-publics/> (2004)

I.2.4.3 Tours de refroidissement:

Les prises d’air situées du coté du vent frais captent le vent et le dirigent vers le bas du bâtiment. Sur son parcours, l’air passe à travers une vasque poreuse remplie d’argile liquide pour le refroidir. L’air ainsi rafraichit, passe par un grillage couvert de charbon de bois qui absorbe les gouttes d’eau de la cuvette humide. A la base de la tour, l’air circule dans la maison par convection et gagne l’étage par thermo-circulation naturelle (Figure I.12).

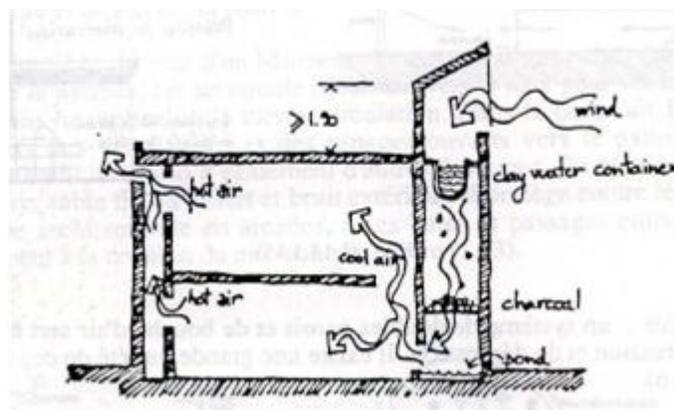


Figure I.12 : Tours de refroidissement (source [Ayoob, 1990])

I.2.4.4 Le moucharabieh :

Le moucharabieh figure(I. 13), joue un rôle de cloisonnement entre extérieur et espace intermédiaire, c'est un écran à claire-voie de grande dimension, cloisonnant les éléments constructifs généralement en saillie des bâtiments et réalisé en bois ou en plâtre et en pierre par conséquent on obtient des propriétés thermiques différentes du fait des prestations thermiques de chaque matériau. Il procure à l'espace protégé un adoucissement de la lumière, le passage de l'air et l'intimité. Le moucharabieh prend parfois toute la longueur de la façade.



Figure I. 13 : Détails de moucharabieh à Alep en Syrie.
Source : <http://pictures.traveladventures.org/images/aleppo0>

I.2.5 Toitures en voutes et en coupoles:

Ces toitures sont thermiquement peu intéressantes que les toitures plates, sous plusieurs aspects. La surface réceptrice de rayonnement est la projection de la voute ou de la coupole perpendiculairement aux rayons solaires, c'est à dire au maximum de surface de leur section horizontale, alors que la surface de refroidissement est la surface de l'enveloppe. Cette surface étant plus importante, ces formes perdent davantage de chaleur durant la nuit, par convection et par rayonnement (Figure I.14).

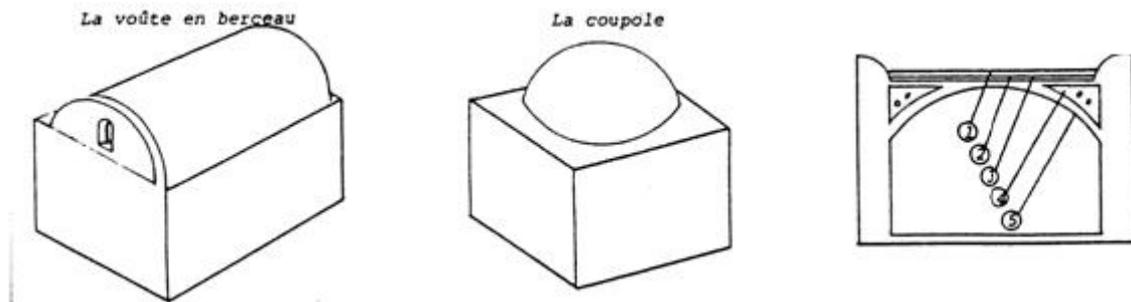


Figure I.14 : Types de toitures traditionnelles (source [Ghrab- Marcos, 1991]).

I.2.6 Eau et végétation

- Eau :

L'utilisation de l'eau comme stratégie bioclimatique(Figure15), s'explique par les phénomènes de refroidissement par évaporation. Les fontaines dans les patios et les Salsabil, associés aux Malkaf, en sont des illustrations [Belakehal, 1995] concrètes.



Figure I.15 : Fontaine utilisée comme source d'humidification naturelle en architecture (source <http://www.riadlounafes.com/>)

- **La végétation :**

Dans les campagnes et les villages, un buisson ceinture en général, en ville, les pelouses servent à l'embellissement des concessions. Cette végétation contribue aussi à leur rafraîchissement. Les herbes, les plantes ont un albédo de 0,2 à 0,25 d'après Mermoud [5] et réduisent les réflexions des rayons solaires sur les bâtiments et les émissions radiatives. L'arrosage des pelouses permet, en plus du développement des plantes, une humidification de l'air par Evaporation qui devient agréable à la respiration car sa température baisse. Cet air, plus dense que l'air chaud et sec enveloppe le bâtiment et contribue aussi à la réduction et au déphasage de son échauffement pendant les heures chaudes de la journée. [Bencheikh, 2007].



Figure I. 16 : Habitat dans la palmeraie de Béni-Izguen à Ghardaïa.



Figure I. 17 : Habitat entouré de jardin a Tadjm out Laghouat

I.2.7 Murs ventilés:

Un système de double parois et de bouche d'air sert à puiser l'air par le phénomène de pression et de dépression. Il existe une grande variété de ces murs à circulation d'air (Figure I.18).

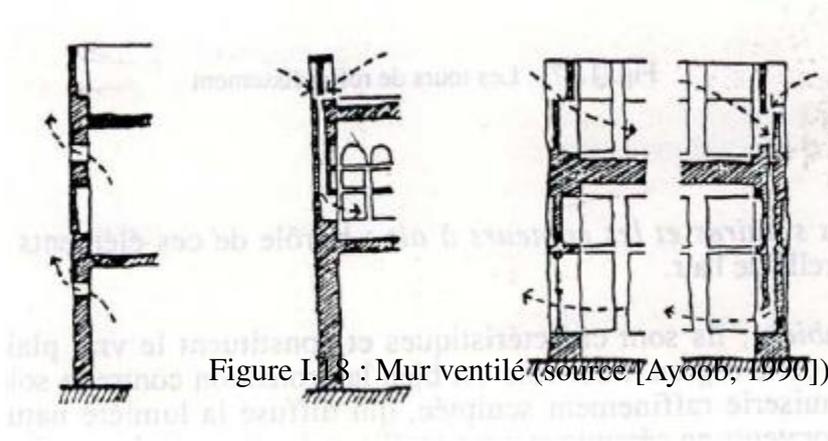


Figure I.18 : Mur ventilé (source [Ayoob, 1990])

I.2.8 les espaces intermédiaires :

L'habitat du moyen orient présente un type d'espace tenant à la fois du porche et de loggia, appelée iwan qui, quoique ayant connu un grand prestige, n'assume pas un rôle majeur dans les habitats populaires, cet espace sert simultanément de lieu de séjour et d'activité diurne, et de protection anti-solaire aux locaux fermés de l'habitation.

L'iwan se combine avec la cour. Dans certains types d'habitat, particulièrement en Iran la cellule familiale est constituée d'une pièce commandée par un iwan figure (I.19)

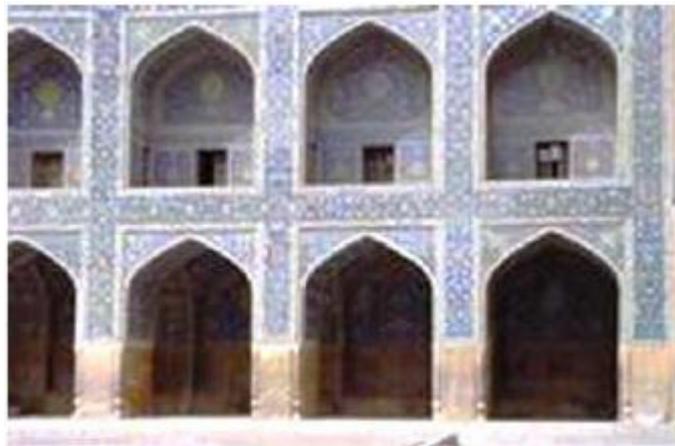


Figure I. 19 : Iwan de la mosquée El imam à, Asfahan en Iran.
Sourcr : <http://pictures.traveladventures.org/images/masjedeemam06>

I.2.9 Les percements sur les façades :

Les percements assurent en principe (simultanément ou séparément) la vue de l'intérieur vers l'extérieur, l'éclairément et l'aération, on distingue deux types de base de percement des maçonneries qui sont le trou isolé et le claustra, le premier réglable le second ne l'est pas et chacun procure une qualité d'éclairage appropriée, voir figure (I. 20), [Bencheikh, 2007].



Figure I. 20 : Trou isolé d'un bâtiment à Al Hajjarayn, Wadi dawam au Yémen
Source : <http://pictures.traveladventures.org/images/fr/wadidawan10>

I.2.10 Murs acrotères :

Les murs acrotère sont généralement rencontrés dans les toitures terrasses, où les terrasses sont pour dormir en plein air, durant les nuits de l'été.

La terrasse est divisée en plusieurs espaces, pour séparer les enfants adultes et les invités des parents, pour des raisons d'intimité. Les hauteurs des murs de séparation dépassent un peu la hauteur d'un homme, pour briser les regards directs. Les murs acrotères et de séparation ont un deuxième rôle plus important, qui réside à offrir de l'ombre à la terrasse pendant la journée, en la protégeant des rayons solaires directs, ce qui a pour conséquence la diminution considérable des échanges thermiques (Figure I. 21), [Fezzioui 2014].

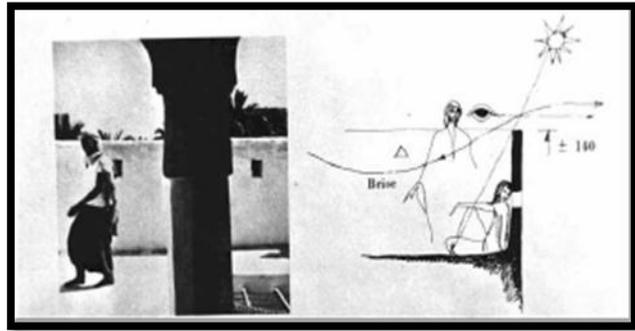


Figure I.21 : à gauche : Murs acrotères (source [Bencheikh, 2007]) ; à droite : Hauteur des murs de clôture des terrasses des maisons au M'zab: Visibilité, climat et intimité (Source[Belakehal,1995])

I. 3 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les caractéristiques des milieux arides, chauds et secs ainsi que les principales stratégies du contrôle bioclimatique dans ces milieux.

L'habillement dans les régions à climat chaud et sec est fait de très amples et de très longs vêtements, qui conservent autour du porteur une masse d'air plus humide et moins chaude que l'air extérieur.

La tête étant la partie du corps qui offre la plus grande surface aux rayons solaires (le soleil presque toujours au zénith) est enveloppée dans un énorme turban blanc qui limite la sensation de la chaleur et la sudation. Ces vêtements sont, en général, blancs, d'émissivité moyenne dans l'infrarouge, c'est pourquoi ils assurent une fraîcheur aux porteurs par leur faible absorption du rayonnement solaire.

L'Architecture dans ces milieux, s'est attelée à proposer des alternatives pour contribuer au développement durable en privilégiant les matériaux, les modes de production et le savoir-faire, traditionnel et local, par la création d'espaces de vie harmonieux, esthétiques et de confort, qui réconcilient l'homme avec son habitat, tout en participant à la lutte contre les pollutions de tous ordres et adapter l'architecture urbaine à la croissance démographique.

CHAPITRE 2 :

**LA VENTILATION NATURELLE ET SON
UTILISATION POUR LA
RAIFRACHISSEMENT PASSIVE DES
EDIFICES**

II.1 Introduction :

La ventilation naturelle est une stratégie passive, sans moyen mécanique, de maintenir un environnement intérieur confortable. Un des moyens déjà utilisés auparavant dans l'architecture traditionnelle exploitée sous plusieurs formes et sur plusieurs plans. Les systèmes de ventilation doivent satisfaire des exigences d'hygiène, de confort, de respect de l'environnement et d'économie d'énergie.

Elle est au service de trois fonctions principales. Face à la multitude de polluants de l'air intérieur, la ventilation a d'abord un rôle hygiénique qui consiste à maintenir une bonne qualité de l'air intérieur. Cela exige le remplacement de l'air vicié par de l'air dit « neuf », c'est-à-dire supposé exempt de polluant. Il s'agit essentiellement de prévenir l'accumulation de polluants gazeux et d'odeurs désagréables générés au sein même du bâtiment, car état actuel des connaissances montre que la santé et le confort des occupants sont avantagés ou défavorisés selon le type de gestion de l'environnement. La présence de moisissures, de poussières, de dioxyde de carbone et de tout autre contaminant pouvant nuire à la santé des occupants.

II.2 Définition des bâtiments à basse consommation :

Le bâtiment basse consommation (bbc) est défini par l'arrêté du 8 mai 2007 (France) relatif au contenu et aux conditions d'attribution du label (haute performance énergétique).

Les bâtiments à usage autre que d'habitation sont considérés bbc lorsque la consommation conventionnelle d'énergie primaire du bâtiment pour le chauffage, le refroidissement, la ventilation, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage (calculée selon les règles THC-E) est inférieure, ou égale à 50% de la consommation conventionnelle de référence, définie à l'article 9 de l'arrêté du 24 mai 2006 relatif à la réglementation thermique 2005 (France).

II.3 Définition de la ventilation :

Il existe plusieurs façons de renouveler l'air : au moyen d'équipements spéciaux (ventilation), par l'ouverture de portes ou fenêtres (ventilation intensive en complément à la ventilation ou l'aération s'il n'y a pas de dispositifs prévus pour la ventilation) et par les interstices et les fentes (infiltration/exfiltration). Ces différentes manières ne sont pas toutes aussi efficaces.

'Ventiler' signifie apporter de l'air frais et évacuer l'air humide et vicié d'une pièce de façon permanente. Ventiler se fait au moyen de dispositifs spécialement prévus à cet effet,

qui donnent la possibilité à l'habitant d'assurer un renouvellement de l'air permanent mais réglable. Il existe différents systèmes de ventilation.

Par contre, 'Aérer' est l'action de renouveler des quantités relativement importantes d'air, de manière non permanente, en ouvrant les portes et/ou les fenêtres, le but étant d'atteindre les mêmes résultats qu'en ventilant de manière contrôlée. C'est la méthode la plus simple pour renouveler l'air intérieur, mais pas la plus efficace. Car chaque fois que l'on aère, l'air est souvent renouvelé plus que nécessaire (5 à 40 fois plus), mais l'effet du renouvellement disparaît assez rapidement, en fonction de la situation et du degré de pollution de l'air intérieur (souvent, les concentrations de certains paramètres comme le CO₂ sont à nouveau dépassées après 1 heure

Il ne faut pas confondre l'aération et la ventilation intensive. La ventilation intensive s'applique également par l'ouverture de portes et/ou fenêtres, mais en complément à la ventilation permanente dans certaines circonstances particulières (par exemple, dans le cas de surchauffe, d'ensoleillement extrême, ou lors d'activités polluantes), en vue de maintenir la qualité de l'ambiance intérieure dans des limites acceptables.

Le renouvellement de l'air qui s'effectue par le biais des interstices et des fentes dans un bâtiment s'appelle l' 'infiltration' (la pénétration de l'air extérieur) et l' 'exfiltration' (l'échappement de l'air intérieur). Cette forme de renouvellement d'air n'est toutefois pas contrôlable, car elle dépend de la force du vent, de la direction du vent, des différences de températures et de l'étanchéité à l'air du bâtiment. C'est pourquoi elle est n'est pas considérée comme étant la manière la plus adéquate de garantir un renouvellement de l'air suffisant.

Etant donné que la quantité d'air à renouveler dans une pièce dépend du nombre de personnes présentes, l'aération par l'ouverture des portes ou fenêtres, ou par les interstices et les fentes, ne garantit pas un renouvellement de l'air efficace, car ces formes de renouvellement d'air sont difficilement contrôlables. Elles peuvent d'ailleurs provoquer des courants d'air et sont une source de pertes de chaleur inutile. De plus, la pièce sera fortement refroidie par l'ouverture des portes et/ou fenêtres et ne sera plus protégée contre la pluie, l'effraction, les bruits ambiants, le vent, les insectes etc.

II.4 Pourquoi aérer ou ventiler :

L'activité humaine (lessiver, nettoyer, cuisiner, transpirer,...) produit pas mal de vapeur d'eau dans le logement, qui doit être évacuée pour éviter des problèmes de condensation et de moisissures. Par ailleurs, l'être humain consomme de l'oxygène, qui doit être apporté par l'air frais extérieur, sinon des troubles physiques pourraient survenir.

Ces dernières décennies (particulièrement depuis la crise pétrolière de 1973), une attention croissante a été portée à l'efficacité énergétique des bâtiments, notamment en les rendant étanches. Mais simultanément, le nombre de sources polluantes à l'intérieur du bâtiment a augmenté. Les produits d'entretien sont plus puissants, et donc plus nocifs, et de plus en plus de matériaux utilisés, comme les matériaux de construction, provoquent des irritations et ne favorisent pas une bonne régulation du climat intérieur. Les particules insalubres s'accumulent souvent à l'intérieur par manque d'aération ou de ventilation. Des études ont prouvé que la qualité de l'air intérieur est souvent bien plus mauvaise que la qualité de l'air extérieur. C'est pour ces raisons qu'aérer ou ventiler est extrêmement important.

En moyenne nous passons 80% de notre temps à l'intérieur. Pour obtenir une ambiance intérieure saine, il est nécessaire d'évacuer autant que possible l'air vicié en ventilant. Si n'est pas possible de ventiler, il faut aérer. Une bonne qualité de l'air n'est d'ailleurs pas seulement importante pour notre santé, mais également pour notre confort et pour le bâtiment lui-même !

Différents problèmes peuvent surgir suite au manque ou à l'excès de ventilation ou d'aération. Ces problèmes se situent soit au niveau de la santé, soit au niveau du confort, soit au niveau du bâtiment lui-même ou encore au niveau de la consommation énergétique.

La ventilation consiste à renouveler l'air d'une pièce ou d'un bâtiment.

- Elle agit directement sur la température de l'air, puisqu'on remplace un volume d'air à la température T_{int} par un volume d'air équivalent à la température T_{ext} .
- Elle agit indirectement, donc plus lentement, sur les températures de surface des parois, car ces dernières peuvent se refroidir ou se réchauffer par convection au contact d'un air plus froid ou plus chaud.

II.4.1 Pour le confort :

II.4.1-a Définition :

Le confort est une notion globale: chaleur et froid, lumière, bruit, paysage, eau, verdure, prestige.... et autre, sont autant d'éléments définissant plusieurs paramètres climatiques, esthétiques, psychologiques du confort. Le confort est également la sensation subjective qui n'existe pas en lui-même, [M'Sellem et D. Alkam 2009].

II.4.1-b Le confort respiratoire :

La bonne qualité d'air intérieur traduit par la ventilation est importante pour les processus métaboliques et pour l'hygiène de chacun. La ventilation et la réduction des pollutions à la source sont les garantes d'une meilleure respiration et d'une meilleure santé [Alain Liébard 2005].

L'indicateur de la qualité de l'air est donné dans certaines études par la concentration en dioxyde de carbone .Il a été établi une plage de concentrations de dioxyde de carbone correspondant à une qualité d'air acceptable. Le dioxyde de carbone est produit par la respiration humaine, et sa concentration ne peut être réduite de façon significative que par une ventilation naturelle, ou artificielle suffisante. Le degré de ventilation nécessaire pour maintenir une faible teneur en dioxyde de carbone à l'intérieur permet également de réduire les concentrations d'autres polluants intérieurs et d'améliorer la qualité générale de l'air à l'intérieur.

II.4.1-c Le confort thermique :

Dans les milieux bâtis, le confort thermique constitue une exigence essentielle à la quelle le concepteur doit apporter les réponses nécessaires. L'environnement thermique est caractérisé par quatre grandeurs physiques (la température de l'air, l'intensité de rayonnement solaire, l'humidité et la vitesse de l'air). Ces variables réagissent avec l'activité et la vêtue du corps humain pour établir son état thermique et constituent ensemble les six paramètres de base des échanges thermiques entre l'homme et son environnement.[AKCHICHE Zineb 2011].

II.4.2 Pour la santé :

Certains éléments relatifs à l'environnement intérieur peuvent causer des troubles de santé. Ceux-ci peuvent varier en fonction de l'âge, du sexe, de l'état de santé,... mais surtout en fonction de la sensibilité de chacun. En plus, on peut distinguer les troubles de santé objectifs des troubles de santé subjectifs.

II.4.3 Pour le bâtiment :

La plupart des problèmes qui surviennent au niveau du bâtiment sont liés à la présence d'humidité non désirée. L'humidité dans un logement peut provenir d'une fuite dans la toiture, d'un solin mal achevé, de fenêtres ou de portes qui se ferment mal, de condensation sur des ponts thermiques, d'humidité ascensionnelle, de fuites dans des canalisations,... Etant donné que l'humidité peut causer des dégâts au bâtiment et mener à des situations malsaines, il faut intervenir rapidement. Essayez d'abord de résoudre le problème au niveau de la construction, c'est-à-dire en réparant les fuites, en appliquant une couche hydrofuge et en ventilant suffisamment. Parallèlement, une solution curative aux problèmes est également nécessaire. L'humidité engendrée par la condensation peut mener aux problèmes suivants:

- Détérioration des finitions: peintures, papier peint, plafonnage...
- Formation de moisissures pouvant atteindre la structure du bâtiment ou le bois
- Diminution du pouvoir isolant.

II.5 La ventilation naturelle :

La ventilation naturelle est un système de ventilation permettant de renouveler l'air intérieur des bâtiments en reposant sur l'action de deux forces principales, le vent et l'écart de température entre l'air extérieur et l'air intérieur (Figure III.1 et Figure III.2). Ces deux moteurs sont variables dans le temps et suivant le site et rendent ainsi difficile le contrôle des débits d'air internes.

Le vent soufflant sur un bâtiment induit des pressions positives sur les façades face au vent, et des pressions négatives sur les façades sous le vent et sur le toit (Figure III.1). L'air peut ainsi balayer le logement { travers les différentes ouvertures (défauts d'étanchéité, entrées d'air) des zones de haute pression vers celles de basse pression. Le vent agit également sur le débouché de conduit en augmentant les débits extraits.

II.5.1 Les fonctions de la ventilation :

Les systèmes de ventilation doivent satisfaire à des exigences d'hygiène, de confort, de respect de l'environnement et d'économie d'énergie. La ventilation est au service de trois fonctions principales [J.Koffi 2009].

- La ventilation a un rôle hygiénique qui consiste à maintenir une bonne qualité de l'air intérieur. Il s'agit essentiellement de prévenir l'accumulation de polluants gazeux et d'odeurs désagréables au sein du bâtiment.
- La ventilation a un rôle d'entretien sert à éviter ou d'éliminer la condensation de la vapeur d'eau sur les parois. Elle permet d'atteindre cet objectif de pérennité du bâti en remplaçant l'air humide par de l'air moins humide. Cette fonction est étroitement liée à la ventilation d'hygiène.
- Le troisième rôle est l'obtention d'un confort d'été en favorisant les échanges thermiques convectifs et évaporatifs. L'augmentation du renouvellement d'air permet d'accroître les échanges avec l'air extérieur et de refroidir le bâtiment lorsque la température de l'air extérieur est inférieure à celle de l'air intérieur. Le renouvellement d'air doit être limité quand les températures s'inversent.

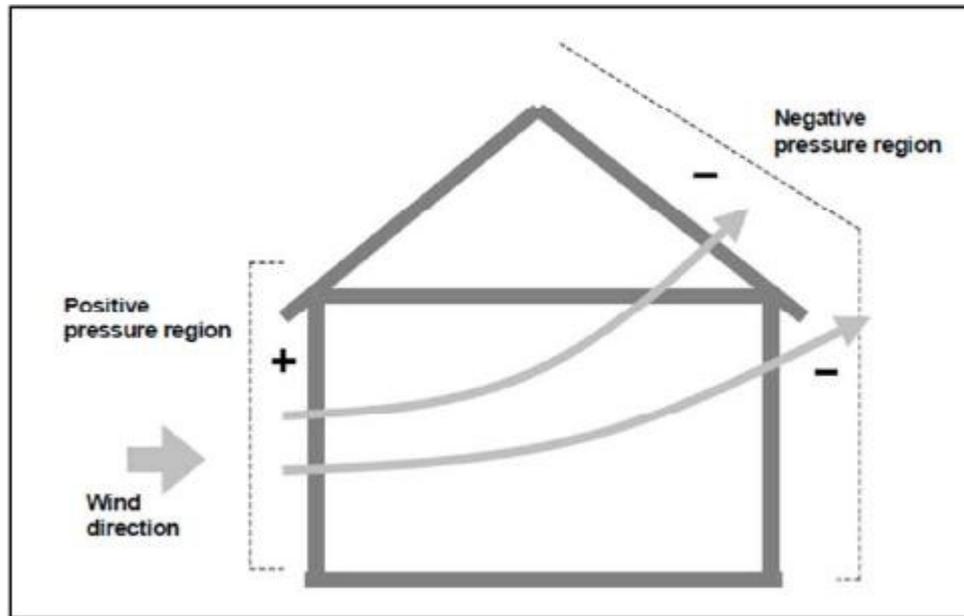


Figure II.1 : Action du vent sur les bâtiments [J.Koffi 2009].

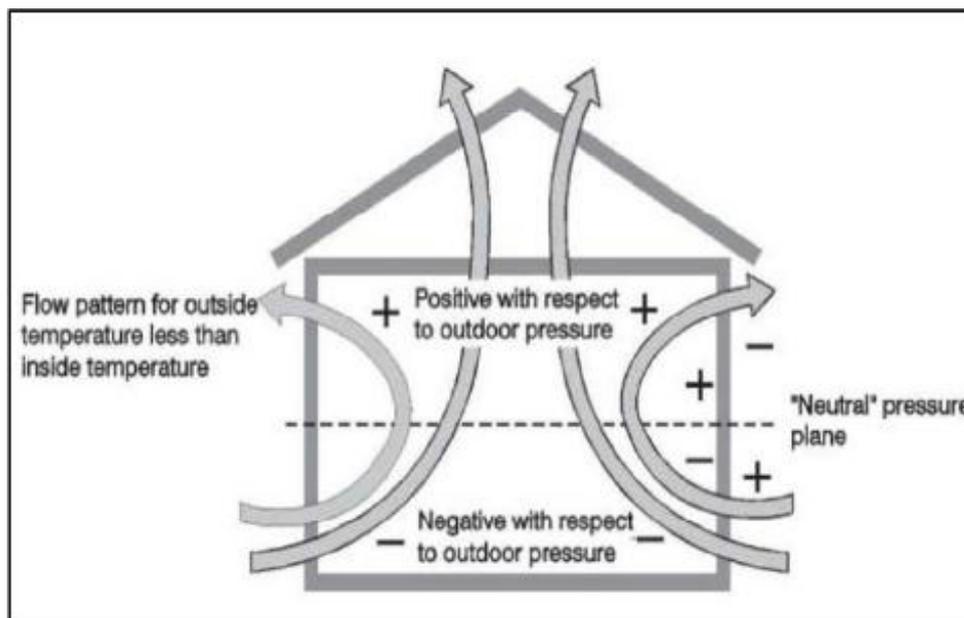


Figure II.2 : Effet du tirage thermique dans les bâtiments.

II.5.1.1 Le tirage thermique :

La dépression qui génère les mouvements d'air est créée par la différence de masse volumique de l'air plus ou moins chaud. « L'air chaud a tendance à monter » (Figure III.3). Si on prévoit des ouvertures en partie basse pour introduire d'air extérieur dans un espace à rafraîchir, et des ouvertures en partie haute pour laisser l'air s'échapper, il se produit un renouvellement d'air par effet de cheminée.

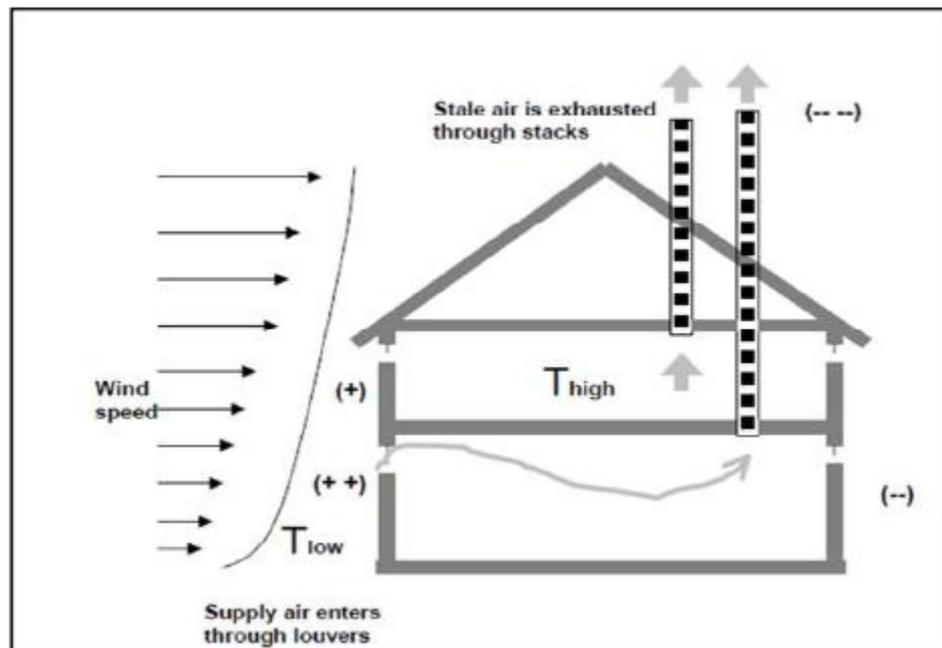


Figure II.3 : Effets combinés du vent et du tirage thermique [J.Koffi 2009].

II.5.1.2 La ventilation naturelle par ouverture des fenêtres :

La ventilation naturelle par ouverture des fenêtres permet de réduire les infiltrations d'air par les défauts d'étanchéité de l'enveloppe et donne aux occupants la possibilité de contrôler les ouvertures des fenêtres et des entrées d'air en façade.

II.5.1.3 La ventilation naturelle par conduits verticaux :

La ventilation naturelle par conduits verticaux à tirage naturel est largement utilisée en France dans le résidentiel collectif existant construit avant 1982 [J.Koffi2009]. Le bâtiment doit être suffisamment étanche afin d'éviter des infiltrations d'air importantes qui sont nuisibles au bon fonctionnement du système.

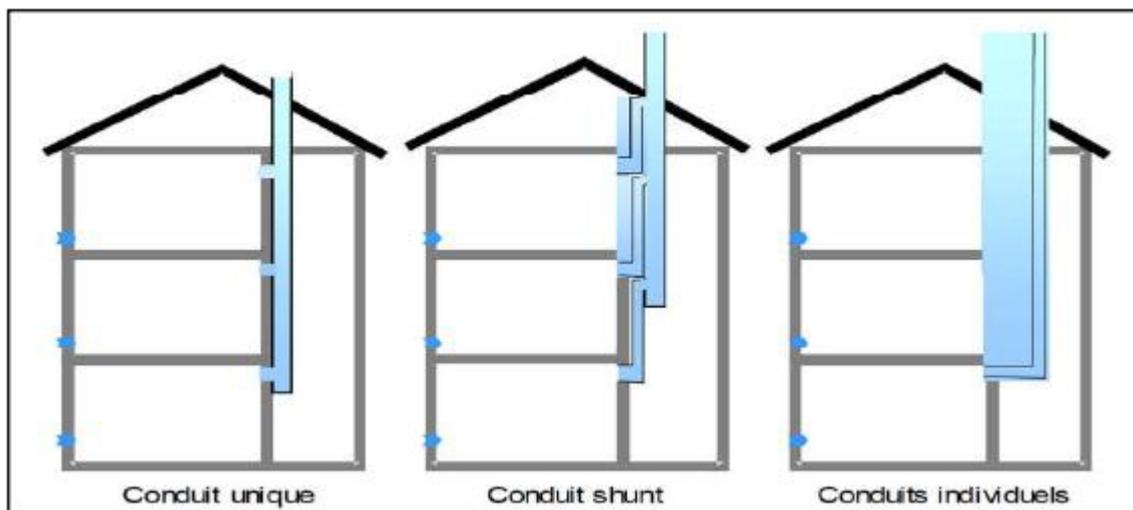


Figure II.4 : Illustrations de la ventilation naturelle par conduits verticaux.

II.5.1.4 Ventilation naturelle assistée par l'énergie solaire :

Le principe général est d'assister le phénomène de tirage thermique en utilisant l'énergie solaire pour augmenter les écarts de températures et donc l'effet de tirage thermique. Dans le présent travail, on s'intéresse à ce dernier type de ventilation.

II 5.1.5 La ventilation hybride :

La ventilation hybride est un système qui combine à la fois les stratégies passives de la ventilation naturelle et les moyens actifs de la ventilation mécanique pour maintenir un environnement confortable. Selon les conditions météorologiques disponibles, le système de ventilation du bâtiment échange entre les modes passif et mécanique de manière à assurer constamment une ventilation et un refroidissement des espaces adéquat tout en minimisant la consommation énergétique [Hugues Boivin 2007].

II 5.2 Avantages de la ventilation naturelle :

- Procure une ventilation qui assure la sécurité, les conditions de confort et de santé aux occupants des bâtiments sans l'utilisation de ventilateur,
- Procure un rafraîchissement passif sans système thermodynamique,
- Réduit les coûts de construction et d'utilisation des bâtiments quand elle est conçue soigneusement,
- Réduit les consommations d'énergie liées au système de conditionnement et aux ventilateurs,
- Elimine les bruits de ventilateurs.

II.5.3 Caractéristiques :

La ventilation permet le rafraîchissement en évacuant la chaleur du corps humain. Les mouvements d'air peuvent être induits par des forces naturelles (vent et tirage thermique) ou par des ventilateurs. Les écoulements d'air sont le résultat de différences de pression qui se créent autour et à l'intérieur des bâtiments. L'air s'écoule des hautes vers les basses pressions. Quand l'air extérieur est plus froid que celui situé à l'intérieur du bâtiment, la ventilation peut extraire les gains internes ou solaires durant la journée et peut fournir le bâtiment en air frais pendant la nuit si nécessaire. Au niveau du corps humain, les mouvements d'air augmentent les échanges convectifs et accroissent le taux d'évaporation de la sueur au niveau de la peau. L'évaporation est un mécanisme de rafraîchissement très puissant qui peut apporter une sensation de confort durant les périodes chaudes.

Néanmoins, pour être efficace, il ne faut pas que l'air environnant soit trop humide (humidité relative inférieure à 85%). Les mouvements turbulents de l'air favorisent ces deux phénomènes d'évacuation de la chaleur. La conception du bâtiment et ses alentours ont tous deux une influence importante sur l'efficacité du rafraîchissement naturel.

Le débit d'air traversant le bâtiment est fonction de sa localisation, du dimensionnement et des caractéristiques des ouvertures, de l'effet d'obstacles internes à l'écoulement de l'air et des

effets de la forme externe du bâtiment en relation avec la direction du vent (présence de mur en aile). Les écoulements d'air dans les bâtiments doivent être considérés comme tridimensionnels.

Pour que les forces de poussée puissent agir, il est nécessaire qu'il existe un gradient de température significatif entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment et une résistance minimale à l'écoulement de l'air. L'écoulement complet résulte de la combinaison du tirage thermique et des champs de pression dus au vent. La conception des systèmes de ventilation doit aussi prendre en compte l'éclairage naturel, les apports solaires, et des considérations de sécurité et de nuisance sonore.

II.5.4 Différentes cavités utilisé en ventilation naturelle :

Les cheminées solaires, les façades à doubles peaux et les murs trombe sont des cavités ouvertes, ont conçu pour se servir de l'énergie solaire pour le chauffage passif, ventilation naturelle et dans le cas de la façade à double peau fournie également la lumière du jour. La figure (II.5) montre les trois types de cavité pour le chauffage passif et la ventilation naturelle dans des bâtiments. La flottabilité thermique est le mécanisme principal pour la circulation d'air dans les cavités ouvertes.

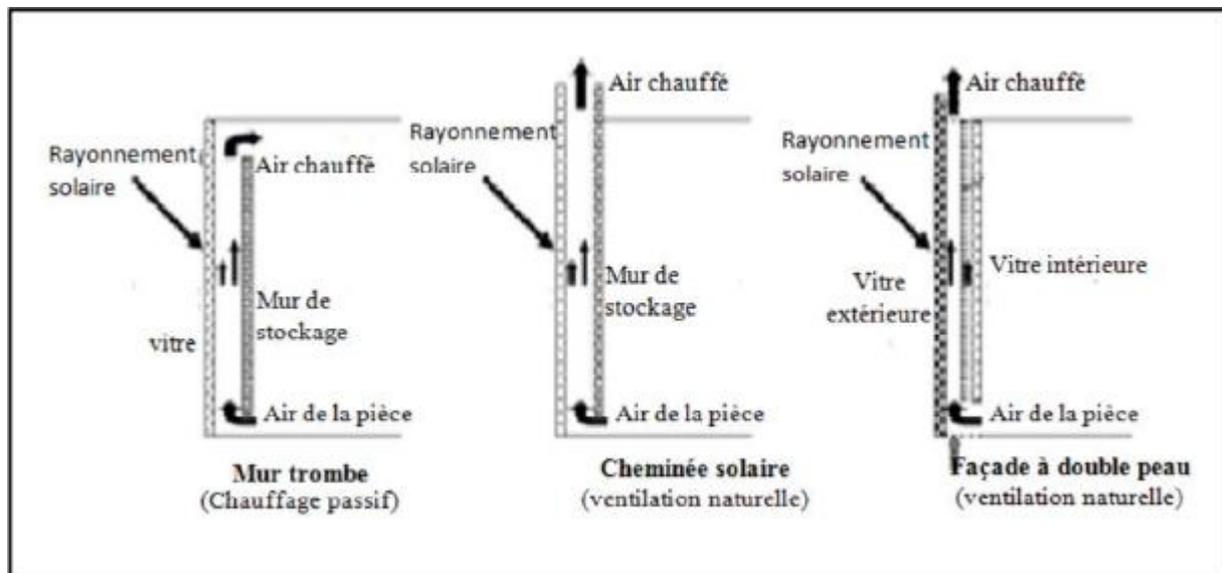


Figure II.5 : Diagramme schématisé de trois types de cavité pour le chauffage passif et la ventilation naturelle [Guohui Gan 2006].

II.5.4.1 Le mur trombe :

Le mur trombe consiste à un mur en maçonnerie lourde muni de deux orifices et disposé derrière un vitrage orienté vers le sud. Il rassemble et stocke l'énergie solaire pour fournir le chauffage de la pièce en hiver ou facilite la ventilation de la pièce en été.

Le mur Trombe-Michel, ou mur trombe, est basé sur le même phénomène physique que le mur capteur. Le rayonnement solaire vient chauffer une lame d'air présente entre un vitrage à faible émissivité et un mur à forte inertie thermique. Via un système de clapets situés en partie supérieure et inférieure du mur, une circulation d'air est possible entre l'intérieur de la pièce et la lame d'air chauffée. Il existe deux modes de fonctionnement

- Lorsque le rayonnement est présent dans la journée, il est possible d'ouvrir les clapets afin de permettre une convection naturelle. L'air de la pièce, relativement plus froid, vient se réchauffer au contact du mur capteur, et ainsi créer un mouvement convectif qui va permettre le réchauffement de la pièce en contact avec le mur. Il y a donc circulation aéraulique entre la lame d'air et le volume adjacent.
- En l'absence d'ensoleillement, on ferme les clapets, et la chaleur emmagasinée par le mur capteur est restituée par rayonnement à la pièce, créant ainsi une convection naturelle, mais cette fois-ci sans mouvement d'air.

Cette technique permet également d'éviter les surchauffes en été, grâce à la présence d'une ouverture, situé en partie supérieure du vitrage. En position ouverte, ce clapet permet d'évacuer l'air chauffé produit dans la lame d'air. Ceci n'est possible que si les clapets du mur capteur, sont eux fermés.

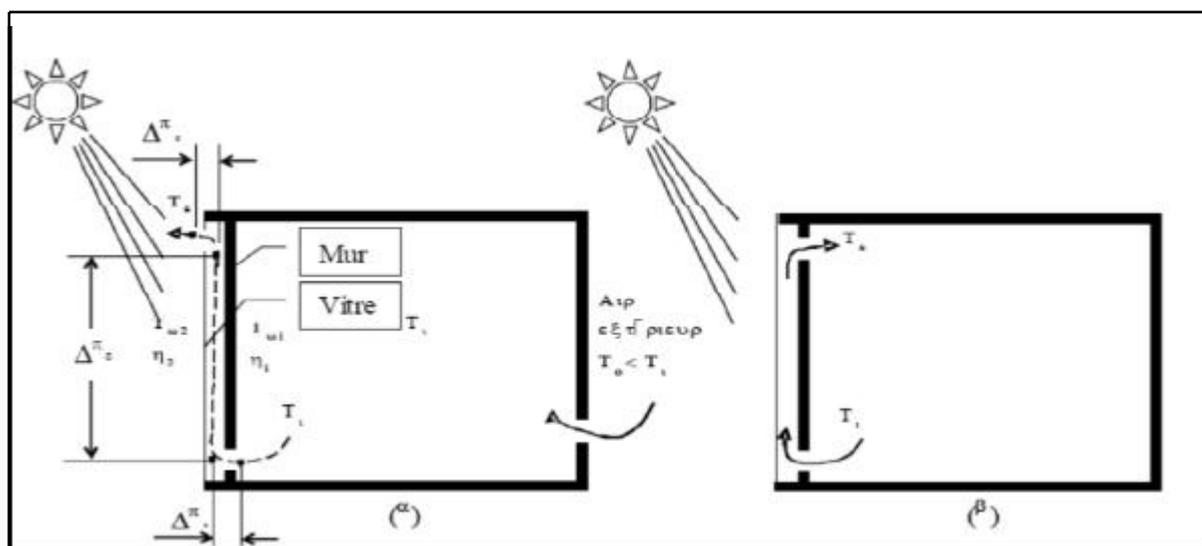


Figure II.6: Mur Trombe utilisé comme a) ventilateur, b) chauffage

II.5.4.2 La façade à double peau:

Une façade à double paroi d'un bâtiment se compose d'une paroi intérieure et l'autre externe, elle fournit au bâtiment l'isolation thermique. Elle a une fonction de régulation thermique du bâtiment.

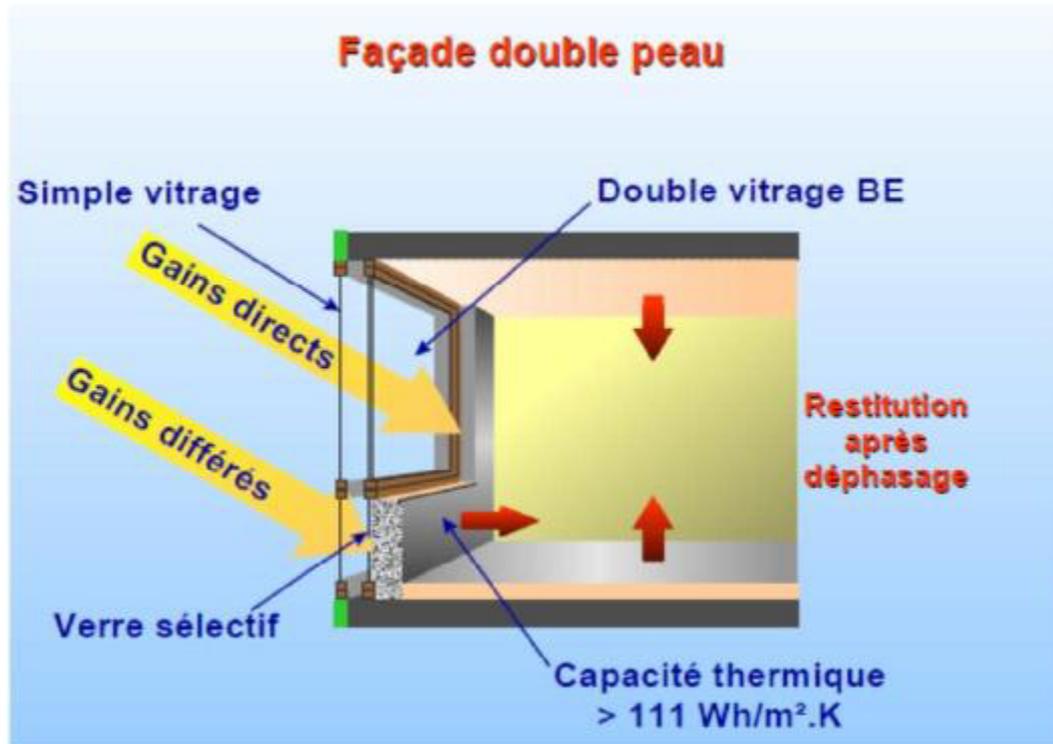


Figure II.7: Façade double peau [Alain Liébard 2005]

La façade à double peau protège le bâtiment aux contraintes météorologiques par rapport aux rayonnements directs du soleil, elle évite les surchauffes d'été et limite le recours à la climatisation. En évitant l'action directe du vent, elle supprime l'effet de paroi froide en hiver, qui produit l'inconfort d'intérieur. Elle permet aussi d'apporter une température et une humidité de l'air agréable. En comparant avec la façade glacée traditionnel. Elle peut également être employée pour la ventilation naturelle du bâtiment.

II.5.4.3 Les écopos :

Ce sont des dispositifs de prise d'air de grande dimension intégrés à la toiture. Elles améliorent le potentiel de ventilation naturelle de l'habitat, nécessaire en climat chaud. Elles permettent de ventiler les pièces centrales, essentielles aux volumes intérieurs entièrement traversants, elles s'avèrent idéales pour la ventilation des bâtiments peu poreux. Il existe deux types d'écopos : les écopos d'extraction et les écopos d'admission. Les écopos ouvertes vers le vent augmentent l'admission de flux à l'intérieur. Celles ouvertes à l'encontre du sens du vent augmentent l'extraction des flux venant de l'intérieur. Les écopos d'extraction sont

généralement plus efficaces que les écopos d'admission car elles placent l'intérieur en légère dépression.

Une mauvaise implantation risque de créer à l'intérieur une zone sous ventilée, comme le montre la figure (III.8). Lorsqu'une écope est placée face au vent, elle doit se trouver le plus près possible de la façade au vent, et inversement. Une faible ouverture en façade au vent risque de favoriser un écoulement de l'air vers la façade sous le vent. Le même phénomène advient dans le cas d'une ouverture importante sur la façade sous le vent et une écope en admission. Afin de capter des écoulements rapides, frais, moins poussiéreux et moins humides, les écopos sont situées en hauteur. Pour des vents dominants de différentes directions, la conception des écopos est multi directionnelle. Plus complexes, ces écopos sont généralement moins efficaces que celles à une seule direction. D'après les travaux menés dans la soufflerie atmosphérique du CSTB, la section de l'ouverture verticale d'une écope doit représenter environ 20 % de la surface verticale de l'enveloppe du bâtiment perpendiculaire au vent.

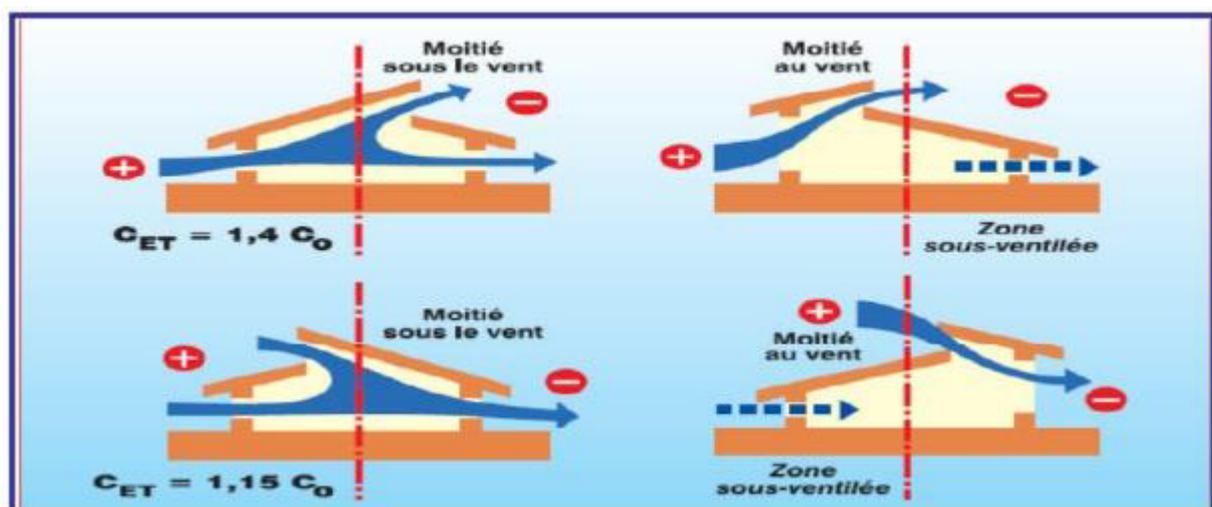


Figure II.8: Influence de l'implantation de l'écope en toiture

II.5.4.4 Les tours à vent :

La tour à vent telle que son nom l'indique, est un outil de ventilation utilisé pour obtenir un refroidissement naturel. Elle a été employée pendant des siècles dans les pays à climat chaud et aride, en particulier en Iran. Les tours à vent dans les villes centrales de l'Iran sont connues en tant que « badgir » voulant dire capteurs à vent. Des tours à vents se trouvent dans l'ensemble du moyen orient, de l'Égypte au Pakistan leurs formes s'adaptant aux caractéristiques du vent ainsi qu'au mode de construction. Les tours à vent s'appellent

malqaf en Egypte, Mangh au Pakistan et Badgir (ou Barajil ou Barjeel, littéralement « attrape vent ») au Emirats Arabes Unis et en Iran [AKCHICHE Zineb ,2011].L'origine et la date exacte del'utilisation de la première tour à vent n'est pas définie et convenue parles historiens etchercheurs. Nous pouvons citer les plus fréquentes, à savoir :

L'idée du malqaf ou la tour á vent remonte aux périodes historiques très lointaines. Elle a été employée par les Egyptiens antiques dans les maisons d'Al-Amarna de Tal et est représentée dans des peintures de mur des tombeaux de Thèbes. Un exemple est la maison pharaonique du Bout-Amun représentée sur son tombeau, qui date de la dix-neuvième dynastie (1300 avant J.C.).

La première évidence historique des tours à vent remonte au quatrième siècle avant Jésus Christ. Un exemple d'une tour à vent simple a été trouvé en Iran par une expédition japonaise dans une maison à l'emplacement du chackmaq de Tappeh environ huit kilomètres au nord de Shahrood et les pentes méridionales des montagnes d'Alborz au nord-est de l'Iran .



Figure II.9 : Tour à vent à YAZD, IRAN [N. Fezzioui 2008]

Les tours à vent sont des dispositifs destinés à capter les vents en hauteur afin de les diriger vers l'intérieur du logement à ventiler. Le capteur fonctionne par la différence de température entre le vent et l'air ambiant intérieur. Le vent, plus frais, moins poussiéreux et moins humide, de par la hauteur à laquelle il est capté, pénètre par le capteur pour descendre au rez-de-chaussée de l'habitation. L'air neuf ainsi introduit chasse l'air intérieur plus chaud et plus vicié. Si, par contre, l'air ambiant est plus frais que le vent en hauteur, une pression empêche la pénétration du vent dans le capteur. Il est préférable de prévoir, pour les saisons froides, des dispositifs qui permettent d'obstruer les bouches.

Les écopés des tours à vent sont généralement en forme d'entonnoir, pour créer un effet venturi, et orientées face aux vents dominants. Lorsque le vent se dirige selon un secteur étroit, l'écope se constitue d'une large section verticale qui va en se rétrécissant légèrement jusqu'à celle du conduit intérieur. Dans les climats à forte amplitude thermique, la forte inertie des matériaux du conduit peut rafraîchir l'air efficacement. Le système est amélioré par la suspension de vases d'eau en terre non cuite dans la tour. Cela permet d'humidifier le filet d'air sec et d'abaisser ainsi sa température grâce à l'évaporation de l'eau avant la ventilation dans l'habitat. Les changements d'état de l'eau mettent en jeu des quantités d'énergie importantes. C'est ainsi que, pour évaporer 1Kg d'eau, il faut lui fournir 500 à 600 kcal. Comme cette énergie est prélevée dans l'air du local, il s'y produit inévitablement une diminution de la température. Cette amélioration ne peut être exploitée en climat humide, puisque l'humidité relative est déjà supérieure au niveau de confort. En revanche, en climat sec, elle permet la ventilation des espaces intérieurs : l'air introduit est rafraîchi avant de pénétrer dans l'habitat et les problèmes de poussières liés à la ventilation sont diminués grâce à l'humidité relative de l'air plus élevée.

En ce qui concerne la capture de l'air en hauteur, les considérations à prendre en compte sont les mêmes que pour les écopés. Les pertes dans les conduits aérauliques sont à réduire au maximum. On privilégie donc les sections larges et homogènes des conduits et des bouches ainsi que les conduits rectilignes.

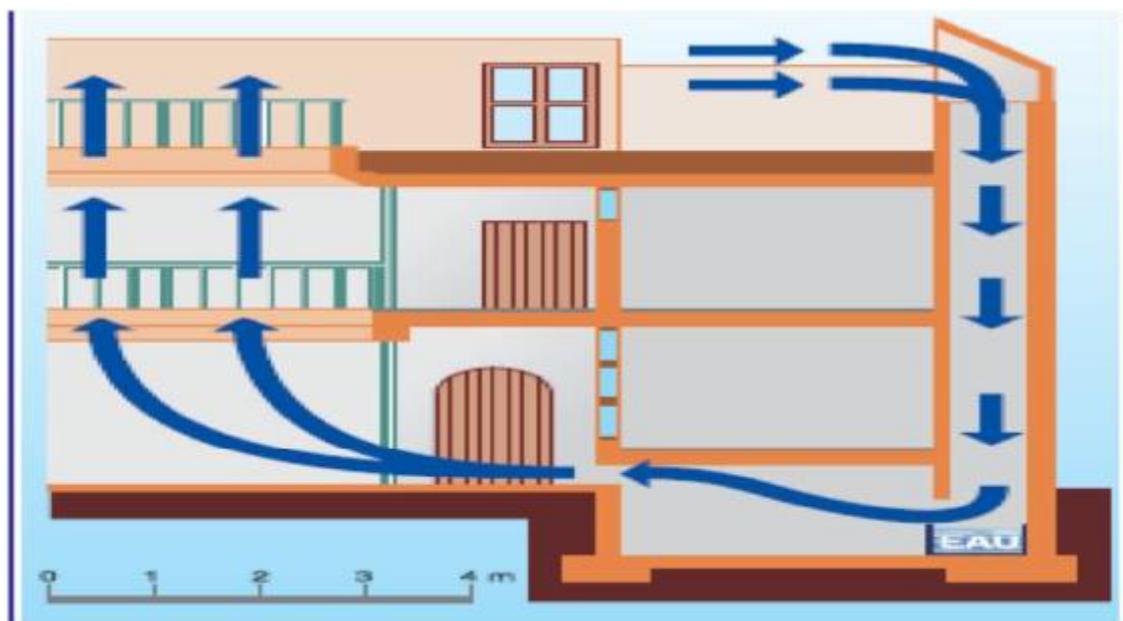


Figure II.10 : Utilisation de l'humidification dans le tour à vent

II.5.4.5 Les dômes :

Cette technique de construction est employée depuis l'Antiquité. Elle est largement associée aux pays du Maghreb et du Proche-Orient, et notamment à l'Algérie, l'Égypte, la Jordanie, la Palestine et la Tunisie. Son utilisation est généralement courante dans tous types de milieux : urbain, rural, en plaine, en montagne ou en bord de mer. Cette technique constructive est utilisée en rez- de chaussée, en premier ou en dernier étage. Elle fait généralement office de couverture, Ce sont des coupoles qui, ayant au sommet une fenêtre, recouvrent soit une partie de la maison soit la pièce principale d'un bâtiment. Le plus souvent, les coupoles sont pleines, réalisées sans ouvertures. Quelquefois, des percements sont réalisés, soit dans les pans de la coupole, soit au sommet de celle-ci. Ces ouvertures sont généralement faites dans le même matériau que le corps de l'ouvrage, et servent à assurer la ventilation et l'éclairage de l'espace couvert [Bencheikh,2007].



Figure.II.11: différentes configurations des coupoles. <http://forum.d4school.com/46740>

Les dômes présentent à la voûte céleste une surface de déperdition thermique très grande $2 R^2$ (R le rayon du dôme) pour un maître couple moitié. Par contre dans la journée, seule une partie de ce maître couple reçoit les rayons solaires, c'est-à-dire une surface caprice inférieure à $2 R^2$. Les échauffements du dôme sont ainsi limités. Ces échauffements sont responsables des mouvements convectifs de l'air à l'intérieur du dôme.

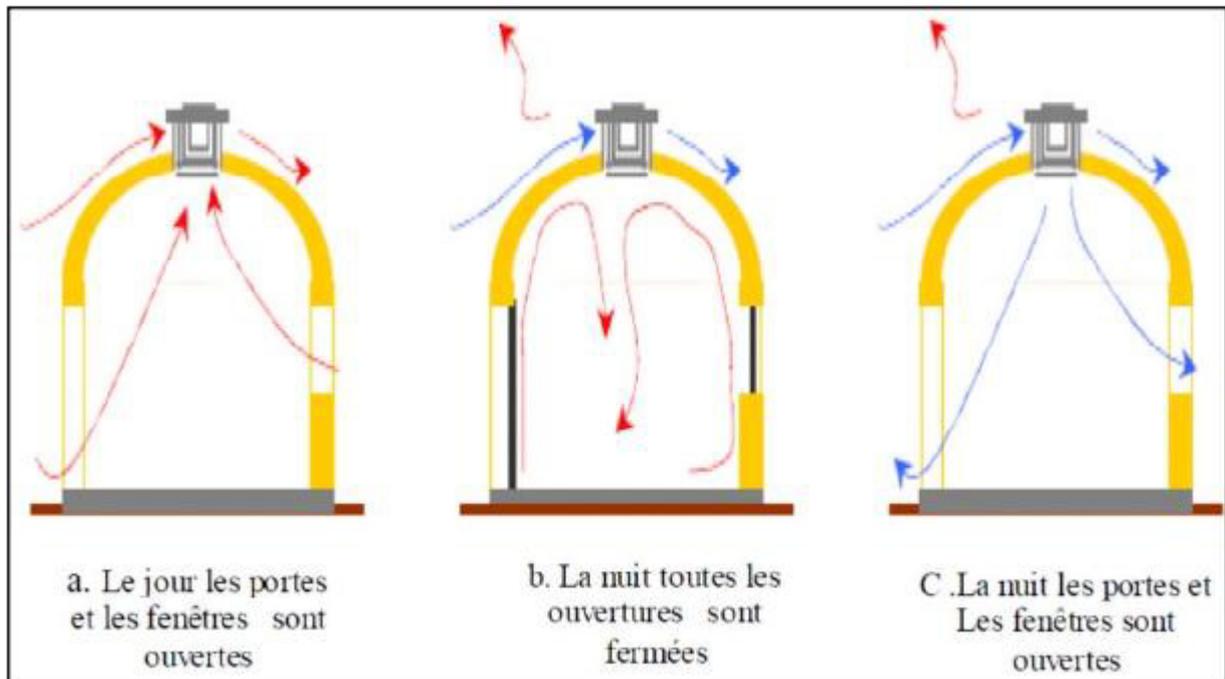


Figure II. 12: Les différents cas de fonctionnement des Dômes.

Le jour, lorsque le sommet du dôme est chaud, l'air intérieur au contact de ce dôme s'échauffe. Si les fenêtres et les portes du bâtiment ainsi que la fenêtre du dôme sont ouvertes, l'air à l'intérieur du bâtiment a tendance à monter ; ce mouvement ascendant est favorisé par l'air plus froid donc plus dense autour du bâtiment, qui pénètre à l'intérieur. L'air chaud est alors entraîné et évacué par effet de cheminée à l'extérieur par la fenêtre du dôme.

La nuit, la chaleur accumulée dans la journée par le dôme est échangée radiativement avec la voûte céleste et par convection avec l'air. La fenêtre supérieure étant fermée, l'air à l'intérieur du bâtiment monte par la partie centrale, se refroidit au contact du dôme, devient plus dense, et redescend par la partie latérale. Si par contre dans une nuit sans vent, tous les volets sont ouverts, l'air à l'intérieur du bâtiment étant plus chaud, l'air froid de l'extérieur a tendance à descendre, pénétrer alors à l'intérieur par le sommet du dôme, y crée une forte pression et évacue l'air chaud de l'intérieur par les volets du bâtiment.

Au cours des nuits où le vent souffle, l'évacuation de l'air chaud s'effectue dans le sens inverse. Sous l'effet de la pression de l'air extérieur, froid, très dense, accumulé au du bâtiment, le vent qui souffle, entraîne l'air chaud du bâtiment par la fenêtre du dôme. Enfin, le dôme n'a pas un facteur de forme plus grand que les autres surfaces vis à vis du volume interne et donc son échauffement ne peut être ressen

II.5.4.6 La cheminée solaire :

La cheminée solaire utilise le soleil pour réchauffer ses parois internes. Les forces de poussée dues à la différence de température ainsi créée provoquent un écoulement ascendant le long des parois. L'épaisseur de la cheminée doit être proche de l'épaisseur de la couche limite développée pour éviter les recirculations d'air.

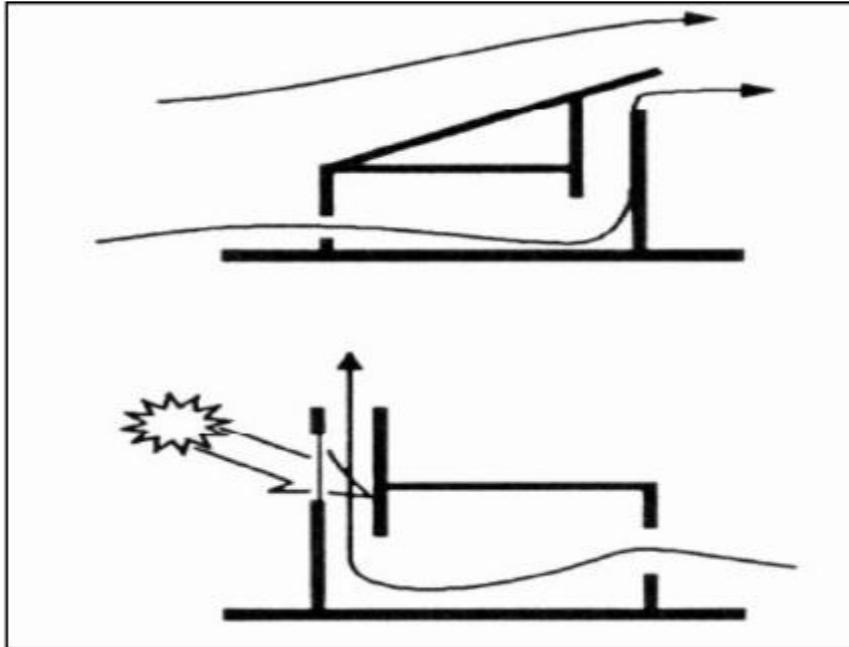


Figure II.13 : la cheminée solaire

Une cheminée solaire peut être un des composants d'un bâtiment, dans lequel un ou plus de murs d'une cheminée sont transparents, le mur vitré permet le rayonnement solaire s'accumuler assez de chaleur pour induire l'effet de cheminée. L'énergie solaire réchauffe l'air à l'intérieur de la cheminée. En raison de la différence de la température d'air, un gradient de densité entre l'intérieur et l'extérieur de la cheminée provoque un mouvement ascendant d'air. La figure II.13 présente un exemple d'utilisation de la cheminée solaire dans un système de ventilation naturelle dans les bâtiments de l'université de Kitakyushu en Japon.



Figure II.14: Exemple de cheminée solaire intégré sur le bâtiment [Yoshiteru Shinada 2007].

Conclusion

l'utilisation Des systèmes du ventilation Naturelle comme une moyen de control bioclimatique par simple technique (ouverture des fenêtre ,tour aventetc.) doit être opérationnelle pour maintenir un confort thermique confortable en été mais l'efficacité de cette méthode peut être efficace dans certains climats plus que d'autre .

CHAPITRE 3 :

CLIMAT ET CONFORT

Dans ce chapitre, les données climatiques locales des villes des régions d'études sont analysées et traitées afin de présenter une étude climatique et bioclimatique de ces villes. Nous analysons les connaissances existantes en matière de confort thermique pour définir les Techniques de contrôle microclimatique et de conceptions architecturales capables de créer des Conditions de confort adaptées à ces régions (Adrar, Bechar, Tamanrasset).

III.1 Introduction:

L'habitat traditionnel est réputé pour son adaptation aux climats locaux parce que résultant d'une expérience sur plusieurs siècles. Face à la poussée démographique un nouveau type d'habitat souvent moins adapté thermiquement se développe à partir des villes pour se propager ensuite dans les pays. Pour des raisons économiques, parfois esthétiques, par ignorance ou souvent par habitude, on construit sans tenir compte du climat.

De tous temps, l'homme a essayé de tirer parti du climat pour gagner du confort et économiser l'énergie dans son habitation. De nos jours, les exigences du confort augmentent et se multiplient de plus en plus et les concepteurs semblent avoir négligé la fonction d'adapter le bâtiment au climat et la maîtrise de l'environnement intérieur et extérieur. (Fezzioui 2014). L'évolution de la consommation d'électricité s'est accompagnée par l'augmentation de la consommation / habitant de 126.26 kWh en 1970 à 1 047 kWh en 2011 comme le montre le (tableau III -1) ci-dessous :

Tableau III.1 : Consommation d'électricité par habitant (en kWh) (Source : Sonelgaz, Newlsetr presse No 9 d'Août 2010 : www.sonelgaz.dz/presse)

Année	1970	1980	1990	1995	2000	2006	2009	2010	2011
Consommation/habitant	126.2	327.03	539.51	568.4	658	869	971	1 012	1 047

Il y a lieu de signaler que les foyers algériens ont complètement changé leur mode de consommation en seulement quelques années. Dans un passé très récent, la puissance appelée par abonné ne dépassait guère les 2 kW. Aujourd'hui cette puissance est multipliée par 3, voire par 4 dans certaines régions.

III.2 PRESENTATION DES VILLES D'ETUDES

III.2.1 CARACTERISTIQUE CLIMATIQUE DE LA VILLE DE BECHAR :

Le climat a toujours joué un rôle déterminant dans la définition de la forme du bâti. Il est la synthèse des conditions atmosphériques d'une région donnée pendant une longue période. Il peut être défini par différents variables qui sont les facteurs météorologiques du climat. Selon [Givoni, 1979], les facteurs météorologiques qui doivent être considérés, lors de la conception de bâtiment sont essentiellement :

- Le rayonnement solaire
- Le rayonnement du ciel de grande longueur d'onde,
- La température de l'air,
- L'humidité de l'air,
- Les précipitations,
- Les vents.

La ville de Béchar, zone retenue dans cette étude, est caractérisée par de longues périodes de Surchauffe où l'inconfort est fortement ressenti. L'analyse de la distribution mensuelle de la

Température et de l'humidité relative de la ville de Béchar [R. Benziada, 2006] indique que la majeure partie de l'année se situe en dehors de la zone de confort. Les bâtiments doivent, donc, être conçus selon les exigences d'été; celles de l'hiver seront satisfaites en conséquence. Il est donc plus approprié de viser la période de surchauffe pour déterminer les techniques de refroidissement passif qui aident à réduire les températures internes pour atteindre des ambiances confortables.

La ville appartient à la zone climatique d'été E3 et celle d'hiver H3a avec deux saisons principales (été et hiver). Avec une forte insolation, dépassant les 3500 h/an, et un intense Rayonnement solaire direct qui peut atteindre 800 W/m² sur un plan horizontal, le climat de Béchar présente un régime thermique très contrasté. En été, la température dépasse facilement les 50 °C à l'ombre, et l'humidité relative reste faible autour de 27 %.

De l'analyse climatique de la ville de Béchar, il apparaît, que la plus grande partie de l'année présente des conditions de vie inconfortables: un été long, chaud et sec, un hiver modéré par Moments.

III.2.1.1 La température de l'air:

C'est un paramètre qui a une influence sur la quantité d'énergie nécessaire pour maintenir par Chauffage ou refroidissement une température d'air intérieur plus confortable que l'extérieur. Cette grandeur permet le calcul de degrés jours, indispensables pour l'évaluation des charges De chauffage ou de la climatisation dans un bâtiment. Elle intervient dans les transferts conductifs et convectifs de chaleur au niveau des parois [AL-mumin, 1995] (Fezzioui 2014). L'interprétation des données météorologiques de la station météorologique de Béchar période 1997-2008; fait ressortir que la température annuelle moyenne est de 21.17°C avec une moyenne maximale de 38.03°C enregistrée le mois de juillet (le mois le plus chaud de l'année) et une moyenne minimale de 4.9°C en janvier (le mois le plus froid de l'année). Les extrêmes absolus enregistrés varient entre -0.75 à -3°C au mois de janvier à 42 à 47.4 °C au mois de juillet. Cela n'exclut pas que des chaleurs extrêmes de plus de 47.4°C soient enregistrées. En hiver hormis mi de Décembre et Janvier, le climat est supportable. Même si le froid est intense le soir, au lever du soleil, la température est plutôt douce. L'origine de ce caractère des températures fraîches cette période citée, est principalement liée aux journées ensoleillées pendant presque toute l'année.

On peut distinguer deux périodes, une période chaude sèche et longue qui s'étale du mois de Mai au mois de Septembre, et une autre période froide sèche et courte s'étendant depuis le mois de Décembre jusqu'à Février (Figure III.1).

Les mois de Mars, Avril, Octobre et Novembre constituent une transition entre les deux périodes, froide et chaude. La meilleure période de l'année se situe du 1^{er} Octobre au 1^{er} Mai.

On peut considérer le mois de Mars un mois confortable, mais parfois la température s'élève progressivement et pour certaines années excessivement, avec grands vents de sables qui soufflent de l'Est, du Sud et Sud-ouest et qui rendent pénible les mois de Mars et Avril.

Tandis que les deux mois Octobre et Novembre sont considéré confortables vu que la température moyenne est comprise entre 14.7°C et 21.3°C.

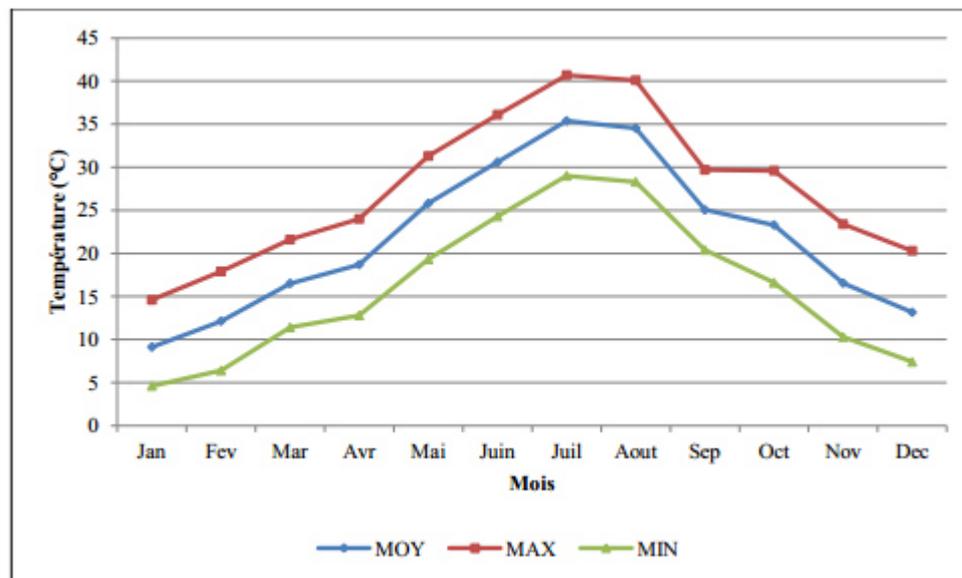


Figure III.1 courbes de température moyenne mensuelle – Période 1997-2008 (O.N.M, 2010)

III.2.1.2 L'humidité relative

L'humidité relative est le rapport de la concentration de vapeur d'eau de l'air à sa valeur à saturation. Comme la valeur à saturation augmente exponentiellement avec la température l'humidité relative diminue fortement si la température augmente, même si l'humidité absolue (concentration de vapeur d'eau) reste stable. L'humidité relative reste néanmoins intéressante car la plupart des phénomènes liés à l'humidité, notamment la sensation de sécheresse et d'humidité, la croissance des moisissures, l'assèchement des plantes, etc. varie en fonction de l'humidité relative. .

La lecture des tableaux et des courbes de l'humidité relative (Figure III.2) indique une moyenne annuelle de 30 à 60% avec une valeur minimale de 10.2% enregistrée au mois de Juillet aux après-midi, alors que la valeur maximale de 60.1% est enregistrée au mois de Janvier vers 6 heure du matin.

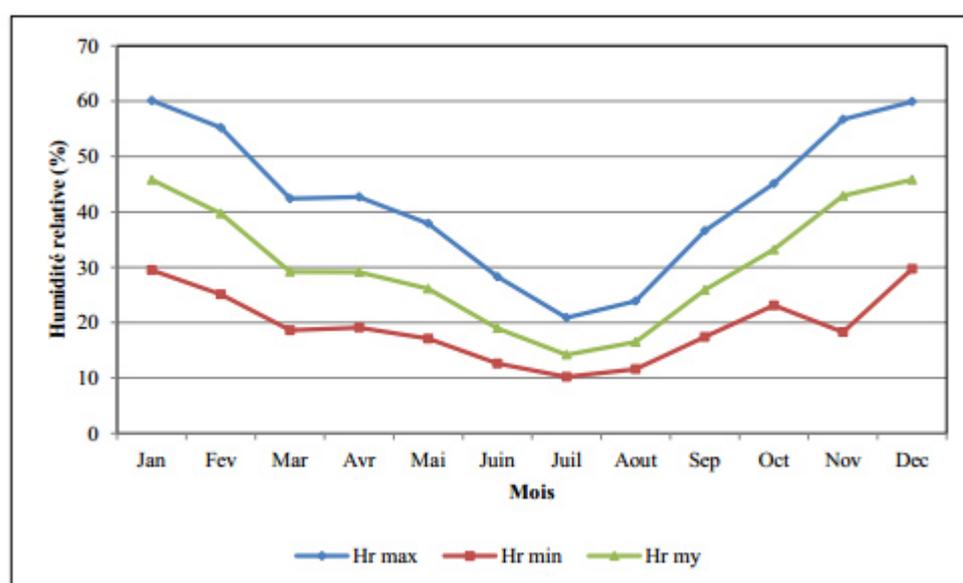


Figure III.2 Courbe d'humidité relative moyenne mensuelle – Période 1997-2008 (O.N.M, 2010)

L'humidité est fortement liée à la température de l'air et à la pression atmosphérique. Son évolution est contraire à celle de la température, elle atteint des faibles valeurs l'après-midi et elle augmente la nuit.

Une superposition des valeurs de l'humidité aux courbes de températures de l'air, indique une croissance régulière de la courbe de l'humidité relative, dans le sens inverse de celle des températures. En effet, l'humidité normale augmente particulièrement pendant le matin et la nuit, quand la température de l'air décline. Ce phénomène est également observé entre les mois chauds et froids de l'année. *Figure III.3*

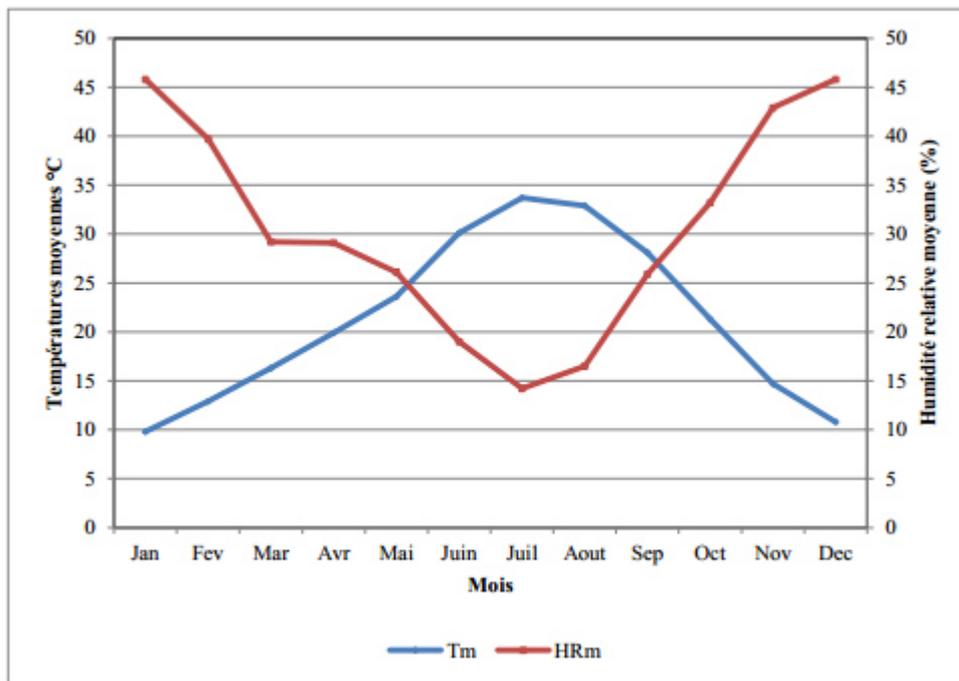


Figure III.3 courbes d'Humidité relative moyenne (%) en rouge, courbe de température moyenne mensuelle en rouge - Période 1997-2008 (O.N.M, 2010)

Pour toute l'année les plus faibles valeurs d'humidité relative se situent entre Mars à Septembre elle oscille entre 42% et 10 %, tandis que les plus fortes valeurs se rencontrent entre Décembre et Février avec un pic en Janvier qui a atteint une valeur de 81.4% en 2009 pendant l'aube. On note ici que cette valeur élevée du pourcentage d'humidité relative est des eaux pluviennes qu'a connu la région en octobre 2008 avec un taux de 567 mm en 48 heures.

III.2.1.3 Le vent

Le vent est un facteur climatique que l'on ne peut négliger, il est déterminé par plusieurs facteurs globaux et locaux tels que : La pression de l'air, la rotation de la terre, les variations journalières des températures, la topographie. Comme il est caractérisé par : Une direction (principale ou secondaire), une vitesse moyenne qui est un facteur important dans les échanges par convection et par évaporation, et une fréquence par jour, mois ou année [Adelard, 1998]. (FEZZIOUI2014).

La région de Béchar subit des vents presque réguliers (Il n'y a pas de désert sans vents ; Le vent est le facteur principal de la topographie désertique [AL-Mumin, 1995]) dont la vitesse moyenne varie entre 1.8 à 6.1m/s avec une vitesse annuelle moyenne de 3.5m/s, et un total de vent calme de 20à 60%. Leur vitesse est faible le matin, elle commence à augmenter vers midi pour qu'elle atteigne son maximum l'après-midi.

Les journées de vent calme se situent aux mois de Janvier, Décembre et Février avec les pourcentages de 40%, 30% et 25% respectivement. Les journées de vents faibles sont plus fréquentes pendant les mois d'Octobre, novembre et Décembre.

Les vents dans la région de Béchar sont de diverses directions. Ceux du Nord avec une moyenne annuelle de 7.79%, atteignent leur maximum au mois d'Aout avec un pourcentage de 11.27% et leur minimum le mois de Mai.

Les vents du Sud sont plus fréquents aux mois de Juillet et Octobre avec un pourcentage de fréquence mensuelle de 18% le plus supérieur durant l'année.

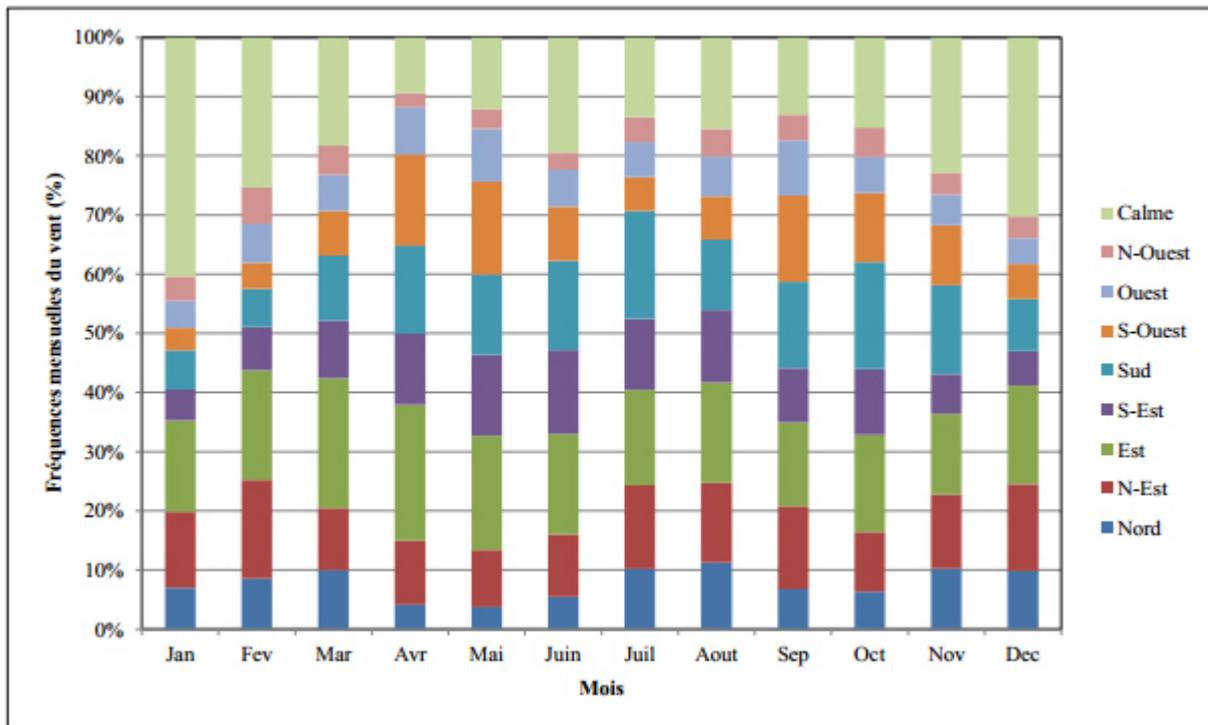


Figure III.4 Fréquences mensuelles du vent selon les huit directions (en %) - Période 1997-2008 (O.N.M, 2010) .

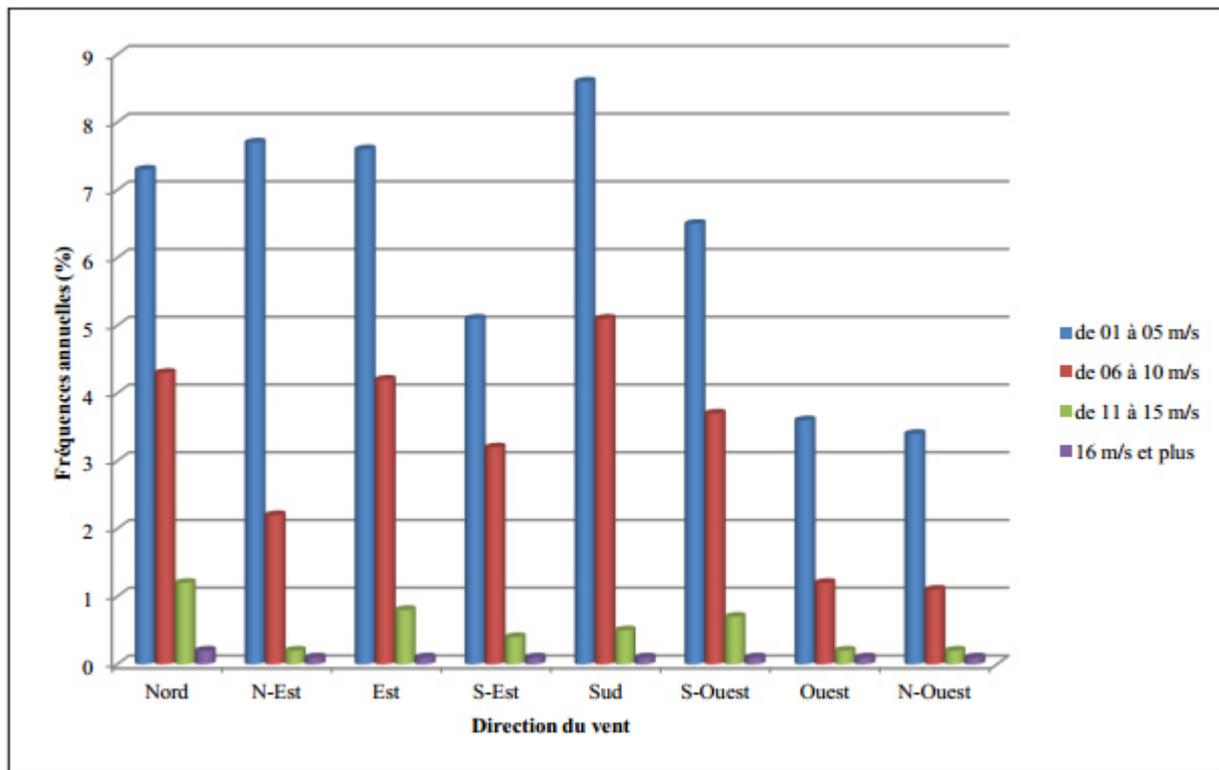


Figure III.5 Répartition fréquentielle des vents (par classes de vitesses et selon les huit directions -Période 1997-2008 (O.N.M, 2010)

Les vents de sable et de poussière sont fréquents pendant les saisons printanières, en général en Mars et Avril, leur maximum de fréquence est enregistré le mois d'Avril d'un pourcentage de 90.57% (Figure III.4).

En hiver le vent vient surtout du Nord, Est et du Nord-Est en représentant 13.1 et 10.01% des Observations (Figure III.4). Il s'agit de vents de terre humides qui soufflent pendant les périodes hivernales. En été, les vents qui prédominent sont ceux de l'Est, Sud et Nord-Est.

III.2.1.4 Les précipitations

La région de Béchar fait partie des régions les plus arides de l'Atlas Saharien mais non point stérile. Les précipitations sont très faibles et très irrégulières. Elles pleuvent sous forme d'averses qui ne durent pas plus longtemps que 24 heures. La moyenne annuelle des précipitations annuelles varie entre 13 mm et 117 mm. Les moyennes n'ont d'ailleurs aucune signification, car la variabilité interannuelle des précipitations est très grande (tableau II.8 tableau II.9) 2001 fut une année particulièrement défavorisée au point de vue de la pluie 9.5 mm, par contre 1994 a enregistré un total de 117 mm (tableau II.2). Les pluies sont le plus souvent fines ; les pluies diluviennes y sont exceptionnelles (intempérie d'Octobre 2008). Les précipitations annuelles dépassant 100 mm sont rares, et le nombre de jour pluvieux est de l'ordre de 18 à 23 jours par an. Les pluies sont concentrées en hiver et au printemps ; par contre elles sont rares en été et surtout en mois de Juillet où la quantité moyenne reçue était de l'ordre de 1 mm et parfois nulles. Les orages sont peu fréquents mais se produisent pendant

les mois les plus chauds et peuvent durer 10 jours pour certaines années.

Tableau III.2 Variation des précipitations moyennes annuelles à la station de Béchar 1988-2009 (O.N.M, 2010)

Année	P (mm)			Année	P (mm)
1988	33.9			1999	24.3
1989	60.8			2000	14.4
1990	20.8			2001	9.5
1991	24.8			2002	23.9
1992	16.6			2003	44.6
1993	87.3			2004	23.6
1994	117.3			2005	22.2
1995	78.2			2006	47.8
1996	80.2			2007	49.2
1997	13.5			2008	31.7
1998	31.4			2009	26.37
		Moyenne		51.34	

Tableau III.3 Nombre de jours pluvieux en 2003

Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
03	00	02	05	01	00	01	05	04	02	00	00	23

Tableau III.4 Précipitations mensuelles en mm relevées les années s 1997-1999

	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
1997	16	0	7	38	3	0	1	4	4	4	0	0
1998	8.7	7.1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	12.5
1999	10	14.	7.1	0	0	0	0	0	30	7.5	0.4	0.7

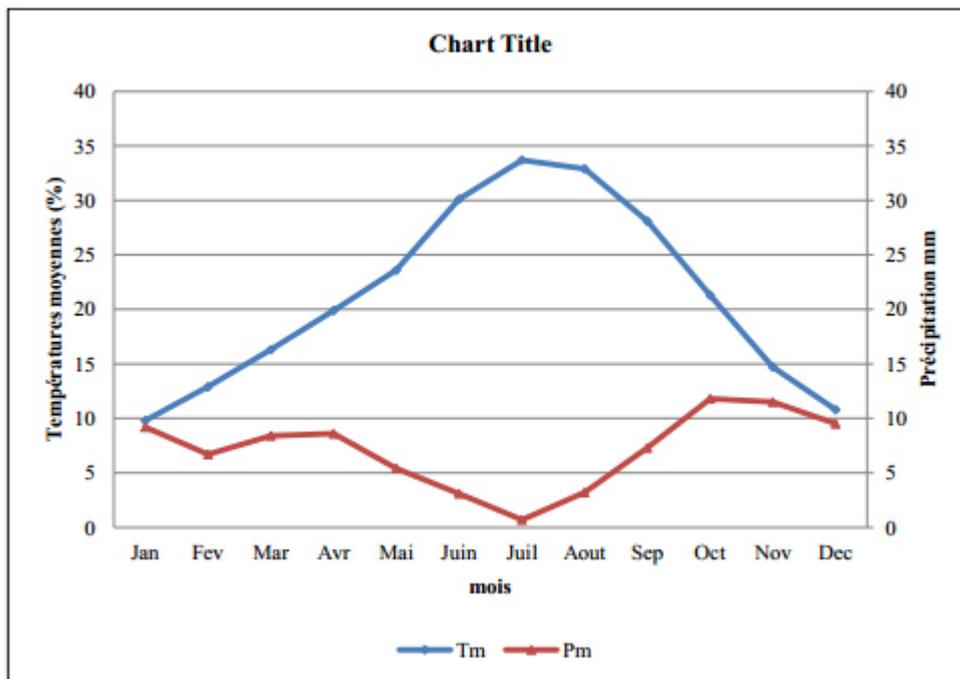


Figure III.6 Diagramme ombrothermique de la région de Béchar. Courbes des précipitations moyennes mensuelles (Pm, mm), courbe de température moyenne mensuelle (Tm, °C) - Période 1997-2008 (O.N.M, 2010)

Bagnouls et Gausson ont établi, en 1954, un diagramme (Diagramme ombrothermique) qui permet de dégager la durée de la période sèche en s'appuyant sur la comparaison des moyennes mensuelles des températures en °C avec celles des précipitations en mm ; en admettant qu'une période est sèche lorsque P (en mm) est inférieur à 2T (en °C) [Guyot, 1999], [Fezzioui2014] .

D'après ce diagramme (*Figure III.6*), la région de Béchar est caractérisée par une sécheresse permanente le long de l'année, puisque P est toujours inférieur à T; la période la plus sèche se situe durant les mois de juin juillet et août.

III.2.2 CARACTERISTIQUE CLIMATIQUE DE LAVILLE D'ADRAR :

Le climat de la région d'Adrar (Touat) est un climat particulièrement contrasté; elle est caractérisée par un climat sec et aride. L'aridité s'exprime non seulement par des températures élevées en été et par la faiblesse des précipitations, mais surtout par l'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air.

Les données utilisées se rapportent à la période allant de 1995 à 2014, soit 19 années d'observations. Cette station météorologique est localisée à 15 km à l'Est de la ville d'Adrar (*Tableau III .5*).

Tableau III .5 . Caractéristiques de la station pluviométrique d'Adrar.

Station	Code	X	Y	Z	Années d'observation
Adrar	13-01-16	0°10'W	27°50'N	279	1994-2014

III.2.2.1 la température de l'air :

La température est un facteur important qui conditionne le climat d'une région. Pour notre étude nous avons disposé les données moyennes mensuelles et annuelles de la station d'Adrar qui sont représentées dans le tableau ci-dessous.

On distingue deux saisons :

- Une saison chaude qui s'étend de mai jusqu'à septembre. Nous devons signaler qu'en aout les températures deviennent insupportables.
- Une saison froide caractérisée par des nuits hivernales très froides. C'est la saison de germination des plantes, elle s'étend d'octobre à avril. La variation brusque de la température est due à l'influence des caractéristiques géographiques et les masses d'air tropical Continental[Haidaoui Ahlam2015].

Les Variations des températures moyennes annuelles (*Figure III.7*) et le (*Tableau III .6*) ci-dessous présente la répartition des températures moyenne minimale (T°C min), moyenne annuelle (T°C moy), ainsi que la moyenne maximale (T°C max) pour une série de 20 ans d'observation.

Tableau III .6 : Températures moyennes annuelles (1995-2014) :

Année	T°C max	T°C moy	T°C min	Année	T°C max	T°C moy	T°C min
1994-1995	33,33	25,55	17,2	2004-2005	34,53	26,48	17,93
1995-1996	33,41	25,69	17,48	2005-2006	33,06	26,2	17,72
1996-1997	33,16	25,49	17,37	2006-2007	34,21	26,05	17,18
1997-1998	33,6	25,65	17,38	2007-2008	33,7	25,91	17,59
1998-1999	33,72	25,93	18,13	2008-2009	33,63	25,88	17,53
1999-2000	33,58	25,61	16,84	2009-2010	35,28	27,37	18,81
2000-2001	34,89	26,84	17,61	2010-2011	33,4	25,5	17,7
2001-2002	34,28	26,38	17,73	2011-2012	33,4	25,4	17,3
2002-2003	33,88	26,06	17,6	2012-2013	33,7	25,6	17,4
2003-2004	33,41	25,52	16,97	2013-2014	34,4	26,3	18,2

source : station métrologique d'Adrar

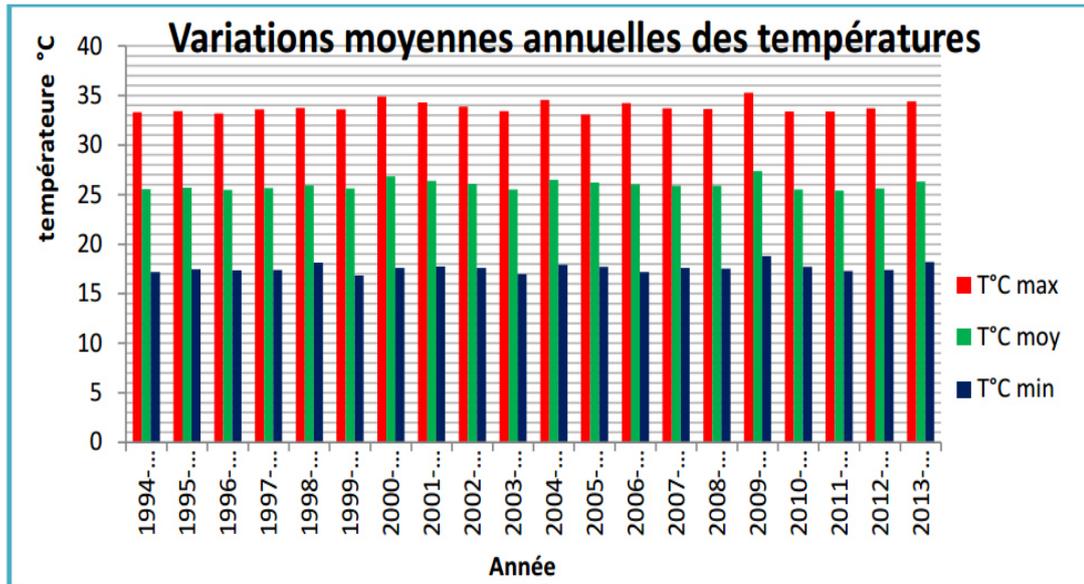


Figure III.7 Variations moyennes annuelles des températures.

L'analyse des données de la température moyenne annuelle montre que l'année la plus chaude est l'année 2010 avec une température moyenne annuelle de 27.37°C et que l'année la plus froide est l'année 2000 avec une température moyenne annuelle de 25.61°C, la température moyenne interannuelle est de 24,42°C.

Tableau III.7 : Températures moyennes mensuelles (1995-2010):

MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T °C	32	25	17	13	12	15	20	24	28	34	37	36

Source : station métrologique d'Adrar

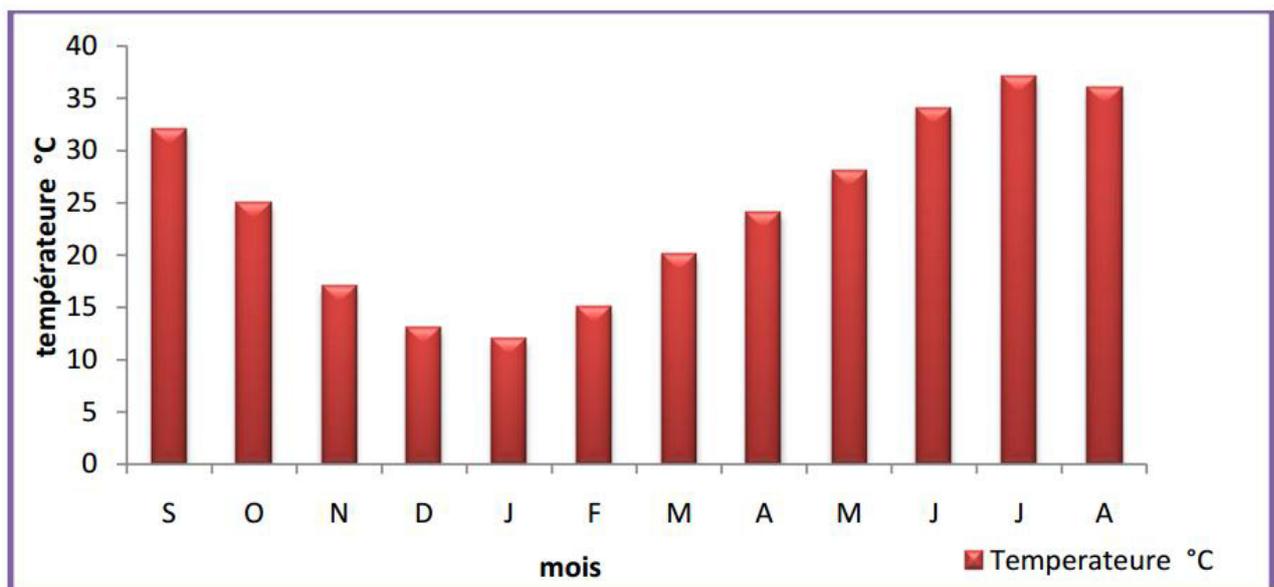


Figure III.8 Variations moyennes mensuelles des températures.

L'analyse de l'historique des températures moyennes mensuelles (Figure III.8)

montre que le mois le plus chaud est le mois de Juillet avec une température moyenne de l'ordre de 37°C, alors que le mois le plus froid c'est le mois de Janvier avec une température moyenne de l'ordre de 12°C, la température moyenne mensuelle est de l'ordre de 24.42°C.

III.2.2.2 les précipitations :

III.2.2.2.1 Variations interannuelles des précipitations :

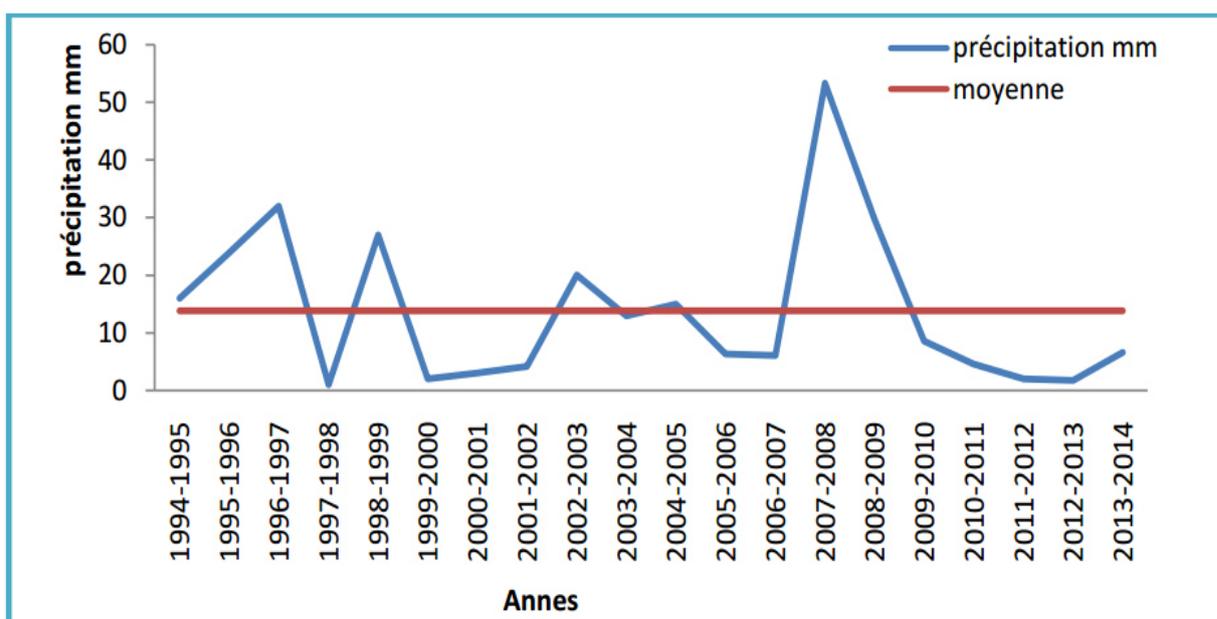


Figure III.9. Les moyennes interannuelles des précipitations.

L'analyse de la courbe des variations interannuelles des précipitations, sur une période de 20 ans (1995-2014), montre que l'année 2008 est la plus arrosée avec des précipitations moyennes de l'ordre de 53,33 mm/an et que l'année 1998 est la plus sèche avec des précipitations moyenne de l'ordre de 1,02mm/an, les précipitations moyenne interannuelle sont 11,09mm/an (Figure III.9).

III.2.2.2.2 Variations moyennes mensuelles des précipitations :

Tableau III .8 : Les moyennes mensuelles des précipitations (en mm)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Précipitations	0,1	0	0,7	0,9	5,4	0,4	2,3	1,7	0,1	0,1	0	0,2

source : station métrologique d'Adrar

D'après la (Figure III.10) on remarque que la période la plus pluvieuse est celle de l'hiver (nulles en octobre, les précipitations ont un maximum, 5.4 mm, en Janvier). L'irrégularité des pluies et leur soudaineté font que les crues de l'hiver, caractéristiques du climat saharien, ces dernières contribuent beaucoup à la recharge de la nappe. L'été est le plus sec et les précipitations sont nulles en juillet.

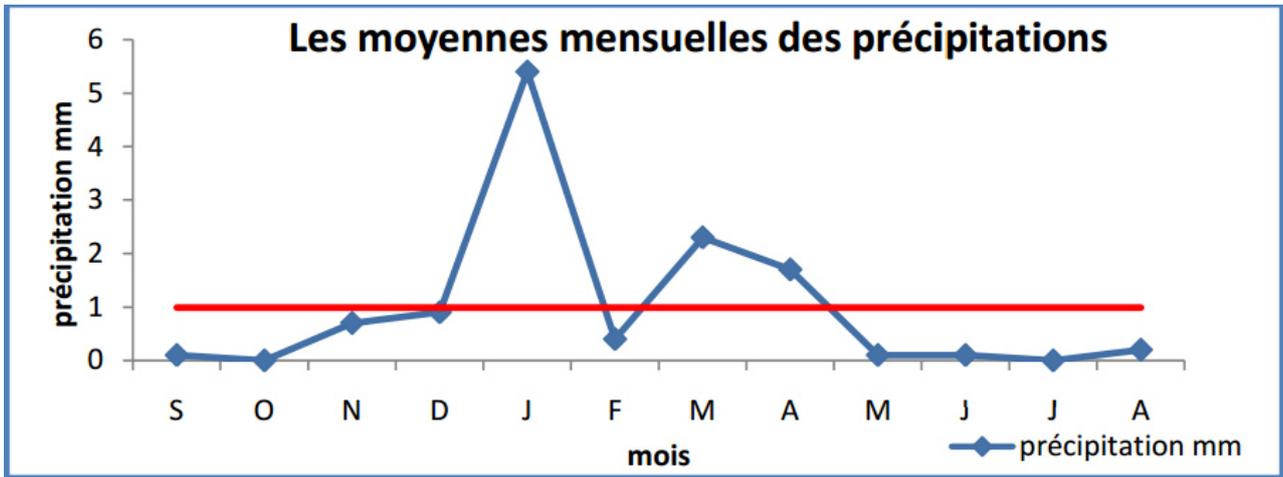


Figure III.10. Les moyennes mensuelles des précipitations.

Les précipitations sont très irrégulières d’une année à une autre. Cette situation s’expliquerait par l’éloignement de la région de la mer et par une masse d’air tropicale se caractérisant par la haute température qui emmène le plus souvent des vents violents, avec quelques précipitations enregistrées au début d’Automne et en été.

III.2.2.3. le vent :

Notre zone d’étude est l’une des régions les plus exposées au vent dans le Sahara algérien. Ces vents sont particulièrement violents. (Tableau III .9) et la (Figure III.11)représente les moyennes mensuelles de la vitesse du vent enregistré durant la période 1991 à 2010.

Tableau III .9 : présente la vitesse des vents dans la station d’Adrar (OMS).

MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	MOY
vitesse du vent m/s	5,6	5,5	5,3	4,8	5,7	5,6	6,6	6,3	6	5,5	5,8	5,6	5,7

Source : station métrologique d’Adrar

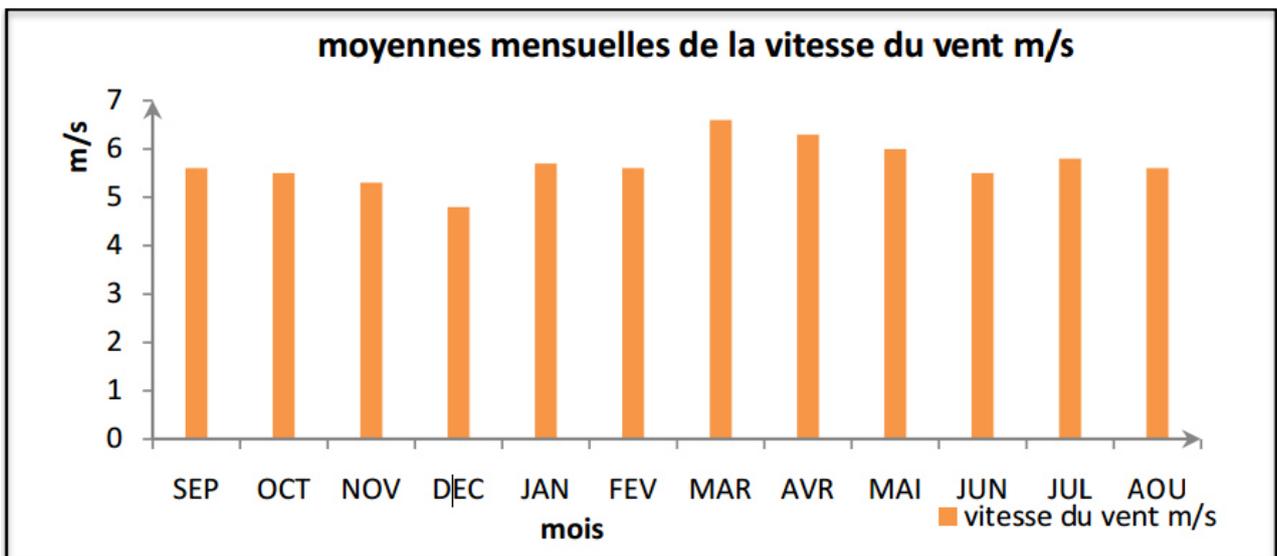


Figure III.11.les moyennes mensuelles de la vitesse du vent

Le vent est un des éléments les plus caractéristiques du climat. On relève que les vents sont fréquents durant toute l'année. C'est durant la saison du printemps (Mars-Avril) que se manifestent violemment les tempêtes de sable. Des vitesses supérieures à 20 m/s (72km/h) sont observées dans la région. La direction des vents dominants est Nord-Est et Nord, sauf en juillet et Août où elle est Est et Nord-Est avec une fréquence de 25% pour le Nord-est et 16% pour le secteur Nord. En été, les vents sont chauds et secs.

III.2.2.4. humidité relative de l'air :

La moyenne annuelle de l'humidité dans la région de Touat ne dépasse guère 27.25 %. Les moyennes mensuelles de l'humidité sont au-dessous de la médiane (50 %). Les fortes valeurs de l'humidité sont enregistrées durant la saison d'hiver et la valeur maximale moyenne enregistrée est celle du mois de janvier qui est de l'ordre de 48%. Les faibles valeurs caractérisant la saison la plus chaude où l'on trouve que l'humidité relative de l'air ne dépasse pas les 25 % et la valeur minimale moyenne est celle du mois de juillet qui est de l'ordre de 15 % (Figure III.12).

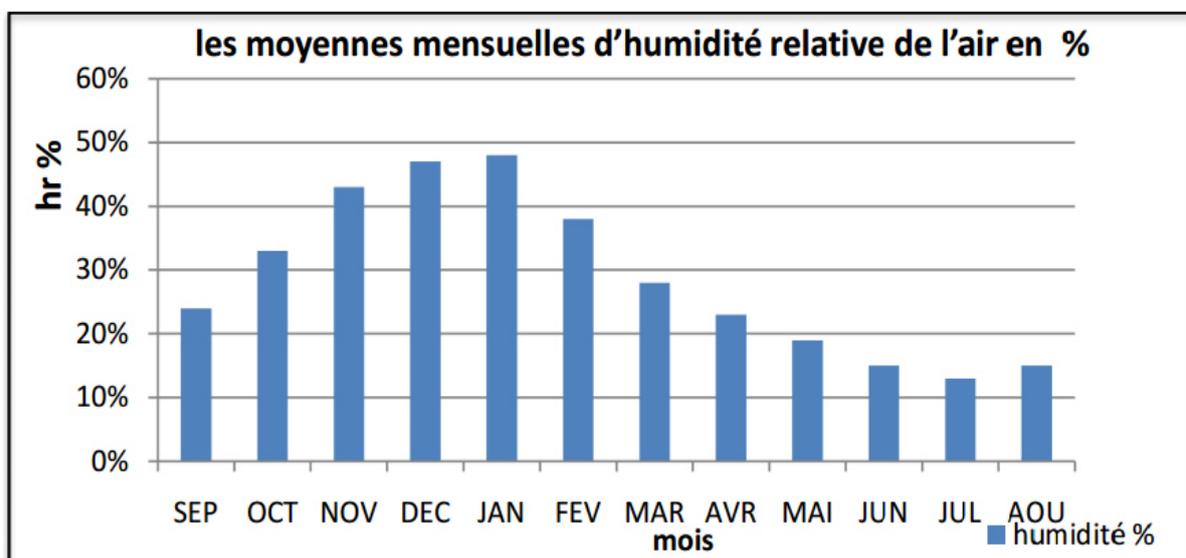


Figure III.12.les moyennes mensuelles d'humidité relative de l'air (hr %)

III.2.2.5. l'ensoleillement :

C'est la période durant laquelle le soleil a brillé sur le sol, notons qu'il existe deux expressions de l'insolation

III.2.2.5.1.L'ensoleillement possible : c'est la période possible durant laquelle le soleil pourra briller on suppose que le ciel est dégagé, elle se base sur les calculs astronomique durant le jour.

III.2.2.5.2.L'ensoleillement effectif : c'est la période durant laquelle le soleil a brillé sur le sol, elle est mesurée par l'héliographe.

Tableau III .10 : Moyennes mensuelles d'ensoleillement (1991-2010).

MOIS	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU
insolation heures/j	9,4	9,1	9	8,6	8,4	9,4	9,3	9,6	10,6	11,1	10,9	10,1

source : station météorologique d'Adrar

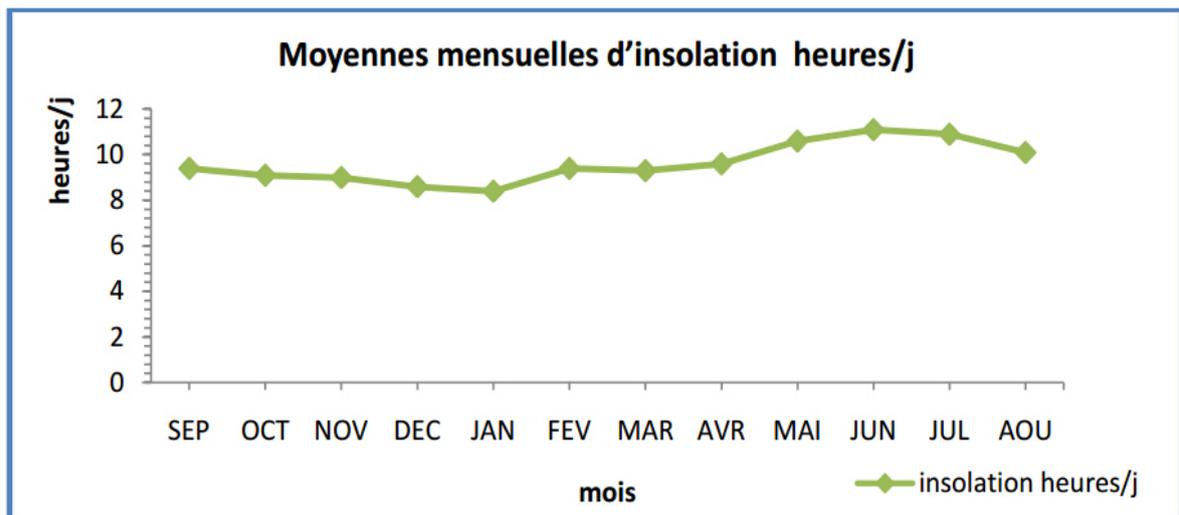


Figure III.13. Moyennes mensuelles d'insolation

D'après le graphe (*Figure III.13*), l'insolation journalière est supérieure à 8 h/j pendant toute l'année. Ces valeurs montrent une augmentation de l'insolation de 8,4 h/j au mois de janvier jusqu'à 11,1 h/j au mois de juin. L'insolation est faible pendant les mois froids et, forte durant les mois chauds. L'insolation est importante dans la région de Touat puisqu'elle excède 9 heures par jour pendant plus de 10 mois de l'année.

III.2.3 CARACTERISTIQUE CLIMATIQUE DE LA VILLE DE TAMANRASSET:

III.2.3.1. situation géographique :

Tamanrasset, une vaste terre aride, au milieu du Sahara algérien, elle est la capitale du Hoggar, elle reste la destination préférée du tourisme européen et surtout allemand. Sa superficie est de 619360 km². La ville de Tamanrasset est un axe incontournable des nomades et des touaregs, qui arpentent les dunes, les regs du Sahara, du Mali au Niger passant par le Tchad et la Libye. Située à l'extrême sud du pays, la wilaya de Tamanrasset est limitée par :

- La Wilaya de Ghardaïa au Nord,
- La wilaya de Ouargla au Nord Est,
- La Wilaya d'Ilizi à l'Est.
- La Wilaya d'Adrar à l'Ouest,
- La République du Mali au Sud-est,
- La République du Niger au Sud-ouest.



III.2.3.2. La température de l'air:

La température est un élément très important pour l'analyse climatique pour notre ville d'étude, la ville de Tamanrasset est trouvée dans les régions arides, est marquée par deux saisons importantes froides et chaudes qui s'étendent jusqu'au mois de septembre (Figure III.14).

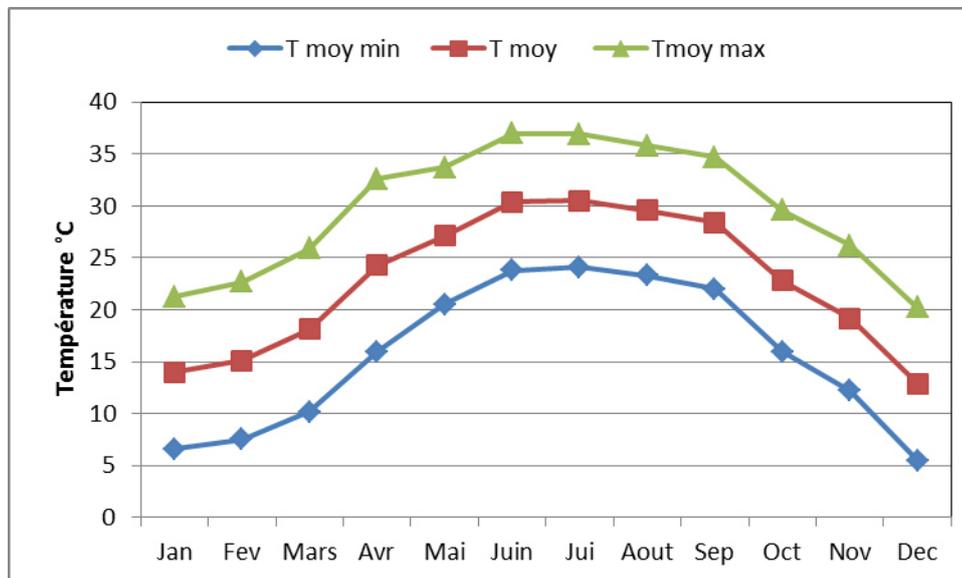


Figure III.14. Courbes de température moyenne mensuelle à Tamanrasset – Période 2014-2014 (O.N.M, 2015)

L'analyse de facteurs de températures est très importante pour notre étude, car elle conditionne avec une disposition bioclimatique.

Après la lecture de courbes des températures moyenne mensuelle on a remarqué que notre zone d'étude est marquée par deux saisons très importantes (chaudes et froides)

Saison chaude qui s'étend de moins de janvier avec une variante des températures ($T_{\min} : 6^{\circ}$, $T_{\max} : 21^{\circ}$) jusqu'à la fin de mars ($T_{\min} : 15^{\circ}$, $T_{\max} : 33^{\circ}$) durant l'année 2014.

Saison chaude qui s'étale au début de moins d'avril jusqu'à la fin de moins de septembre avec des variantes des températures ($T_{\min} : 16^{\circ}$, $T_{\max} : 34^{\circ}$) janvier, à ($T_{\min} : 23^{\circ}$, $T_{\max} : 34^{\circ}$) septembre.

Ainsi que le pic de température arrive à 38° sous l'ombre entre juin et juillet durant l'année 2014.

III.2.3.2. le vent :

L'analyse de tableau de la vitesse de vent montre que la région de Tamanrasset subit des vents presque réguliers, d'une vitesse entre 3,9m/s et 4,3m/s dans les années (2005-2014) et fréquentes pour tous les mois et surtout dans la saison du printemps et l'été (Figure III.15).

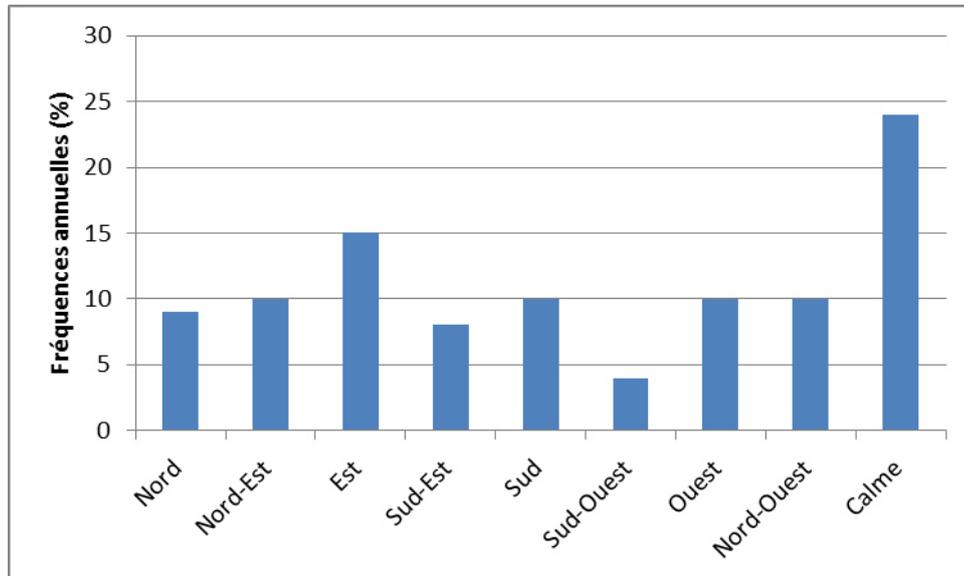


Figure III.15. Répartition fréquentielle des vents Tamanrasset

L'analyse de l'histogramme Répartition fréquentielle des vents Tamanrasset (Figure III.15) . On relève que les vents sont fréquents durant tous les directions. On remarque que le pic de fréquence du vent arrivée a 24% sur le vent calme et fréquent dans tous les autres directions qui variée entre 04% au minimum dans la direction sud-ouest, et 15% sur la direction Est C'est durant tous l'année qui montre la potentialité du vent dans les regions d'étude pour la notion de confort.

Le vent est un des éléments les plus caractéristiques du climat. Après l'analyse de figure Vitesse annuelle du vent à Tamanrasset (ONM, 2014), la vitesse du vent est toujours présenter et violents pour tous l'année (Figure III.16).

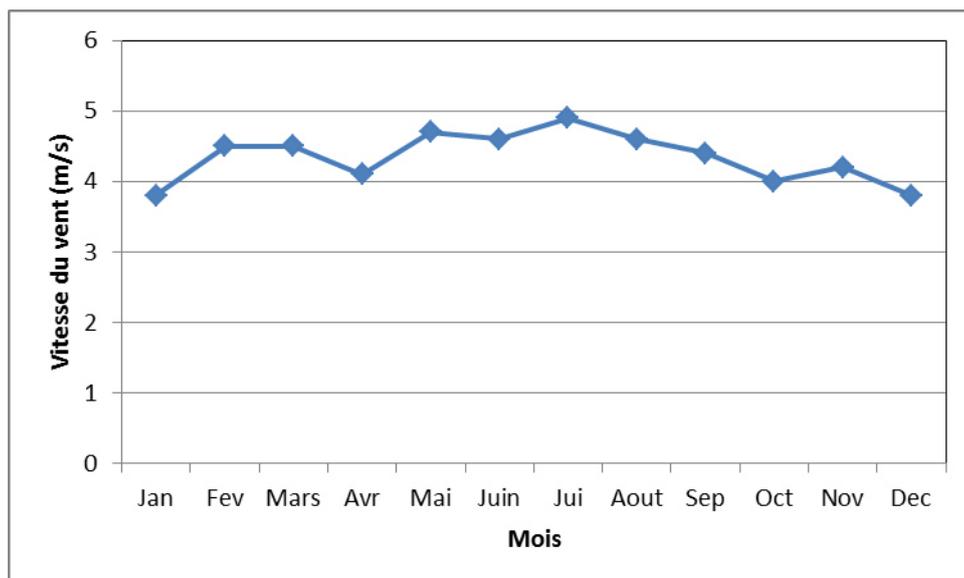


Figure III.16. Vitesse annuelle du vent à Tamanrasset (ONM, 2014)

Après l'analyse de figure du viresse du vents dans l'année 2014 ,On relève que la vitesse du vents sont particulièrement violents dans tous l'anné C'est durant la saison du printemps (Mars-Avril) ,et la saison d'été (juin,juilliet) ou la vitesse du vent arrive a 5m/s au mois de juin que se manifestent violemment les tempêtes de sable.

III.2.3.3.precipitation :

Les précipitations représentent le facteur le plus important du climat tant pour les habitants que pour les écosystèmes ; ce qui explique les résonances exceptionnelles que prennent les anomalies qui affectent ce paramètres.

L'analyse de tableau des variations mensuelles des précipitations, sur une période de 09 ans (2005-2014), montre que l'année 2005 est la plus arrosée avec des précipitations Mensuelles de l'ordre de 170,2 mm/an et que l'année 2012 est la plus sèche avec des précipitations Mensuelles de l'ordre de 18,2 mm/an (*Tableau III .11*).

Tableau III .11 : variations mensuelles des précipitations Tamanrasset (2005-2014).

année	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	mm
2005	4.1	17.1	33.5	0	0.3	68.2	0	3.6	11.3	32.1	0	0	170.2
2006	1.4	4	0	0	0	3.1	26.5	2.2	10.8	11.8	0	0	59.8
2007	0	0	0	2	2.2	0.5	11.3	23.8	1.3	0	0	7.6	48.7
2008	0	0	0	0	0.4	5.8	0.4	14.6	1.4	0.6	0	0	23.2
2009	1.8	0	0.4	0	0	1.8	5.6	10.7	13.6	0.4	0	0	34.3
2010	0	0	0	0	0	21.6	25.1	11.1	16.6	0.2	2.8	0	77.4
2011	0	0	0	0.6	2	2.6	21.9	12.4	0	46.5	0	0	86
2012	0	0	0	0	0	1.4	0.7	7.5	3.1	1.9	3.6	0	18.2
2013	0	0	0	0.2	3.9	0	0	11.7	13.1	0	0	0	28.9
2014	2	0	0	0	14.5	0	4.2	43.6	0.8	0	0	0	65.1

Source : Division de la Climatologie - DMRS - ONM - Tamanrasset

L'analyse de tableau des variations mensuelles des précipitations, sur une période de 09 ans (2005-2014), montre que l'année 2005 est la plus arrosée avec des précipitations Mensuelles de l'ordre de 170,2 mm/an et que l'année 2012 est la plus sèche avec des précipitations Mensuelles de l'ordre de 18,2 mm/an.

Après l'analyse de tableau de précipitation mensuelle, on a remarqué qu'elles sont très faibles et très irrégulières. Les précipitations sont presque nuls surtout dans les mois de (Janvier, Février, mars, novembre et décembre), et très irrégulières et plus au moins actifs dans les mois chauds (Mai, juin, juillet jusqu'au Octobre).

Ainsi, on remarque que Le mois de Aout et la plus pluvieuse est celle que les précipitations sont toujours présenter dans tous le mois variée entre 2,2mm a 43,6mm) et que le pic des précipitations sont ont un maximum a Octobre de, 46,5 mm, en 2011). L'irrégularité des pluies et leur soudaineté sont les caractéristiques du climat saharien.

III.2.3.4. humidite relative :

La moyenne annuelle de l'humidité dans la région de tamnrasset varriée entre 20% et 26% . Elle arrive à 26 %au maximum Dans l'année 2005 (*Tableau III .12*), l'humidité relative augmente dans les mois d'hiver (Janvier, Février) de 38% au maximum, et sous basse dans les mois d'été du 14% au mois de Juillet.

Tableau III .12 : Humide relative relevées à Tamanrasset dans les années 2005- 2014

Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc	Année	
2005	23	38	31	17	21	28	16	20	26	30	28	29	26
2006	29	26	13	14	16	16	21	21	28	29	28	23	22
2007	19	19	17	16	15	12	19	29	21	17	20	32	20
2008	32	18	14	13	16	16	17	23	21	23	22	19	20
2009	27	18	17	13	16	21	18	26	32	23	23	24	22
2010	16	25	16	17	16	24	26	32	31	29	28	19	23
2011	22	26	21	16	19	20	23	28	18	39	24	27	24
2012	24	22	21	18	15	20	21	31	30	25	31	30	24
2013	23	15	17	17	21	14	20	33	27	23	27	32	22
2014	30	25	19	15	28	18	19	33	25	24	27	21	24

Source : Division de la Climatologie - DMRS - ONM - Tamanrasset

Les moyennes mensuelles de l'humidité sont enregistrées durant la saison d'hiver une valeur maximale de 38% et une valeurs minimal de 16% dans les mois d'été.

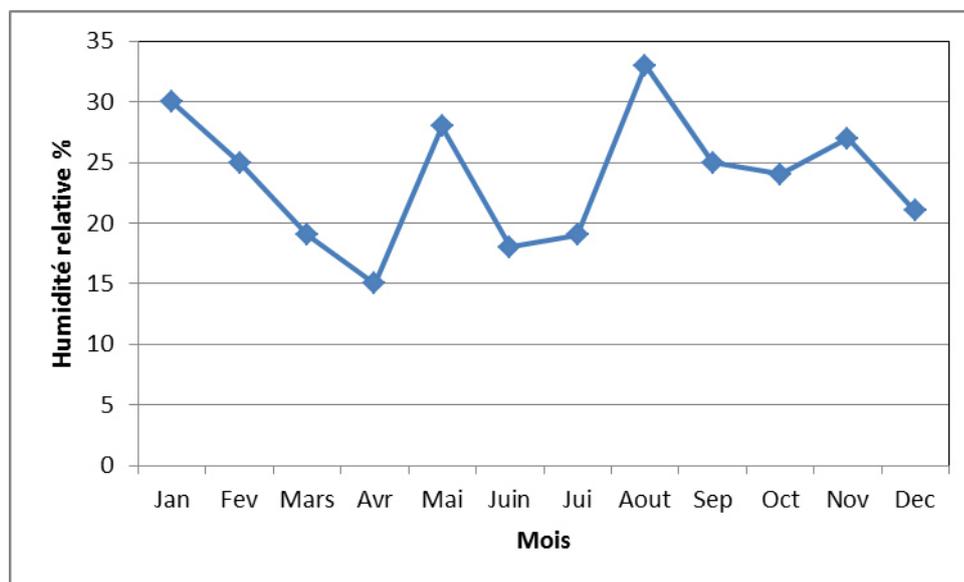


Figure III.17. Humidité relative à Tamanrasset (ONM, 2014)

Après L'analyse de *Figure III.17* d'Humidité relative à Tamanrasset (ONM, 2014), On a relève que la faible humidité relative de l'air dans les mi- saisons (Avril, MAI), engendre des amplitudes thermiques importantes de 15% en moyenne a Avril, et entre (17% Juin et 18% Juillet). Elle arrive à 33% au mois d'Aout et 30% au Janvier.

III.2.3.5.l'insolation :

Tableau III .13 : Durées totales de l'insolation relevées à Tamanrasset dans les années(2005- 2014).

année	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
2005	278.2	227.2	290.2	312.4	272.4	232.6	321.4	270.7	243.5	263.1	280.2	292.9
2006	273.1	245.6	333.8	315	301.3	245.1	306.1	242.2	210.3	259.9	308.2	289.2
2007	310.5	270.5	234.6	246	286.8	310.3	205.1	210.2	250.2	286.3	274.8	271.2
2008	313.7	268.8	321.5	290	254.6	203.8	268.2	286	253.3	265.5	304.2	271.7
2009	248.5	245.6	260.1	332.2	330.4	202	281.5	256	202	286.7	304.6	296.4
2010	327.2	301.1	321.4	256.3	265.7	272.1	281	264.6	238.9	247.5	264.4	310
2011	279.5	277.9	259.5	302.5	292.3	225.1	258.8	271.6	295.4	250.8	312.9	305.8
2012	302.8	243.1	284.7	260.7	289.5	241.6	297.6	245.9	238	303.5	287.2	276.9
2013	306.8	280.7	338.1	307.1	303.8	296.9	317	226.7	241.3	286.7	288	287.6
2014	278	280.6	299.4	322.7	236	238.9	305	217.9	263.3	314.6	272.6	295.2

Source : Division de la Climatologie - DMRS - ONM - Tamanrasset

D'après le tableau de Durées totales de l'insolation relevées à Tamanrasset est supérieure à 8 h/j pendant toute l'année. Ces valeurs montrent une augmentation de l'insolation de 8,45 h/j au mois de l'hiver et à 12,9 h/j au mois de juin. L'insolation est faible pendant les mois froids et augmente la valeur de l'insolation dans les mois d'été dans le qu'elle arrive à presque de 13h/j dans le mois de juin et Aout ,ce qui caractérise la zone de notre étude , donc la région est marquée par deux saisons très importantes : saison chaude et froide, ce qui donne une opportunité pour chercher le confort dans ces régions d'études.

III.3.CONCLUSION :

Dans ce chapitre nous avons présenté et traité les différentes caractéristiques climatiques des régions d'études.

D'après cette analyse il se révèle que le climat de ces régions est :

- Des types désertiques continental très dur, surtout en été, à cause du rayonnement solaire très intense, avec des températures très élevées. La latitude a pour effet que les hivers deviennent de plus en plus froids.
- Les températures air-sol diurnes très élevées.
- Un très faible taux d'humidité et des précipitations irrégulières et rares surtout en été.

La faiblesse de ces pluies ainsi que les fortes températures imprègnent un caractère hyper-aride au climat de ces régions.

- Des vents de sable, d'où un environnement poussiéreux, fréquents pendant les saisons printanières. Le sirocco a lieu généralement en été.

D'autre part dans ce chapitre nous avons écrit la notion de l'inconfort climatique dans la quelle on a besoin d'une étude bioclimatique pour définir les techniques de contrôles microclimatique et de conception architecturale capable de créer des conditions de confort.

Ainsi, les différents facteurs qui influent sur la notion de confort intérieur dans les bâtiments (rayonnement solaire, vent, orientation ... etc) pour mieux comprendre comment traiter notre conception architectural par rapport au ces conditions d'environnement immédiat pour l'amélioration du confort thermique du au usagers.

CHAPITRE 4 :

DESCRIPTION DU LOGICIEL DE SIMULATION

Tableau IV.1 Description de l'appartement étudié

<u>TYPE DE MAISON</u>	<u>Appartement</u>		
<u>ZONES ET ORIENTATION</u>	8 Zones : - Séchoir, Loggia, Sanitaire, Cuisine(Z5), Chambre2 (Z3) au Nord ; Séjour (Z1) et chambre 1 (Z2) au Sud ; couloir (Z7) au centre		
<u>OUVERTURES</u>	4 Fenêtres de dimensions 1.2X1m à l'extérieur (Z1, Z2, Z3, Séjour(Z1), Cuisine (Z5)) ; 2 Fenêtres de 0.9 X1M sur Loggia (Sanitaire)		
<u>LES ZONES COMPOSANTES</u>	<u>DIMENSIONS (M)</u>	Z2 : Chambre 1	3.25X2.62+2.06X1.54
		Z3 : Chambre 2	3.25X4.02
		Z1 : Séjour	4.02X5.16
		Z5 : Cuisine	2.62X3.04
		Loggia	(0.89+1.2)3.41+(1.25X1/2)
		Séchoir	1.97X3.44/2
		Sanitaire	3.41X 4.26
		Z7 : couloir	(6.79X1.45)+(1X2/2)
	<u>SURFACES (M²)</u>	:Chambre 1	11.68
		Z2 : Chambre 2	13.06
		Z1 :Séjour	20.74
		Z5 Cuisine	8.90
		Loggia	7.74
		Séchoir	3.38
		Sanitaire	14.52
		Z7 : couloir	10.84
	<u>VOLUMES (M³)</u>	Z2 : Chambre 1	32.70
		Z3 : Chambre 2	36.56
		Z1 : Séjour	58.07
		Z5 : Cuisine	24.92
		Loggia	21.67
Séchoir		9.46	
Sanitaire		40.56	
Z7 : couloir	30.35		
<u>MATERIAUX DE CONSTRUCTION</u>			
<u>PAROI</u>	<u>CONSTITUTION (DE L'INTERIEUR VERS L'EXTERIEUR)</u>	<u>EPAISSEUR</u>	
mur intérieur	Enduit intérieur	2 cm	
	Parpaing creux	10 cm	
	Enduit intérieur	2 cm	
Toiture	Enduit intérieur	2 cm	
	Hourdis	16 cm	
	Béton armé	4 cm	
	Etanchéité	1 cm	
	Sable	2 cm	
	Mortier ciment	2 cm	
Plancher bas	Carrelage	3cm	
	Mortier ciment	2 cm	
	Sable	2 cm	
	Béton armé	4 cm	
	Hourdis	16 cm	
	Enduit intérieur	2 cm	

IV.3 Présentation des logiciels de simulation

Afin d'effectuer notre étude, notre choix s'est porté sur le logiciel TRNSYS pour l'étude du comportement thermique, couplé au logiciel COMIS pour compléter l'étude aérodynamique.

TRNSYS est un logiciel dédié à la simulation dynamique des systèmes, développé par le laboratoire d'énergie solaire (SEL) de l'Université de Madison aux Etats-Unis. Il permet de faire des simulations dynamiques du comportement thermique d'un bâtiment mono ou multi zones. Il permet également de suivre heure par heure les consommations (chauffage, climatisation) ou les productions (panneaux solaires) énergétiques annuelles des équipements d'un bâtiment. Ces simulations peuvent être réalisées en fonction de l'emplacement, des matériaux de construction utilisés, de l'architecture, du concept énergétique choisi entre autre. A travers son interface graphique, l'utilisation du logiciel TRNSYS est simple. La force de TRNSYS réside dans la bibliothèque du logiciel où quelques 50 familles de composants sont disponibles, ces derniers représentant le bâtiment (mono ou multi zones), les équipements (chauffage, climatisation, ...), les données météorologiques, les régulateurs, ... il suffit de choisir les bons composants et de les relier entre eux pour réaliser une simulation permettant de modéliser l'environnement complet d'un bâtiment. Si l'utilisateur ne trouve pas de composant adéquat dans la bibliothèque, il peut également y ajouter ses propres composants [Safer, 2006] [Flory-Celini, 2008]. Le dialogue entre le noyau de calcul et les modèles se fait depuis la version 16 par l'intermédiaire de DLL, ce qui évite à l'utilisateur de compiler les modèles avant de pouvoir les utiliser et permet une intégration aisée de nouveaux composants.

TRNBuild est une interface de TRNSYS pour la description de bâtiment de l'enveloppe, de volume habitable, des composants des parois, l'orientation, des ouvertures, de la ventilation, des gains, du conditionnement d'air,...etc. TRNBuild permet de saisir ces informations et de générer les fichiers d'entrées nécessaires pour une simulation sous TRNSYS (voir fig. IV.2)

La bibliothèque de TRNSYS (qui était notre choix pour l'étude thermique), offre deux types qui permettent de faire le calcul aérodynamique en utilisant les modèles du logiciel CONTAM (type97) et COMIS (Type 157). Ces deux types utilisent en entrée les données climatiques et les températures d'air des différentes zones fournies par le type56 et déterminent les différents débits nécessaires pour le type 56 à chaque pas de temps. Nous avons choisis d'utiliser le modèle aérodynamique de COMIS. Le couplage de COMIS avec le code TRNSYS a permis d'obtenir un code thermo-aérodynamique assez robuste pour la prise en compte à la fois des transferts aérodynamiques et de polluants dans le bâtiment et l'évaluation plus complète des dépenses énergétiques.

Une tentative de coupler COMIS et TRNSYS a donné naissance à l'outil TRNFLOW, Ce modèle possède comme cœur de calcul COMIS [Weber, 2002]. L'idée de coupler un tel outil avec un outil de prédiction des écoulements au sein des bâtiments permettait de bénéficier de l'ensemble des développements capitalisés depuis plus de deux décennies. Cependant, les deux outils ayant été développés indépendamment, TRNFLOW demeure d'une utilisation complexe.

est logiciel de simulation aérodynamique multizone développé au Lawrence Berkeley National Laboratory (USA) en 1989, par des spécialistes venant de la Chine, la France, l'Italie, le Japon, Les Pays-Bas, l'Espagne, la Suède, la Suisse et les USA[Furbringer, 1996]. Il a été développé pour la prédiction des écoulements et du transport d'espèces polluantes dans les bâtiments. Il permet notamment de traiter des systèmes complexes, tels que l'on trouve dans les bâtiments

modernes. COMIS simule les flux d'air dans un bâtiment multizones permettant ainsi de mieux appréhender les problèmes physiques.

COMIS permet de calculer les débits d'air pour des systèmes de ventilation, chauffage aéraulique et climatisation. Les données calculer avec COMIS peuvent être utilisées pour traiter des problèmes de qualité de l'air, de dimensionnement des systèmes de chauffage, ventilation et refroidissement, le transport des polluants, le calcul de tels systèmes, leur consommation d'énergie, etc.

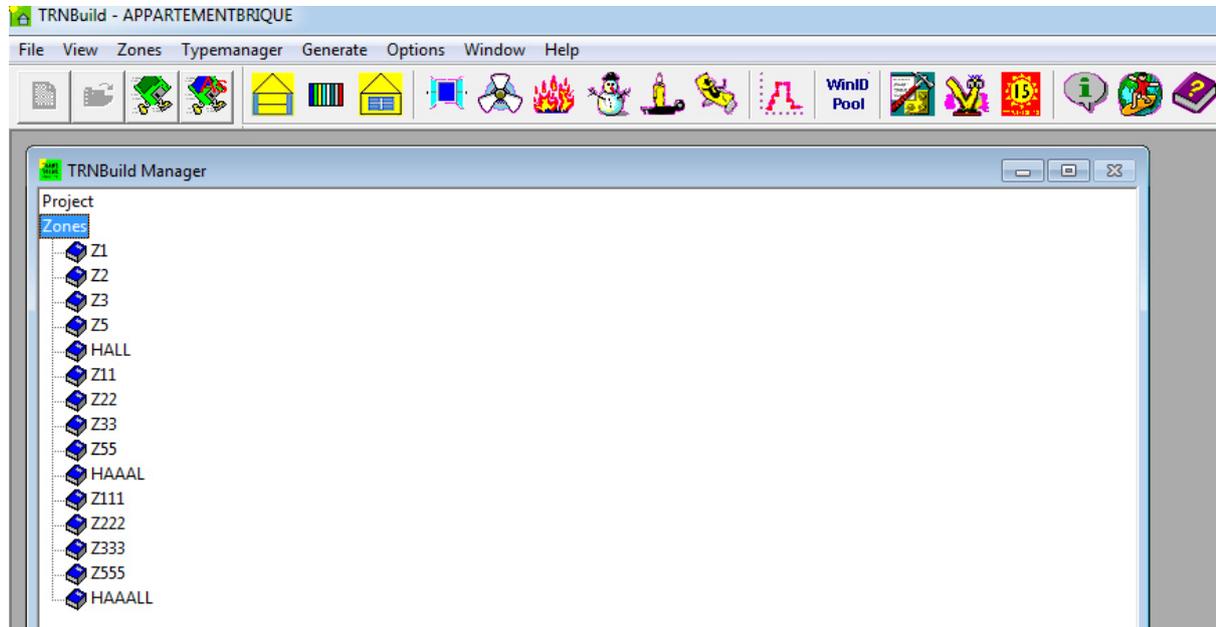


Figure IV.2 L'immeuble d'étude dans TRNbuild

IV.4 Composition de l'enveloppe

Les couches d'une paroi étant définies de l'extérieur vers l'intérieur de la zone. Dans TRNBuild, ce qui diffère les murs intérieur et extérieur est le calcul des coefficients convectifs.

Les propriétés thermo-physiques des matériaux varient suivant la composition précise du matériau, son mode de traitement, la température du milieu etc. c'est ainsi qu'on trouve des valeurs légèrement différentes d'une références à l'autre [Fezzioui , 2008].

Les différentes couches constituant les parois sont données dans le tableau IV.1.

Les caractéristiques thermo-physiques des matériaux utilisées sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau IV.2 Caractéristiques thermo-physiques des parois et des matériaux utilisés [DTR C3-2, 1998], [Ben Habib & al ; 1994], [Ould-henia, 2003], [Hita & al, 2010], [Roulet, 2010]

Matériaux	ρ la densité (kg/m ³)	Cp capacité (kJ/kg.K)	λ conductivité (W/mK)
Enduit extérieur	1700	1.00	1.153
Hourdis	1200	0.888	0.67
Carrelage	2300	0.777	1.3
Sable	1900	0.990	0.625
Etanchéité	1200	2.100	0.2
Béton armé	2150	0.888	1.8
Mortier de ciment	2200	1.08	1.4
Mortier de chaux	1800	1.08	0.87
Brique	936	1.692	0.49
Faux plafond de carreaux en plâtre	900	0.936	0.35
Polystyrène	25	1380	0.0391

IV.5 Les scénarios d'utilisation du bâtiment

Des scénarios décrivent l'utilisation du bâtiment, issus du métabolisme des occupants ou du fonctionnement des appareils domestiques qui doivent être comptabilisés car ils peuvent fortement contribuer au chauffage du bâtiment en hiver ou à sa surchauffe en été ; avec une distinction entre les jours de semaine et de week-end pour l'occupation des habitants ainsi que pour l'utilisation des appareils électriques. Aucune distinction n'a été réalisée pour les périodes de vacances.

IV.5.1 Scénario d'occupation

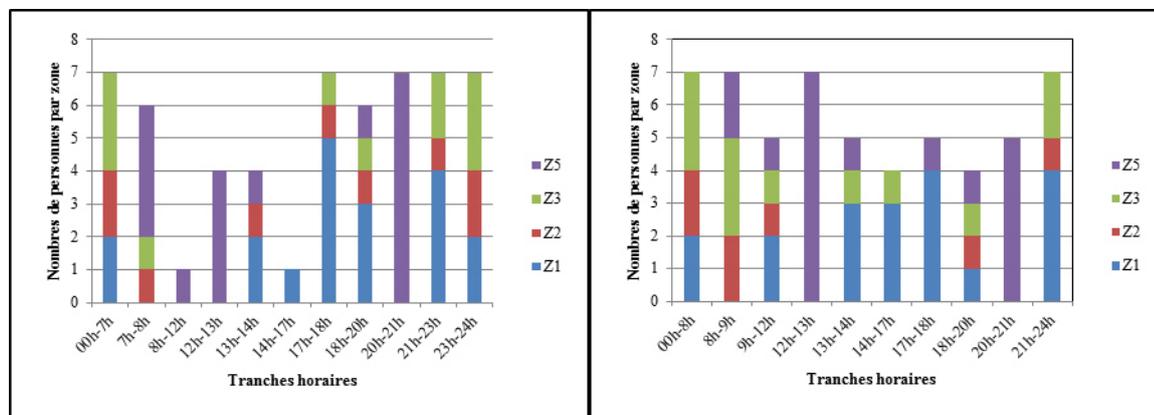


Figure IV.3 Scénarii d'occupation des différentes zones de l'appartement (gauche profil d'occupation semaine, droit profil d'occupation week-end)

IV.5.2 Apports internes des appareils électroménagers, éclairage

Tableau IV.3 Puissances dégagées par les appareils électroménagers

Appareil	Zone	Temps d'utilisation		Puissance w
Réfrigérateur	Z5 (Cuisine)	24/24		100
TV	Z1, Z3	En hiver : Z1 : en occupation Z3 : 18h à 23h	En été: Z1 : en occupation Z3 : 9h à 12h & 18h à 24h	150
Ordinateur	Z2, Z3	Z2 : 13h à 14h & 18h à 23h Z3 : 17h à 23h	Z2 : 10h à 12h & 14h à 17h & 21h à 24h Z3 : 9h à 12h & 18h à 24h	100
Appareils cuisson	Z5 (cuisine)	En occupation		550

Pour l'éclairage, nous avons supposé l'utilisation d'ampoule électrique entre 17h et 23h les jours de semaine et de 17h à 24h les week end. La puissance de chaque ampoule étant de 100W.

IV.5.3 Choix des coefficients

La simulation à l'aide des logiciel TRNSYS couplé à COMIS, nécessite le calcul et l'introduction de plusieurs coefficients. Dans les tableaux ci-dessous, nous résumons les coefficients qu'on a retenus dans notre étude.

Tableau IV.4 coefficient d'échange convectif retenu sous TRNSYS

Type de paroi	Extérieur	Intérieur
Parois verticales	18 W/m ² .K	3 W/m ² .K
Parois horizontales : Flux ascendant (plafond)	18 W/m ² .K	3 W/m ² .K
Parois horizontales : Flux descendant (plancher bas sur terre plein)	276 /m ² .K [Flory-Celini, 2008]	3 W/m ² .K

Tableau IV.5 Coefficients de transmission de la fenêtre

	U
Coefficient U_f du cadre	1,8 W/m ² K
Coefficient U_g du vitrage	5.748 W/m ² K
Pourcentage de vitrage	70%
Coefficient U_w de la fenêtre	4.77 W/m²K

Tableau IV.6 Coefficients de transmission thermique de cadres des fenêtres [Roulet, 2010]

	Coefficients de transmission thermique de cadres W/m ² °K	
	Tendre	Dur
Profilés en bois		
Epaisseur Epaisseur		
56mm	1.9	2.2
68mm	1.6	2.0
78mm	1.5	1.8
92mm	1.3	1.6
Profilés en PVC	non renforcés	Renforcés
	2.7	4.2
Profilés métalliques anciens	6.1	
do, pont thermique interrompu	3,0 à 3,5	

Tableau IV.7 Expressions des Cd pour les portes internes

$H_{rel}=H/H_{room}$	$0.2 \leq H_{rel} \leq 0.9$	$H_{rel} < 0.2$	$0.9 < H_{rel}$
Cd	$Cd = 0.609 * H_{rel} - 0.066$	$Cd = 0.0558$	$Cd = 0.4821$

Tableau IV.8 Expressions des Cd pour ouvertures extérieures

$C_w = 0.08 * 5 \left(\frac{Gr}{R_g^2} \right)^{-0.38}$	$0.6 \leq C_w \leq 1.5$	$C_w < 0.6$	$1.5 < C_w$
Cd	$Cd = C_w$	$Cd = 0.6$	$Cd = 1.5$

Tableau IV.9 Caractéristiques physiques des fissures [Orme & al, 2002]

Fissures	Coefficient de perméabilité de l'air Cs (kg/s.m.Pa ⁿ)	Exposant de l'écoulement d'air
Murs	$4.608 * 10^{-4}$ (surface 24m ²)	0.86
Plafonds	$4.032 * 10^{-4}$ (surface 21m ²)	0.81
Fenêtres	$2.7 * 10^{-5}$ (surface 1.2m ²)	0.6
Portes	$1.33 * 10^{-4}$ (surface 2m ²)	0.6

Les coefficients de pression dépendent de la direction du vent, de la forme du bâtiment mais aussi des caractéristiques du site où ce dernier est implanté. Une évaluation précise de ce paramètre s'avère être un des points les plus délicats de la modélisation des mouvements d'air dans les bâtiments. Notre choix s'est porté sur le code „CP GENERATOR“ afin d'effectuer le calcul des valeurs Cp pour les façades de l'appartement.

On a pris la rugosité du terrain égale à 3 (cas des rues plus étroites) [FEZZIOUI, 2014].

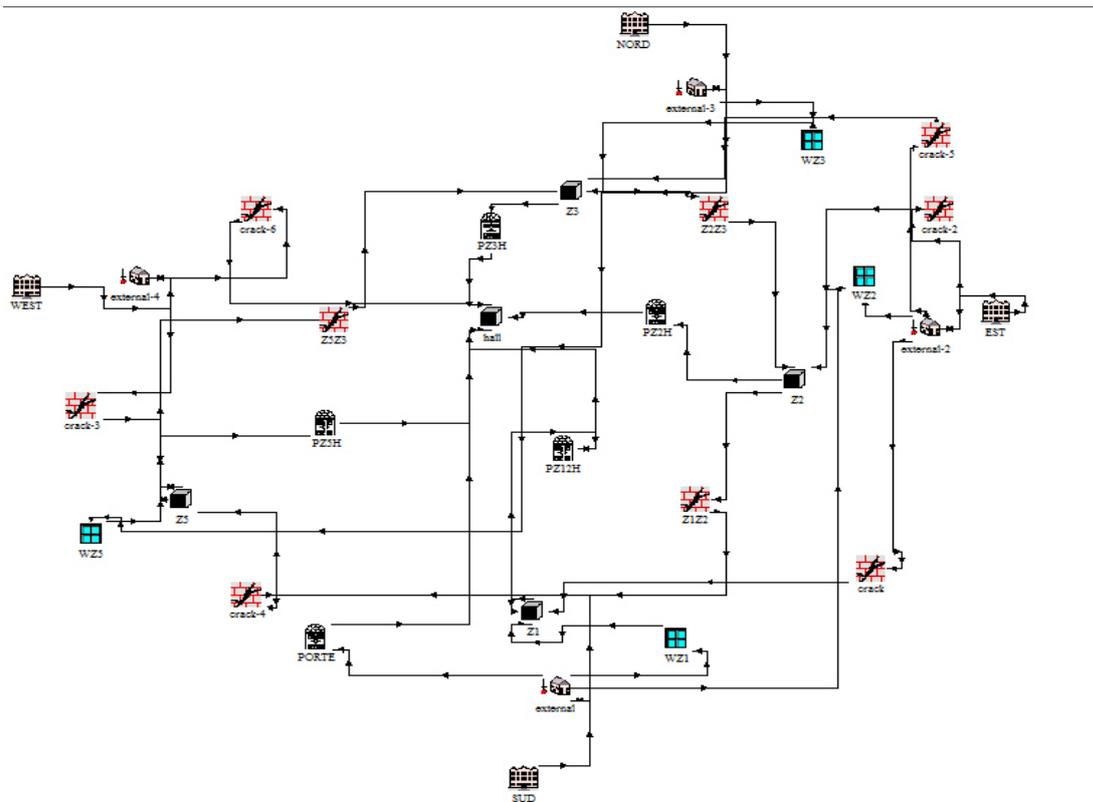


Figure IV.4 Simulation de l'appartement d'étude dans COMIS

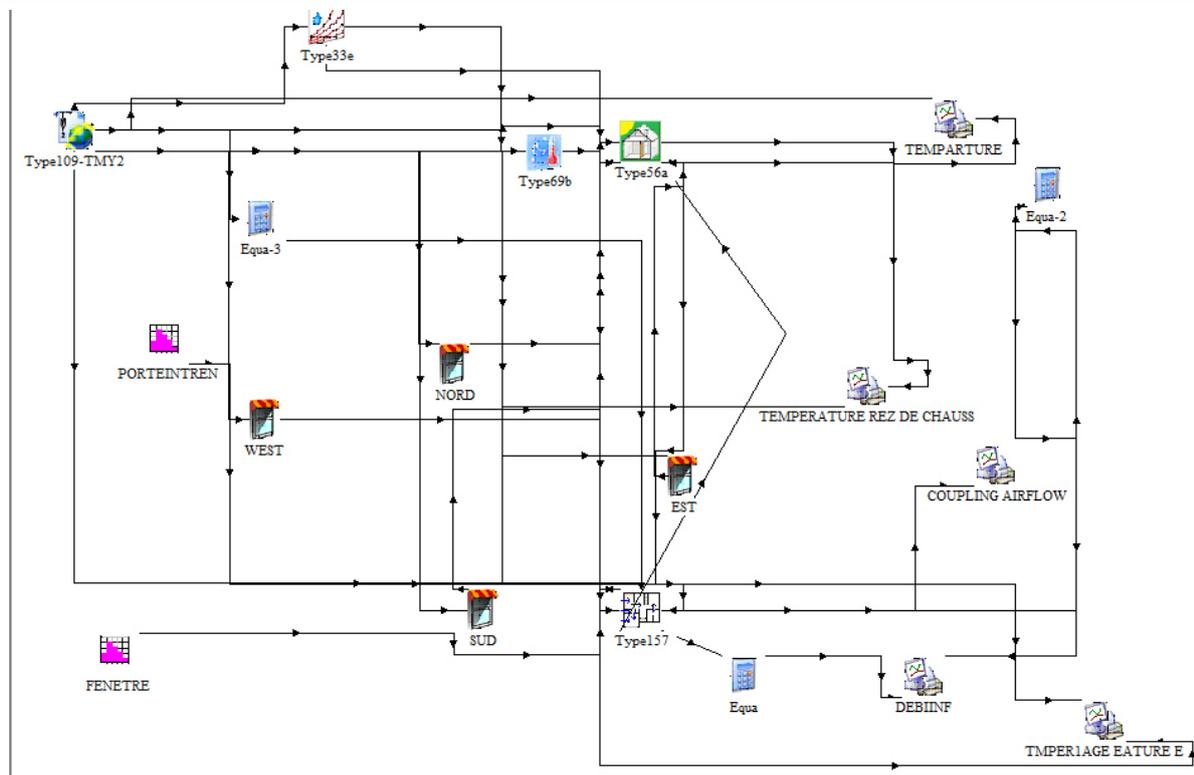


Figure IV.5 Simulation de l'appartement d'étude dans TRNSYS

IV.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous présentons l'appartement choisi pour nos simulations, ainsi qu'une brève présentation des logiciels de la simulation.

Les différentes variantes envisagées par notre étude seront aussi présentées avec leurs coefficients thermo physiques dans le chapitre suivant, avec une analyse et discussion.

L'exercice de l'application du logiciel TRNSYS dans notre cas d'études va dus l'objectif des perspectives tracées, ou l'introduction des différentes paramètres d'études s'avoir très simple à introduire pour les biais des codes disponible.

CHAPITRE 5 :

Résultats et discussion

V.1 Introduction :

Dans la présente partie de notre travail, nous tentons d'examiner, à travers des simulations numériques à l'aide du Logiciel thermique dynamique TRNSYS couplé au logiciel aéraulique COMIS, le comportement thermo-aéraulique d'un bâtiment type appartement, dans le contexte climatique de trois villes sahariennes, à savoir Adrar, Bechar et Tamanrasset.

Notre objectif est de limiter l'inconfort et éviter ou minimiser le recours à la climatisation en mi saison dans ces régions à climat aride, par le recours à l'ouverture des baies comme moyen de rafraîchissement passif.

Pour quantifier cette analyse, nous se servons des heures chaudes et des heures froides ainsi que les températures horaires maximales (T_{max}) et minimales (T_{min}) comme des indicateurs de confort thermique.

Les heures chaudes et les heures froides adoptées dans cette étude correspondent aux nombres d'heures pendant lesquelles on se trouve hors la catégorie de confort (III) ; une limites de confort satisfaisant 85% des occupants selon EN 15251 (Figure II.19 Chapitre2). Nous avons choisi cette catégorie III, la limite acceptable selon EN 15251, parce qu'elles nous semblent correspondre aux attentes de la population locale [Fezzioui, 2014].

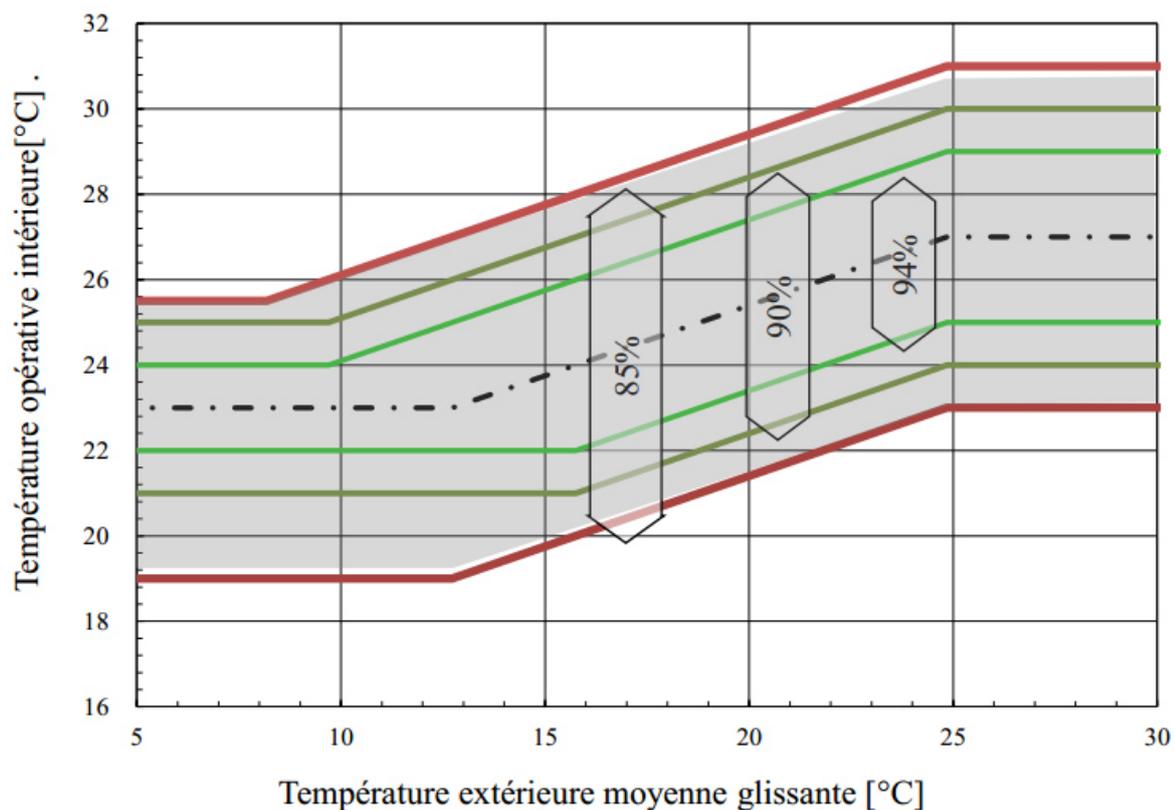


Figure V.1 Température opérative intérieure admissible dans un local non conditionné. Les chiffres dans les flèches indiquent le pourcentage probable de personnes satisfaites de la température.

Nous avons aussi retenu les valeurs des T_{max} et T_{min} pour montrer les limites maximale et minimale de température intérieure qui peuvent être atteintes en cas de non conditionnement. Deux bâtiments peuvent présenter le même pourcentage de confort mais avec des températures horaires maximales différentes.

Nous allons tester l'effet de trois variantes sur le potentiel de la ventilation naturelle et ainsi sur le confort thermique du bâtiment en jeu:

- L'effet des scénarios d'ouvertures des baies (fenêtres) par l'occupant,
- L'effet de l'orientation du bâtiment,
- L'effet de la constitution de l'enveloppe du bâtiment.

V.2 L'effet des scénarios d'ouvertures des fenêtres par l'occupant :

Nous avons effectué plusieurs scénarii d'ouvertures des fenêtres et portes. Nous allons retenir seulement ceux qui ont donné des résultats assez importants à notre avis.

Le tableau V.1 décrit les quatre horaires de ventilation naturelle qu'on a retenue pour cette situation.

Cas	Fenêtre		Portes	
	Ouvertes	Fermées	Ouvertes	Fermées
A1	23h- 07 à moitié 07-12 17-23	12- 17	23h -07h à 50% 07h-23h à 100%	
A2	23h- 07 07-12 17-23	12- 17	23h -07h à 50% 07h-23h à 100%	
A3	23h- 07 à 10% 07-12 17-23	12- 17	23h -07h à 50% 07h-23h à 100%	
A4	07-12 17-23	23- 07 12- 17	23h -07h à 50% 07h-23h à 100%	

Tableau V.1 Scénarii d'ouvertures des ouvertures de l'appartement étudié

Dans notre travail, nous avons voulu tester le comportement de quelques types d'enveloppes constituant des choix réalistes et possible du contexte des régions d'étude. Notre choix s'est porté sur quatre enveloppes qu'on a nommées : M1, M2, M3 et M4, tableau IV.2.

L'enveloppe M1 dont la paroi extérieure en double couche de brique rouge, et avec une lame d'air d'épaisseur 3cm. nous avons gardé même constitution des planchers haut et bas mentionnés dans le tableau III.

La paroi extérieure de l'enveloppe M2 est la même que celle du M1, on a fait introduire un faux plafond en carreaux de plâtre à la toiture, avec une lame d'air d'une épaisseur de 20cm.

Ce même plafond on l'a retenu pour l'enveloppe M3, où on a ajouté une couche d'isolant, polystyrène expansé, de 3 cm dans la paroi extérieure.

L'enveloppe M4 est composée de même mur extérieur que M3, on a fait introduire une couche de polystyrène (isolant) de 5 cm au plafond.

Tableau V.2 Caractéristiques des enveloppes retenues par notre étude [DTR C3-2, 1998]

Paroi	Constitution (de l'intérieur vers l'extérieur)	Epaisseur cm	U (w/m*2k)
M1	Enduit intérieur	0.03	0.788
	Brique rouge	0.10	
	Lame d'air	0.03	
	Brique rouge	0.15	
	Enduit extérieur	0.03	
M2	Mur extérieur		0,788
	Enduit intérieur	0.03	
	Brique rouge	0.10	
	Lame d'air	0.03	
	Brique rouge	0.15	
	Enduit extérieur	0.03	
	Toiture		0.269
	Carreaux en plâtre	0.02	
	Lame d'air	0.20	
	Hourdis	0.16	
Béton armé	0.06		
M3	Mur extérieur		0,651
	Enduit intérieur	0.03	
	Brique rouge	0.10	
	Polystyrène expansé	0.03	
	Enduit extérieur	0.03	
	Toiture	3	0.272
	Carreaux en plâtre	10	
	Lame d'air	3	
	Hourdis	15	
	Béton armé	3	
M4	Mur extérieur		0,489
	Enduit intérieur	0.03	
	Brique rouge	0.10	
	Polystyrène expansé	0.03	
	Brique rouge	0.15	
	Enduit extérieur	0.03	
	Toiture		0,596
	Enduit intérieur	0.03	
	Polystyrène expansé	0.05	
	Hourdis	0.16	
Béton armé	0.06		

L'orientation des bâtiments a un effet très important sur le confort thermique dans ces édifices. Cela était prouvé par plusieurs travaux qui ont été effectués et ont montré bien que pour un climat chaud et sec l'orientation est-ouest (façade principale Sud, voire Nord) est préférable pour bien contrôler les gains solaires (les prendre en hiver et les rejeter en été) [Fezzioui, 2014]. Toutefois, la situation des lots de terrains pour implanter nos bâtiments, ne nous aide pas, toujours, à faire ce bon choix d'orientations.

Dans notre travail, nous avons tenté d'examiner l'effet des quatre orientations principales sur le comportement thermique et sur la contribution de la ventilation naturelle dans notre bâtiment.

V.2.1 Les différentes orientation du bâtiment a étudié :

Nous avons supposé que le coté de la zone Z1 est le côté principale de notre bâtiments, et sur ce choix nous avons effectué la variation de l'orientation.



Figure V.2 O1 : Orientation vers le sud



Figure V.3 O2 : Orientation vers le nord

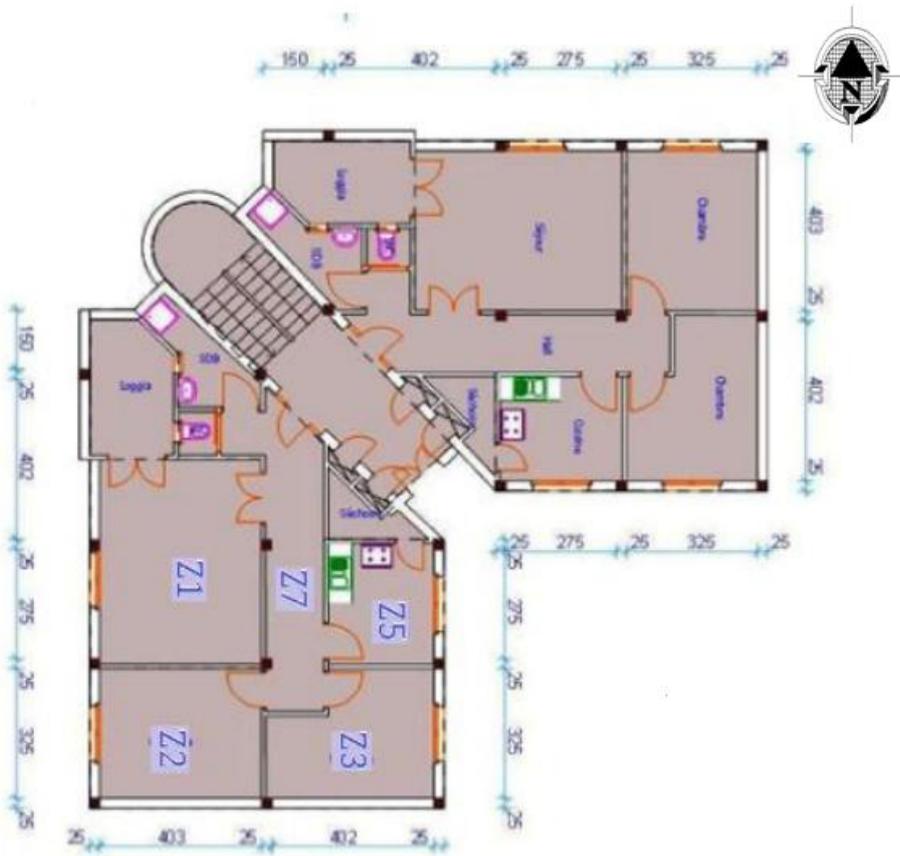


Figure V.4 O3 : Orientation vers l'Ouest

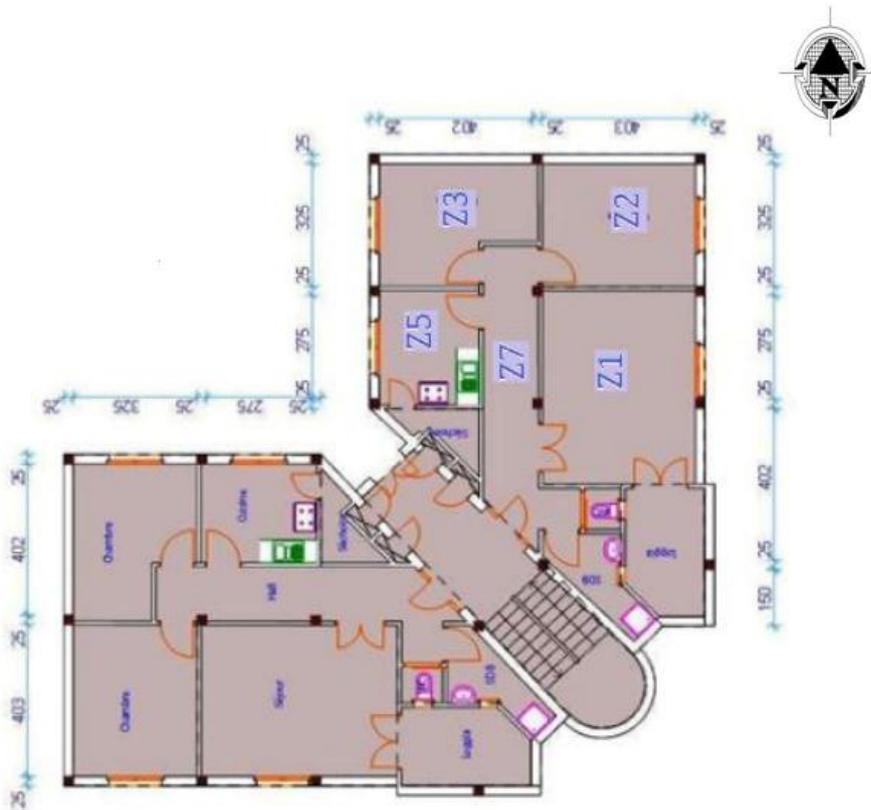


Figure V.5 O4 : Orientation vers l'est

V.3 Résultats et discussion

Les simulations ont été menées pour les trois villes sélectionnées par cette étude. Les figures de V.6 à V.10 donnent un zoom sur l'évolution de la température dans les différentes zones de l'appartement pour la ville d'Adrar en période de mi saison et ce pendant deux jours: V.6 moi Avril, V.7 moi Mai ; V.8 moi Juin, V.9 début septembre, et V.10 moi octobre. Idem pour la ville de Béchar, dans les figures du V.11 à la figure V.15 ; et pour la ville de Tamanrasset de V.16 à la figure V.20

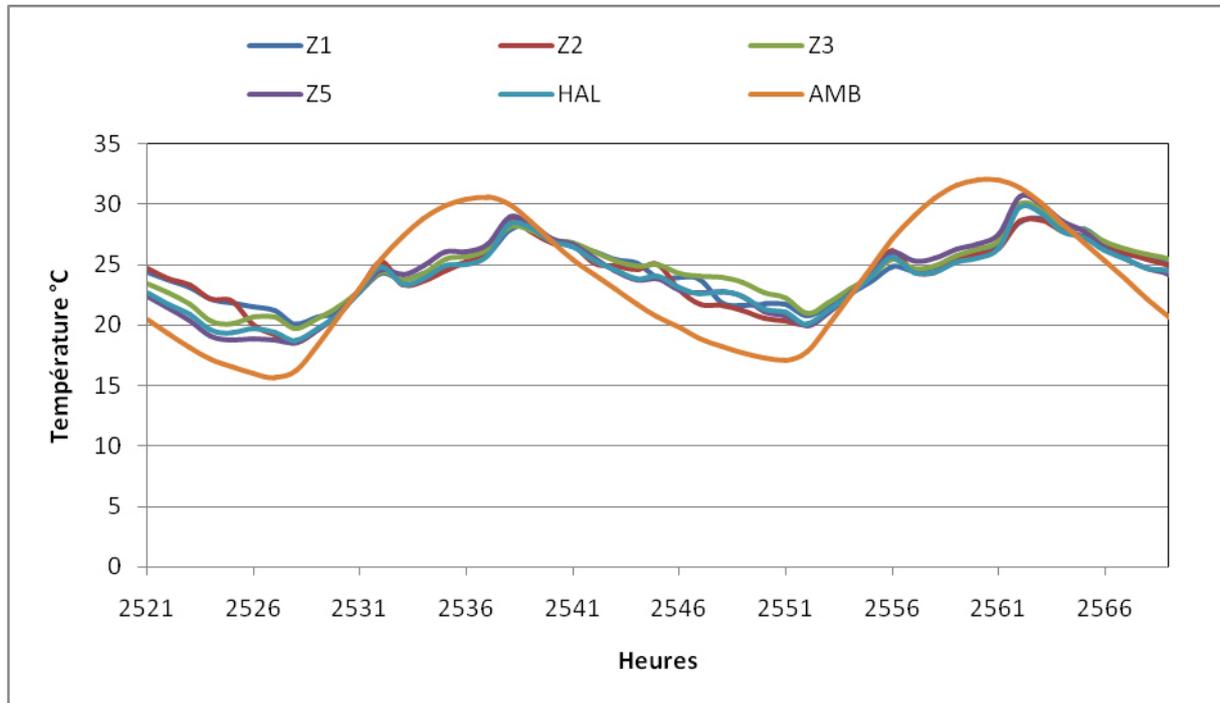


Figure V.6 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 15 au 16 Avril, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville d'Adrar

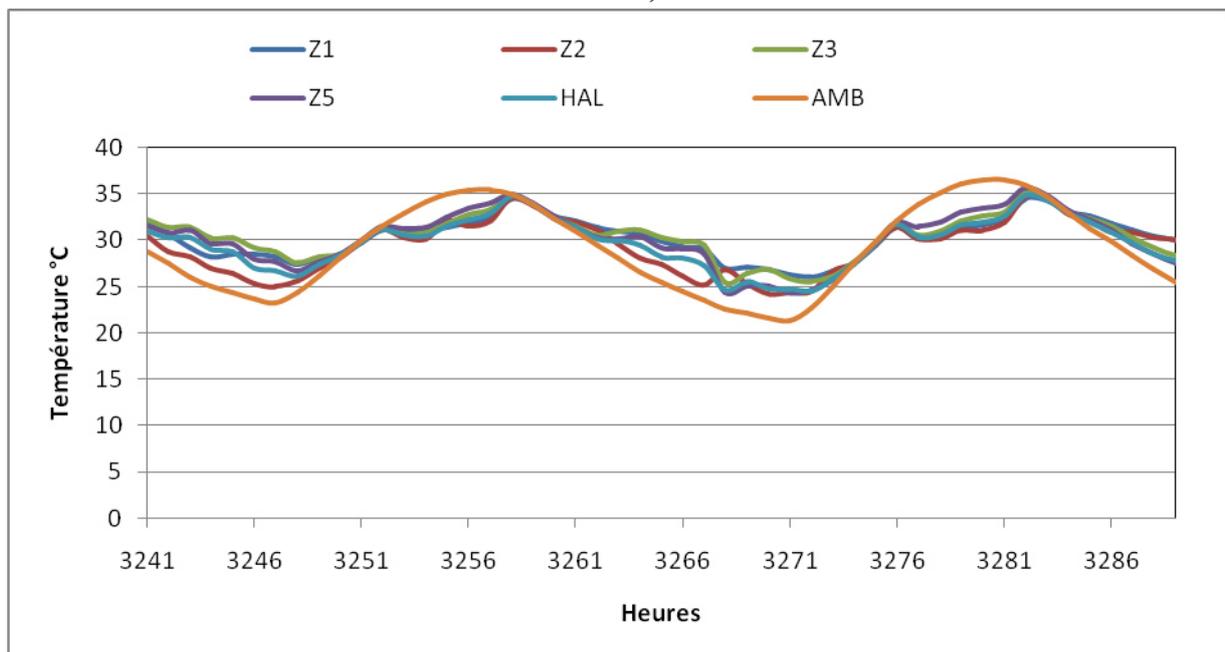


Figure V.7 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 15 au 16 Mai, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville d'Adrar

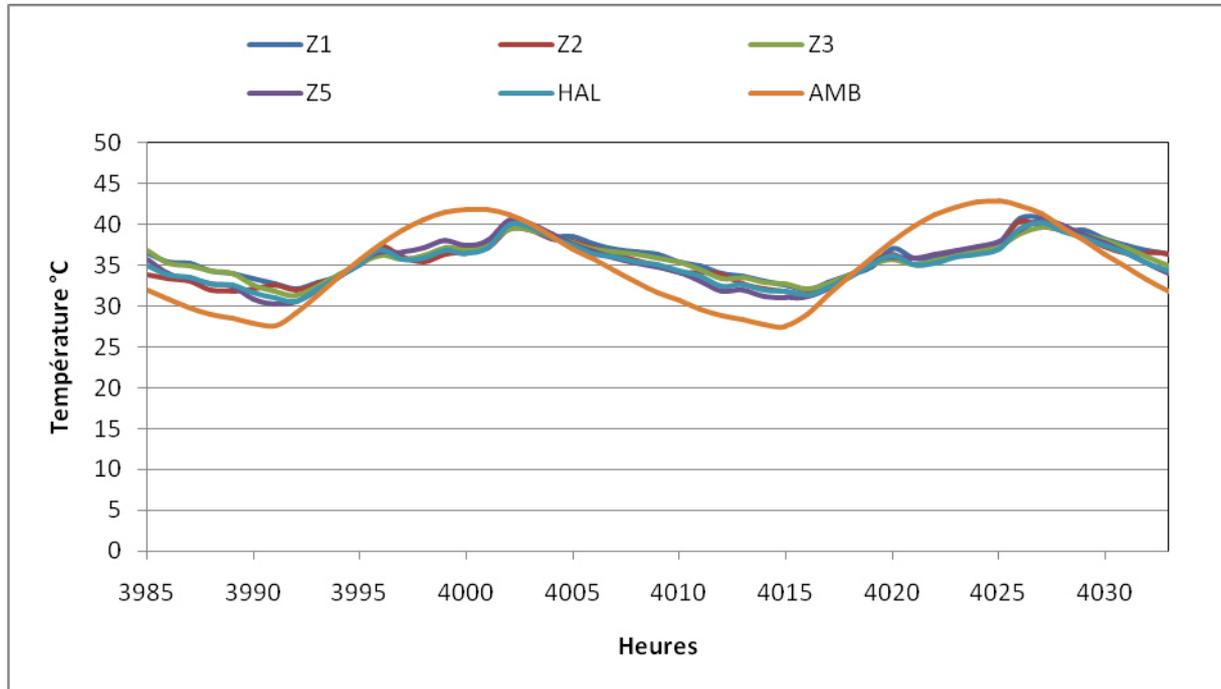


Figure V.8 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 15 au 16 Juin, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville d'Adrar

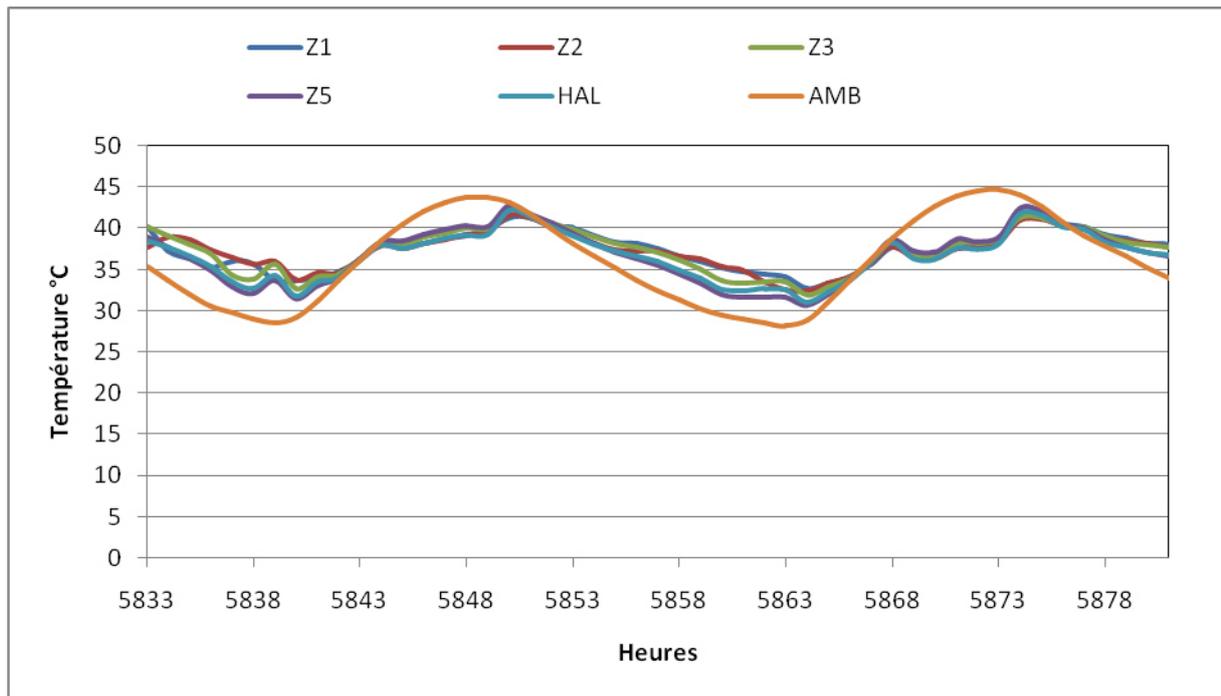


Figure V.9 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 1 au 2 Septembre, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville d'Adrar

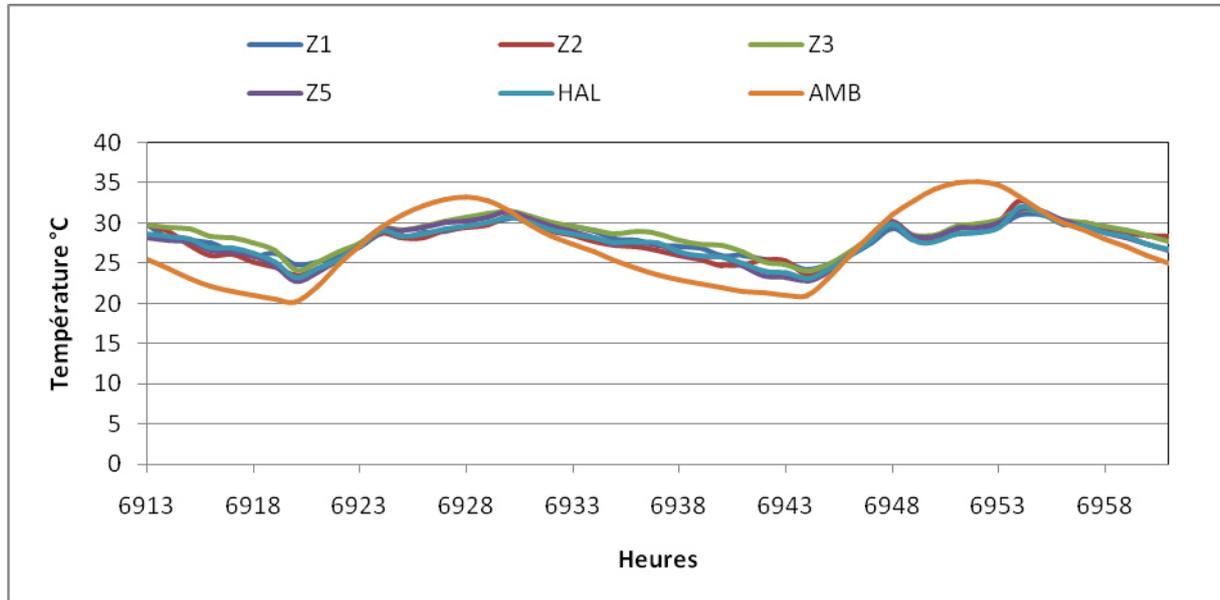


Figure V.10 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 15 au 16 Octobre, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville d'Adrar

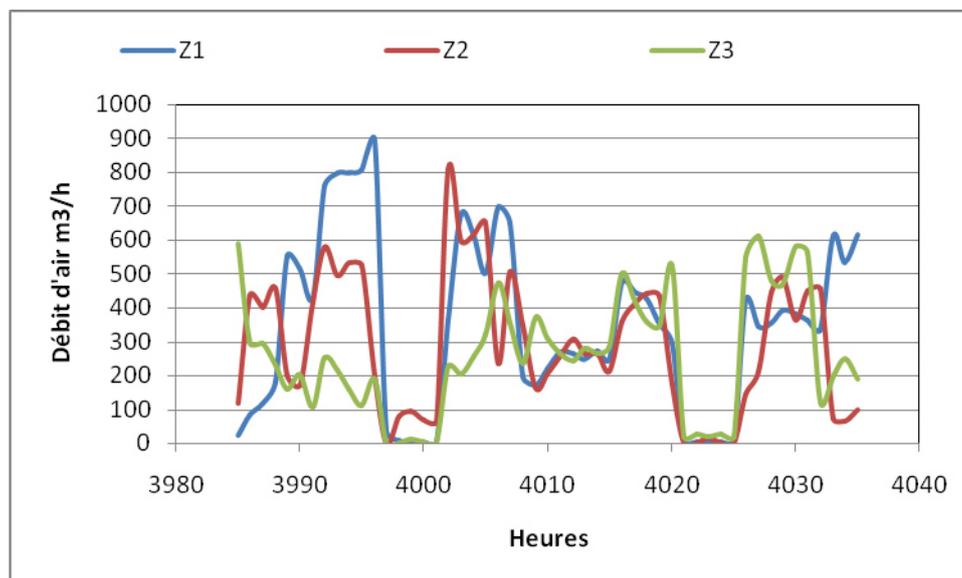


Figure V.11 Débit d'air extérieur dans l'appartement de deuxième étage dans la ville de Béchar du 15 au 16 Juin, scénario d'ouverture A1

Nous présentons sur la figure V.11, à titre d'exemple, le débit d'air entrant volontaire (par ouverture des fenêtres) ou involontaires (par infiltration) dans l'appartement du deuxième étage pour la ville de Béchar. Cette figure illustre une large fluctuation de ce débit d'air. Même en temps de fermeture des fenêtres, le débit d'air présente des valeurs correspondant au flux d'air parasite qui s'infiltrant au travers de l'enveloppe par les joints entre le cadre des portes et fenêtres et par les fissures sous l'action de la pression du vent. Ce débit d'air dépend fortement de la vitesse et la direction du vent, ainsi que la température entre l'intérieure et l'extérieure de chaque bâtiment [Fezzioui, 2014].

Nous rappelons que nous avons utilisé les données météorologiques issues de la base de données météo norme.

Nous pouvons bien remarquer l'influence de l'orientation des chambres sur la température intérieure. Sur la figure V.6, nous remarquons un écart de 5°C pendant la période de l'après-midi correspondant à la fermeture des fenêtres en ce temps de la journée. Les soirs, cette température et avec l'ouverture des fenêtres, peut descendre au-dessous de 20°C ce qui entraîne des heures d'inconfort froid.

En mai, la température extérieure augmente, et dépasse, pendant quelques jours, les 35°C. Nous remarquons sur la figure V.6 la fermeture des fenêtres en période de l'après-midi a donné des températures opératives qui avoisinent les 30°C en début de l'après-midi, mais qui vont augmenter à la fin de l'après-midi, pour atteindre les 35°C. Les soirs l'ouverture des fenêtres contribue parfaitement dans le rafraîchissement du bâtiment. Nous avons observé des températures nocturnes en ce mois qui ne descendent pas en dessous de 20°C.

La température extérieure sur la figure V.8 pour le mois de Juin, est élevée pendant la journée, et descend en dessous de 35°C avec les bonnes heures du bon matin (à partir du 3h du matin). La fermeture des fenêtres l'après-midi, ne remédie pas au problème du confort. Nous remarquons bien sur cette figure que la température diurne est en dessous de 30°C. L'écart de température entre les différentes zones, pour cette période, est réduit. Nous remarquons bien que les allures des températures pendant cette période évoluent de la même manière et sont très proches de valeurs.

Sur la figure V.9, pour le début du mois de Septembre, la température extérieure est encore très élevée. La fermeture des fenêtres l'après-midi chaude a entraîné des températures élevées supérieures à 35°C, tandis que les nuits ces courbes de températures ont présenté un certain décalage entre elles, influencé par le courant d'air qui entre par ouverture des fenêtres en cette période du jour. Ces températures nocturnes élevées sont, dans la plus part du mois de septembre, supérieures à 30°C cela montre l'incapacité de la ventilation naturelle seul à surmonter le problème de surchauffe pendant ce mois.

En mi-octobre, comme illustré sur la figure V.10, la température extérieure commence à descendre, elle peut atteindre les 40°C dans certains jours du mois d'octobre ; et peut descendre les nuits en dessous de 20°C fin du mois.

Le zoning sur deux jours en mi-octobre sur cette dernière figure, nous permet de dire que la ventilation naturelle nocturne est efficace en ce moment de l'année. La température nocturne générée est inférieure à 30°C. Cependant, en début de l'après-midi, la température générée par la fermeture des fenêtres avoisine les 30°C, mais s'augmente après 16h sous l'effet de l'inertie des parois.

Les allures de la température nocturne présentent un décalage évident qui est dû à la quantité du débit d'air entrant dans chaque zone suivant l'emplacement des fenêtres par rapport au vent.

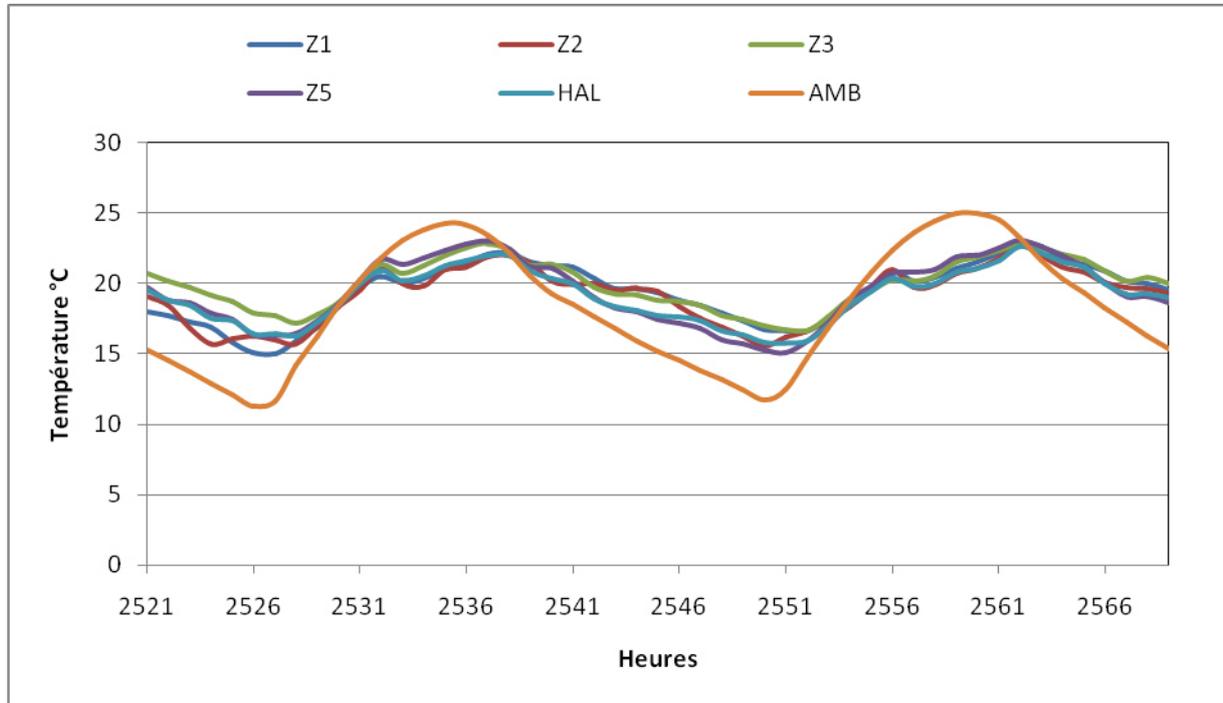


Figure V.12 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 15 au 16 Avril, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville de Bechar

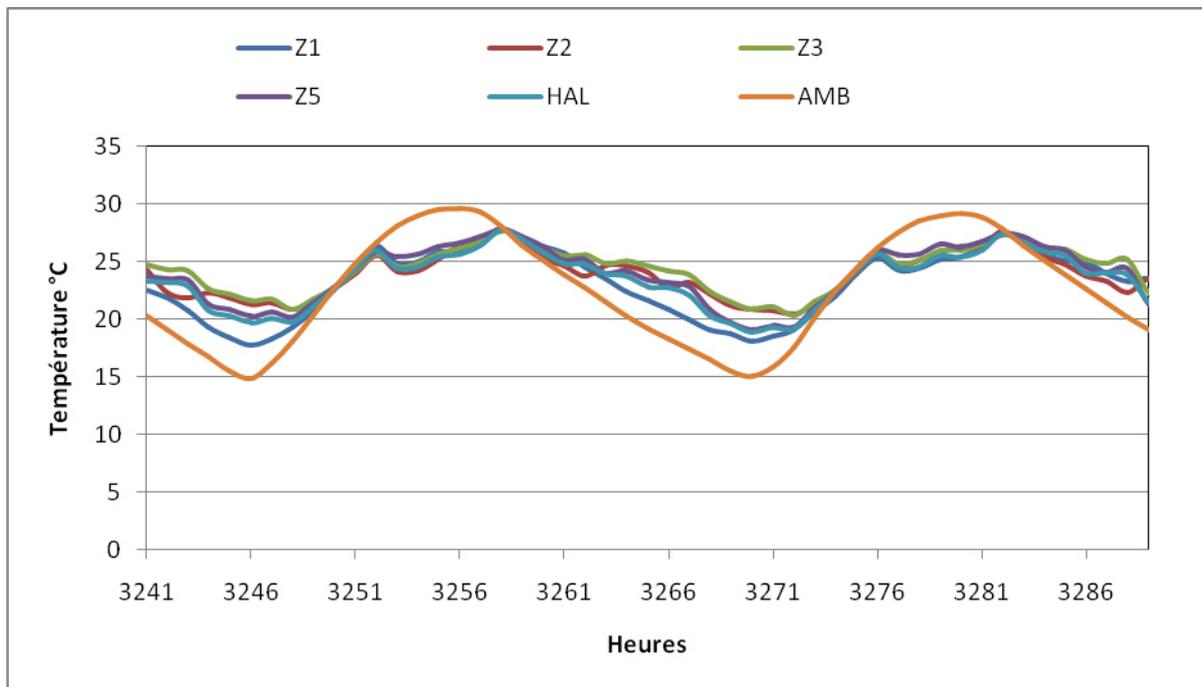


Figure V.13 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 15 au 16 Mai, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville de Bechar

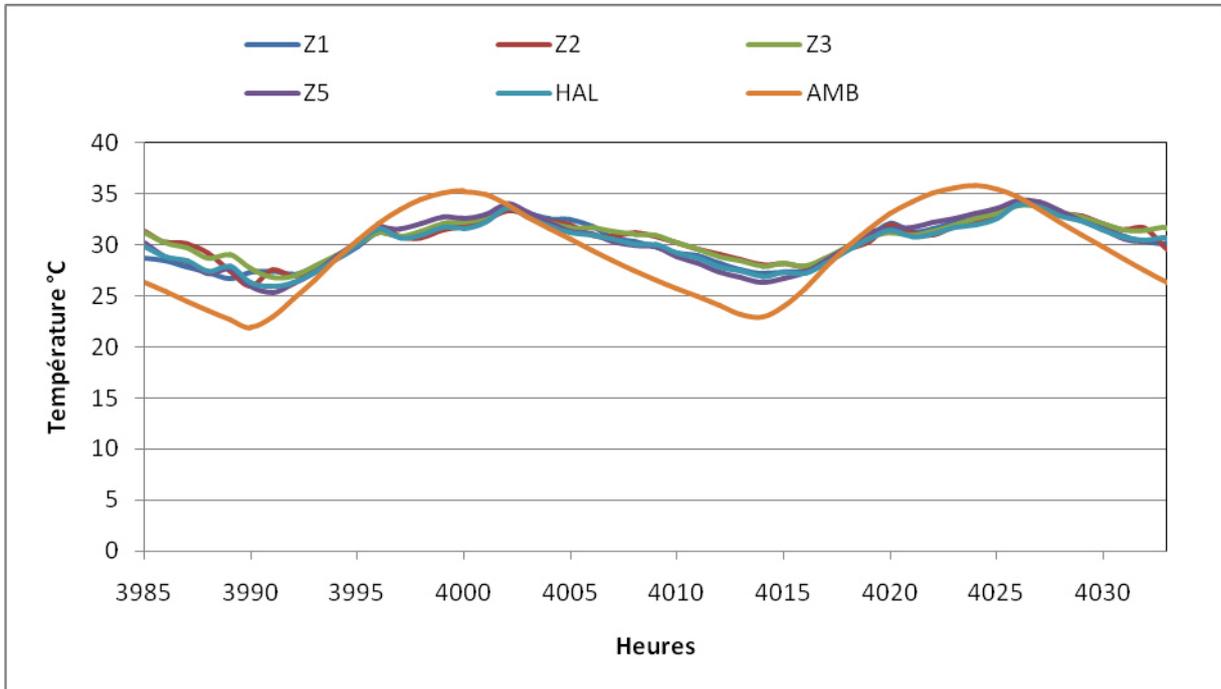


Figure V.14 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 15 au 16 Juin, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville de Bechar

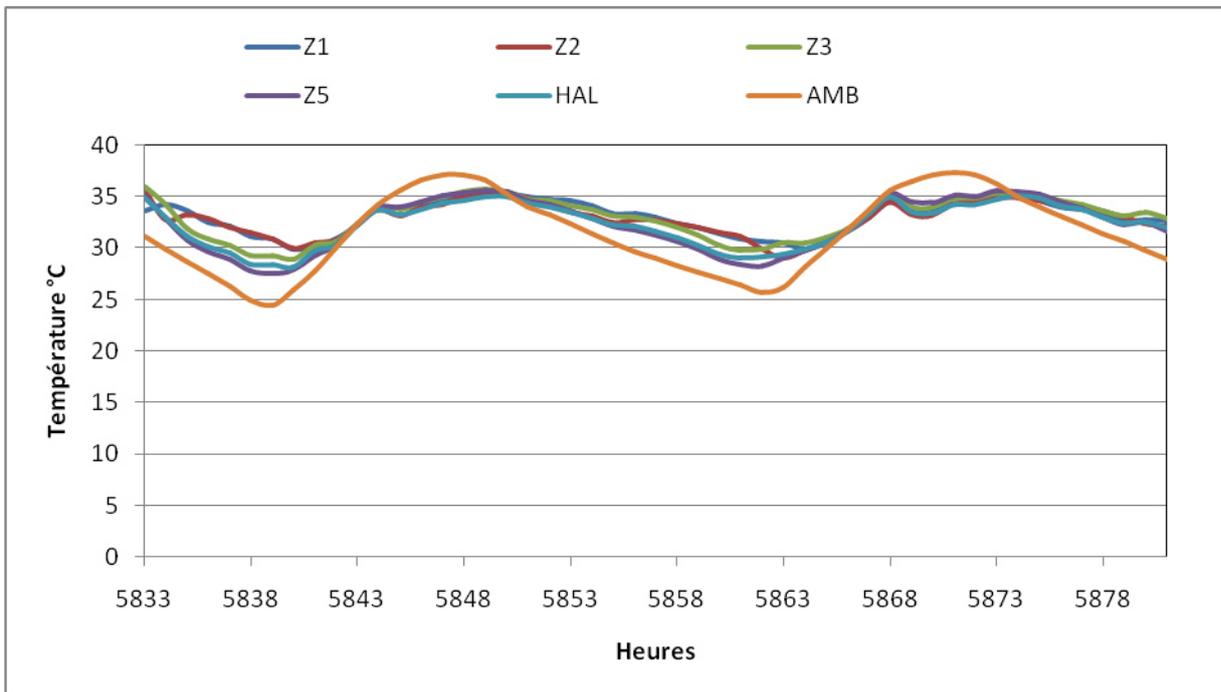


Figure V.15 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 1 au 2 Septembre, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville de Bechar

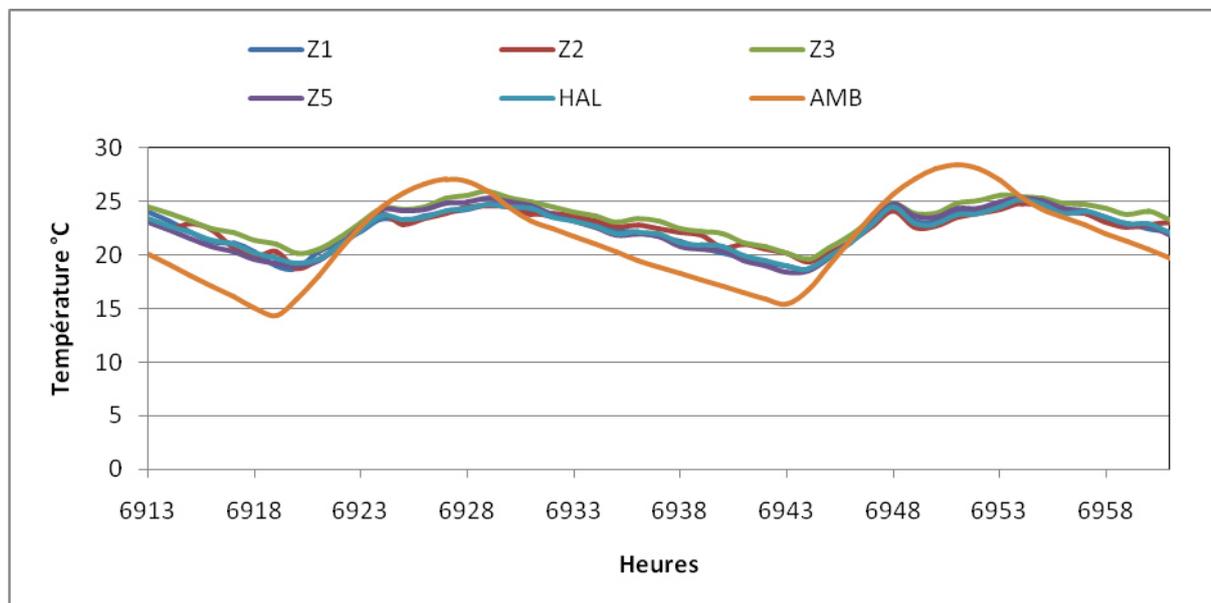


Figure V.16 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 15 au 16 Octobre, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville de Bechar

La ville de Béchar, connaît en mois d'Avril des températures chaudes surtout les après-midi. Dans notre étude, nous avons utilisé les données de Metéonorm ; ces données montrent des températures extérieures acceptables qui ne sont loin de générer des températures opératives chaudes dans les édifices.

Selon le zoom de l'évolution de la température intérieur dans les différentes zones de l'appartement en mi-avril, nous remarquons que la ventilation nocturne n'est pas toujours souhaitée en cette période de l'année puisqu'elles génèrent des températures en dessous de 20°C et avoisinent les 15°C qu'on peut considérer comme trop froid.

Sur la figure V.13 et pendant les deux jours du mi-mai, nous remarquons que la ventilation naturelle nocturne est bien souhaitée. Certes que la température extérieures descend en dessous de 20°C les nuits, mais génère des températures opératives acceptables. Nous pouvons observer sur ces allures l'écart de température entre les différentes zones et qui est causé par la vitesse et la direction du vent par rapport à chaque surface.

En mois de juin, la température extérieure dans la ville de Béchar, monte en dessus de 30°C pendant la majorité du jour. La figure V.14 montre bien la contribution de la ventilation nocturne par ouverture des fenêtres dans l'amélioration du confort dans ces appartement. La fermeture des fenêtres pendant les heures chaudes de la journée a maintenu les températures opératives inférieures à la température extérieures chaude avec un écart de 4°C à 2°C.

Pour début du mois de septembre, et selon les données utilisées dans cette étude, nous remarquons d'après la figure V.15, que la ventilation nocturne est efficace, cependant et avec le lever du soleil le matin elle commence à augmenter mais reste proche des 30°C qui est limites de zone de confort dans ces région à climats chaud et sec.

Le mois d'octobre est aussi chaud à Béchar, surtout les après-midi. Les données qu'on a utilisées dans notre étude, présentent des températures extérieures inférieures à 30°C. les résultats qu'on a obtenue, à travers ces données, ont engendré des température nocturnes

acceptable, dans certains ils descendent en dessous de 19°C, ce qui provoque une sensation d'inconfort froid ; et que peut l'occupant le surmonter en se couvrant d'une légère couette

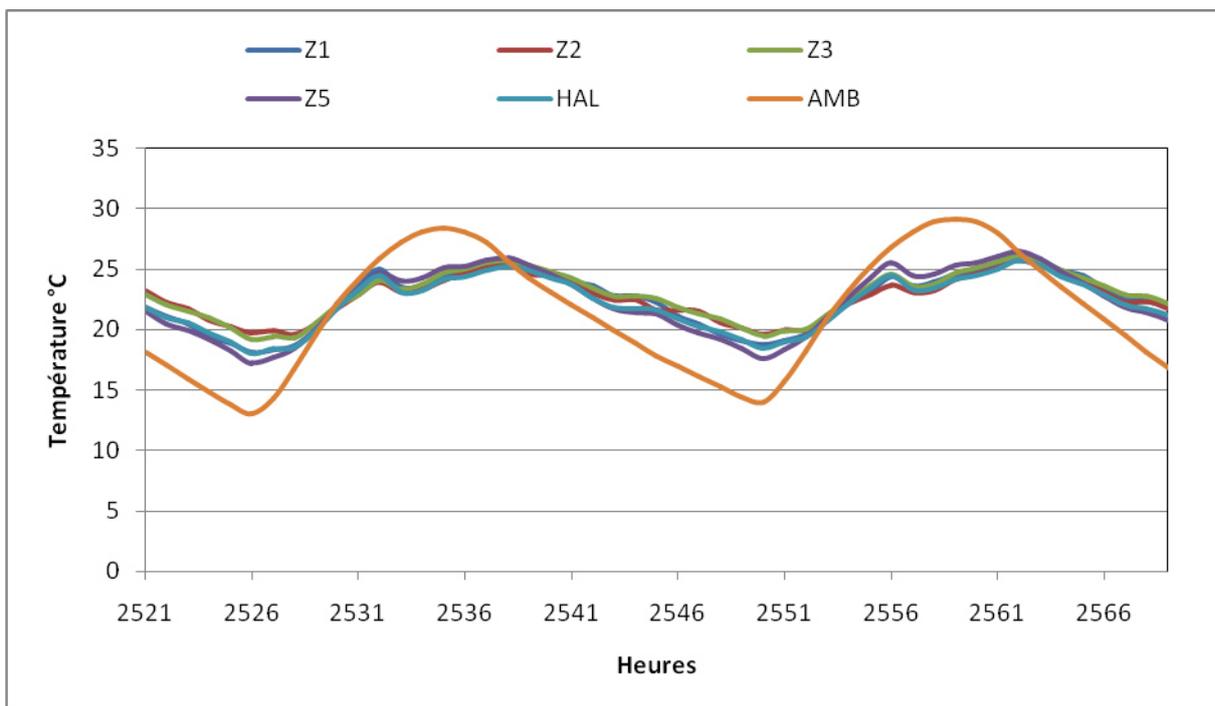


Figure V.17 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 15 au 16 Avril, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville de Tamanrasset

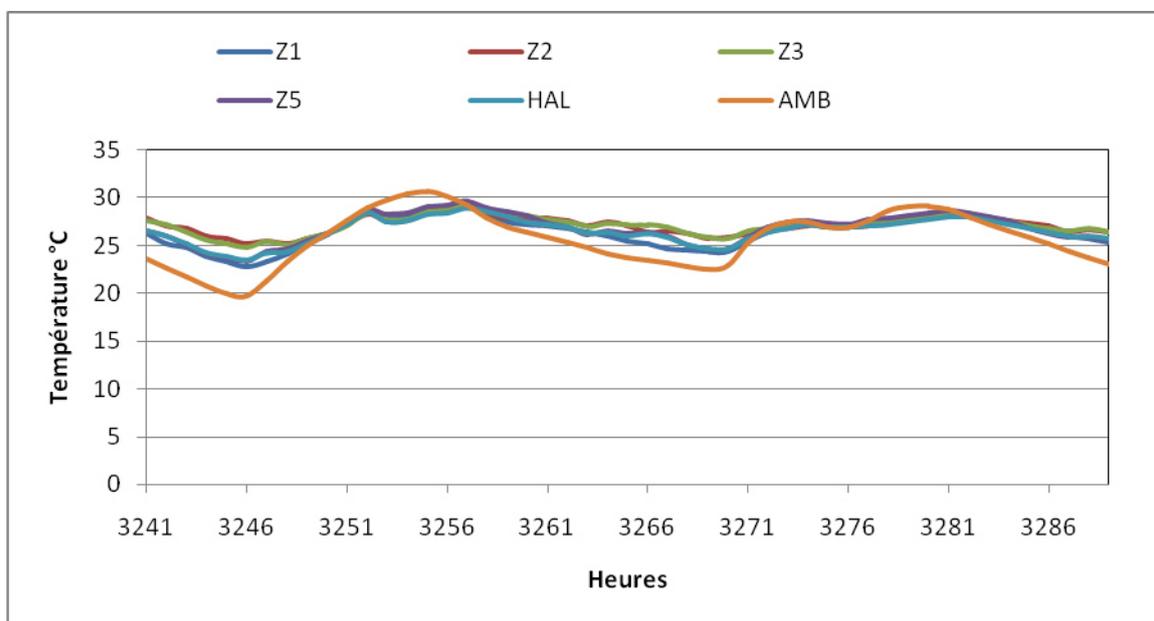


Figure V.18 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 15 au 16 Mai, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville de Tamanrasset

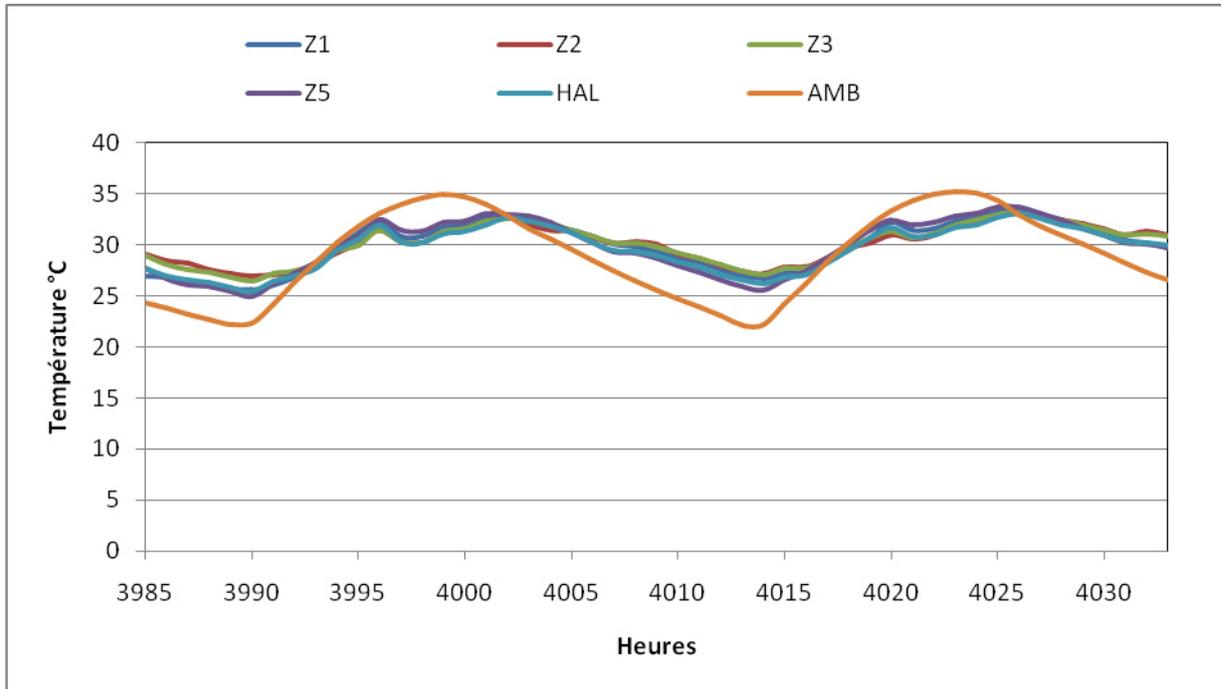


Figure V.19 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 15 au 16 Juin, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville de Tamanrasset

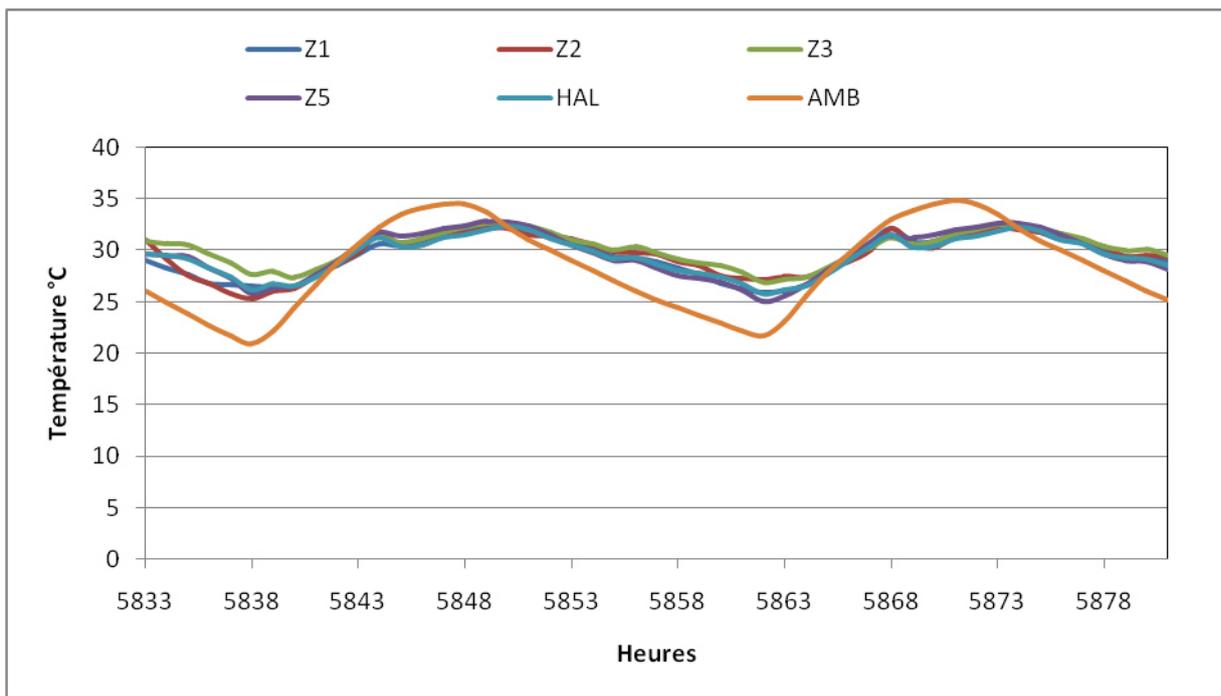


Figure V.20 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 1 au 2 Septembre, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville de Tamanrasset

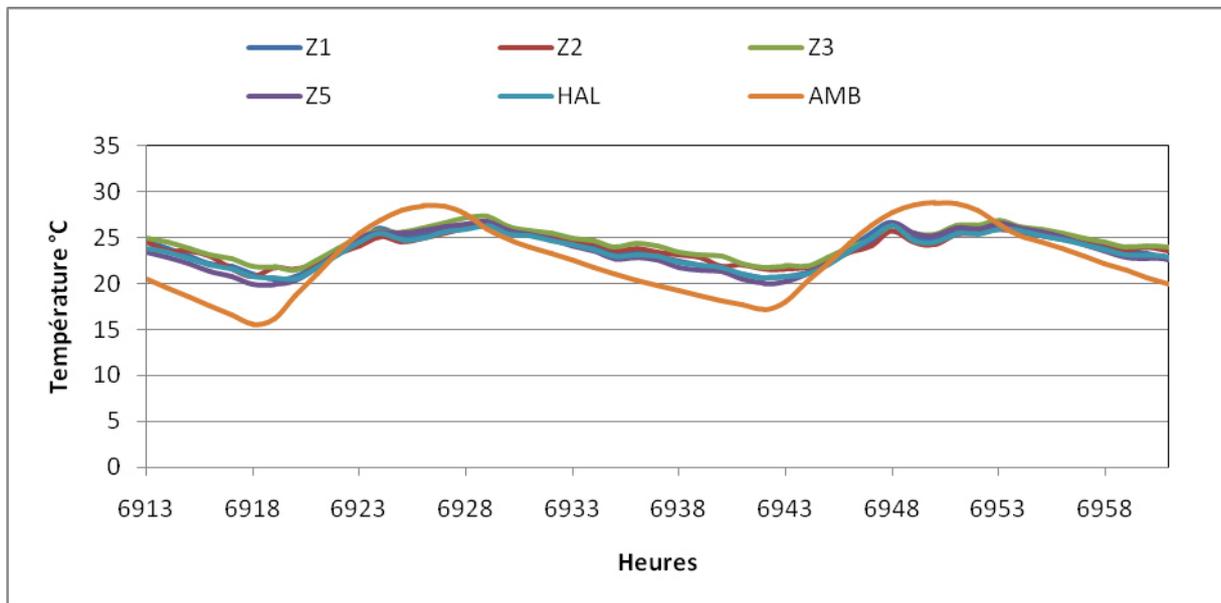


Figure V.21 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 15 au 16 Octobre, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville de Tamanrasset

Tamanrasset est la ville de sud à climat modéré (chapitre II). La ventilation naturelle, comme l'illustre la figure V.17 en mi-avril, a donné des températures nocturnes froides, mais qui ne descendent pas en dessous de 16°C. ce qui permet aux occupants de garder la fenêtre ouverte, pour une bonne aération et ainsi une bonne qualité de l'air, en se couvrant d'une couette ou légère couverture.

Toutefois, la ventilation en mois de mai demeure très souhaitée, vu que la température extérieure en ce mois pour cette ville, est parfaitement pratique pour ouvrir les fenêtres sans avoir chaud ni trop froid. Nous observons sur la figure V.18 que la température les nuits ne descend pas en dessous de 19°C.

En mois de Juin, la température extérieure augmente mais ne dépasse pas les 36°C. La figure V.19 illustre la bonne contribution de la ventilation naturelle pendant les nuits, cependant la fermeture de ces ouvrants génère, avec la nature des matériaux de l'enveloppe, des températures chaudes pendant les heures chaudes de la journée.

Le début de septembre la température extérieure est toujours élevée mais ne dépasse pas les 36°C. Nous remarquons bien sur la figure V.20, l'efficacité de la ventilation naturelle nocturne à remédier le problème du confort thermique dans cette période du jour. Par ailleurs, et pendant les heures de l'après-midi, nous avons enregistré des températures opératives de l'ordre de 30°C à 33°C. Des températures qu'on peut les surmonter par une bonne isolation et bonne protection solaire.

La figure V.21, montre l'efficacité de l'ouverture des fenêtres pendant les heures de nuits et le reste du jour. Nous avons observé des températures nocturnes qui ne descendent pas en dessous de 20°C, ce qui permet une bonne aération et un confort naturel optimale en cette période de l'année.

V.4 Effet de l'emplacement de l'appartement dans l'immeuble

Dans cette partie de notre travail, nous avons effectué des simulations sur trois appartements situés chacun dans un étage de l'immeuble. A savoir l'appartement de réz de chaussée, l'appartement du premier étage et l'appartement du deuxième étage. En fait, l'appartement en dernier étage est celui qui le plus est exposé sur sa surface horizontale en rayonnement solaire en été et en mi saison, la figure V.22 donne, comme exemple, le Rayonnement solaire reçu sur les quatre surfaces verticales principales et sur une surface horizontale d'un bâtiment dans la ville de Béchar. L'appartement du réz de chaussée se bénéficie du contact direct avec le sol [FEZZIOUI, 2014], tandis que l'appartement du premier étage se bénéficie de la couverture de sa surface horizontale par l'appartement du deuxième étage.

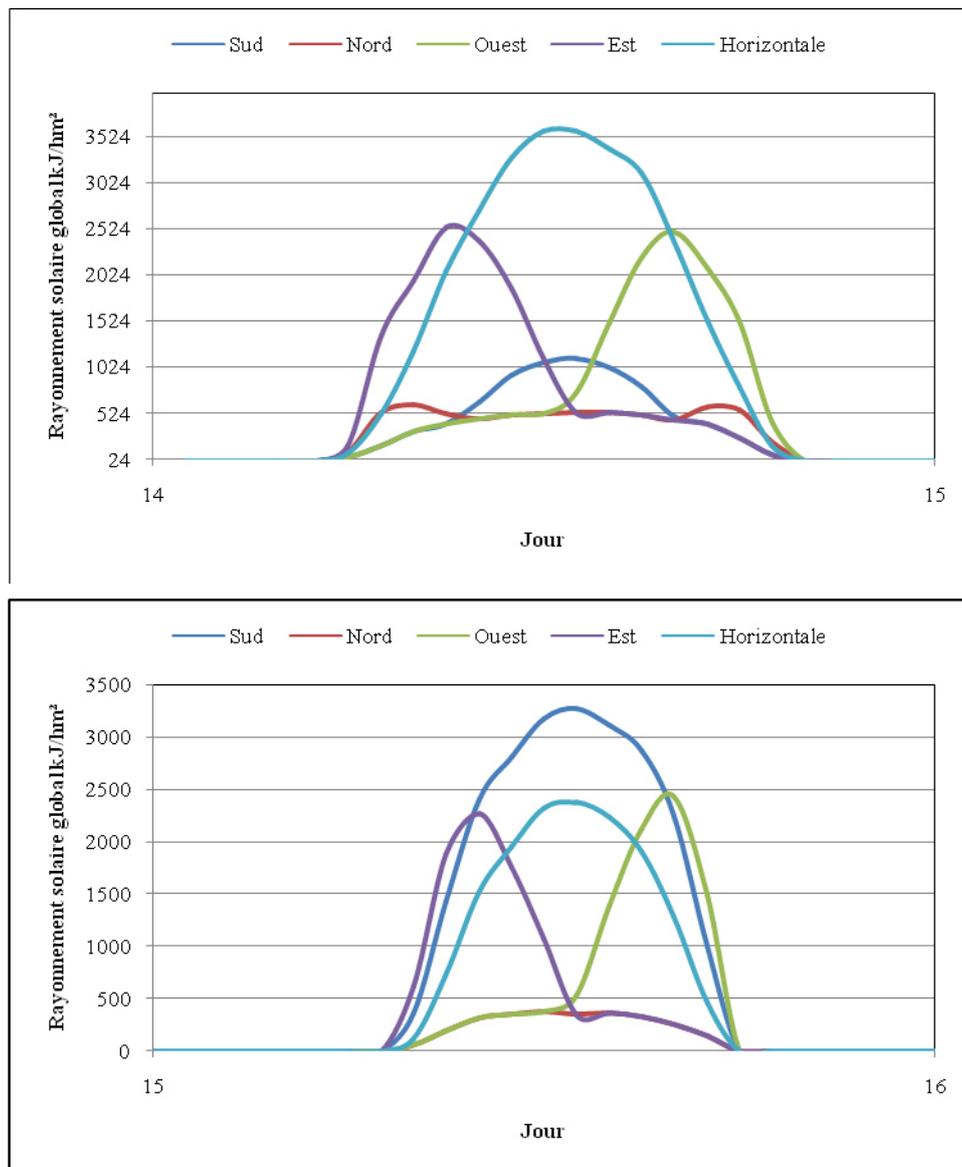


Figure V.22 Rayonnement solaire reçu sur les quatre surfaces verticales principales et sur une surface horizontale d'un bâtiment dans la ville de Béchar: En haut : pour une journée du moi Juillet ; En bas : pour une journée du moi Janvier

Les résultats pour ces trois appartements et pour les trois villes d'étude, sont présentés sur les figures de V.23 à V.37 et. ce pour la zone Z1 qu'on a pris comme zone principale de l'appartement.

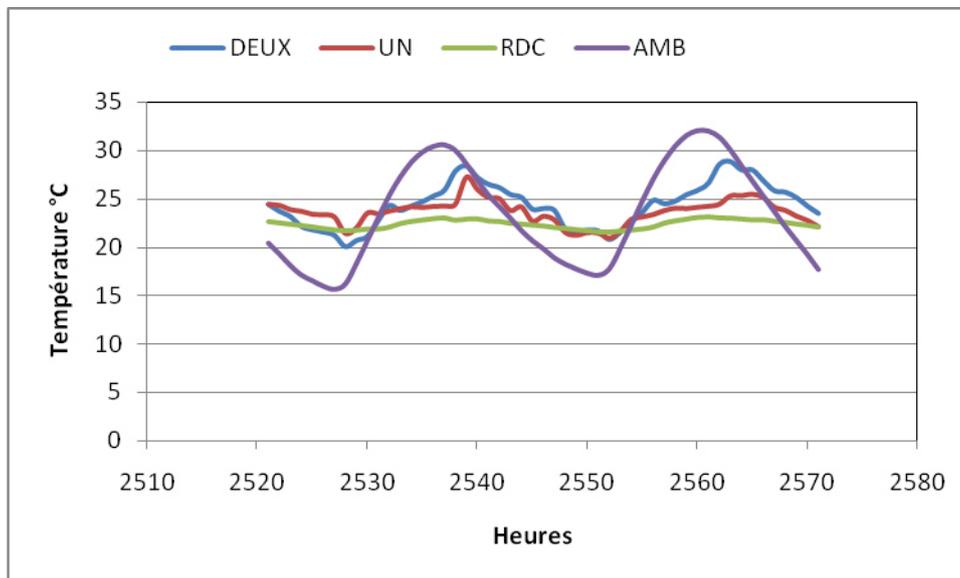


Figure V.23 Evolution de la température dans la zone Z1 , du 15 au 17 Avril dans la ville d'Adrar pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : rez de chaussée

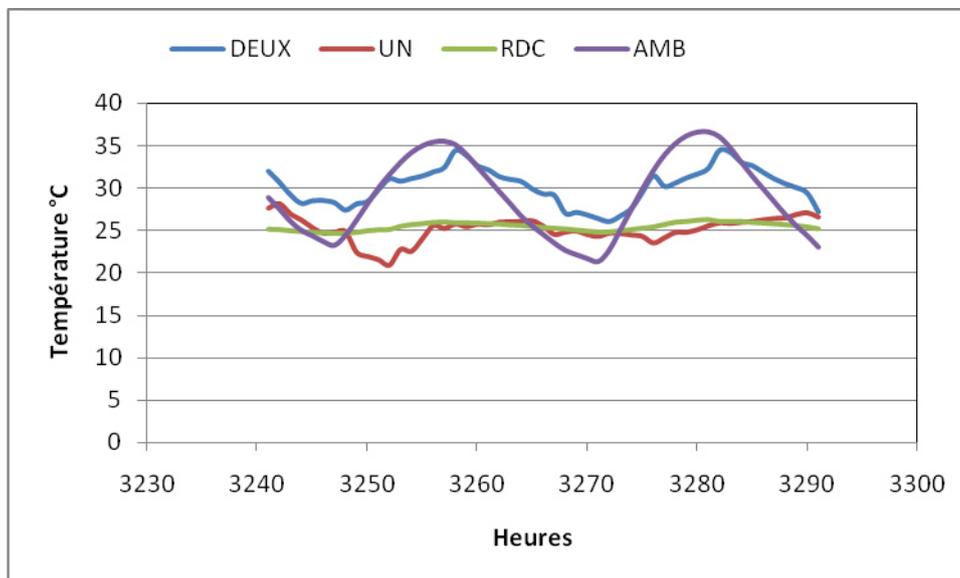


Figure V.24 Evolution de la température dans la zone Z1 , du 15 au 17 Mai dans la ville d'Adrar pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : rez- de- chaussée

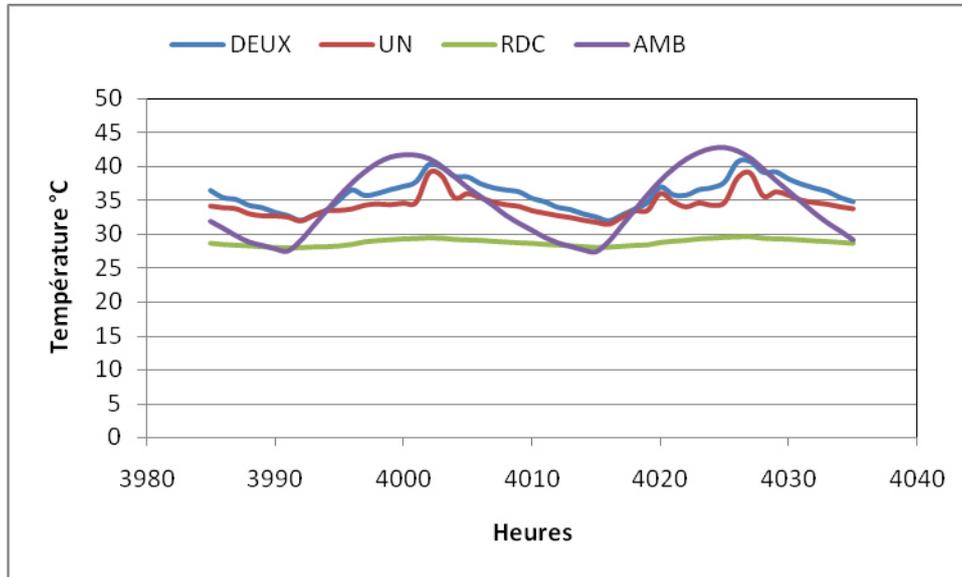


Figure V.25 Evolution de la température dans la zone Z1 , du 15 au 17 Juin dans la ville d’Adrar pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : rez- de - chaussée

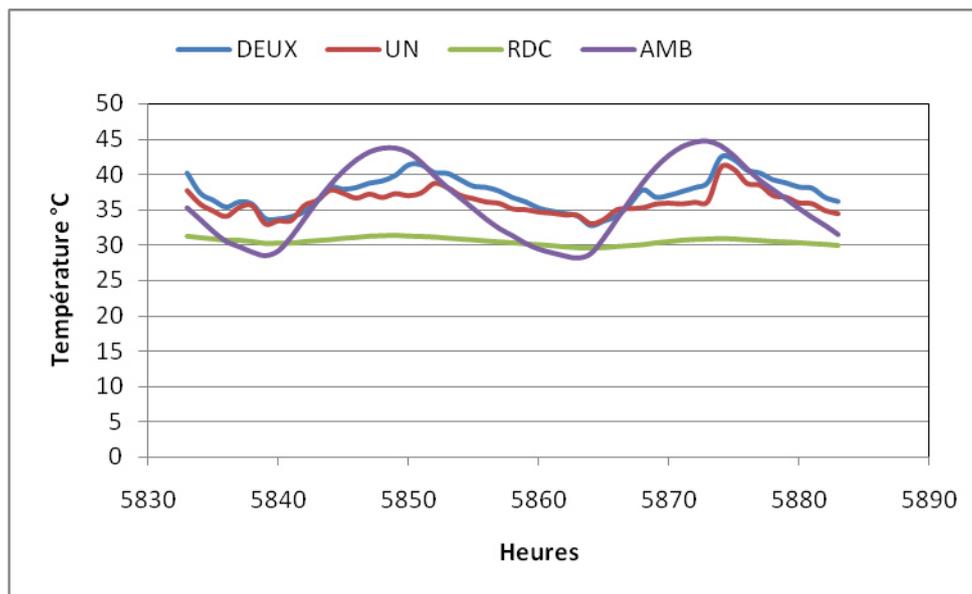


Figure V.26 Evolution de la température dans la zone Z1 , du 1 au 2 Septembre dans la ville d’Adrar pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : rez- de - chaussée

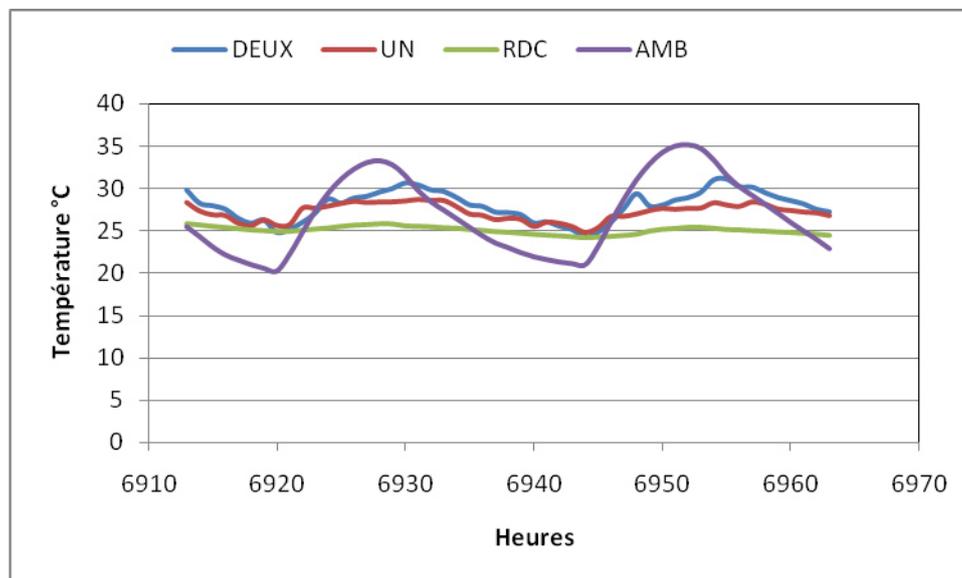


Figure V.27 Evolution de la température dans la zone Z1, du 15 au 17 Octobre dans la ville d'Adrar pour les trois étages : DEUX : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : rez- de – chaussée.

La figure V.23 pour la ville d'Adrar et pour les deux jours de mi-avril ; présente un écart évident entre ces trois courbes de température opérative.

L'appartement du rez-de-chaussée est la plus froide avec moins de fluctuations de la température, suivi par l'appartement du premier étage qui présente des résultats meilleures que le cas de l'appartement du rez-de-chaussée.

L'appartement du rez-de-chaussée bénéficie de deux points essentiels dans sa typologie : son plafond qui est protégé par l'appartement en dessus, et sa position sur terre-plein qui augmente son inertie thermique. La température de son sol est inférieure à celle des appartements des étages supérieurs [Fezzioui, 2014].

En mi-avril, nous avons remarqué que l'écart de température entre ces courbes qui varie de 2°C à 4°C entre les deux appartements du rez-de-chaussée et celui de deuxième étage. Cependant il augmente entre les deux appartements du rez-de-chaussée et celui du premier étage où il peut atteindre une différence de 5°C.

La nuit, les deux étages engendrent des températures nocturnes inférieures à celles obtenues dans l'appartement du rez-de-chaussée ce dernier ayant plus d'inertie thermique.

Pendant les heures de l'après-midi, et vu son emplacement, l'appartement du rez-de-chaussée voit des températures jusqu'à 9°C inférieures à la température extérieure.

Au mois de Mai, et avec l'augmentation de la température extérieure, l'appartement du rez-de-chaussée demeure la plus frais, même pendant le temps où la température extérieure atteint 35°C, figure IV.22. Un écart de température très important qu'on peut observer sur cette dernière figure, et qui atteint 10°C.

En moi de Juin, et pour les deux jours représentatifs de cette période de l'année, la figure IV.24 nous montre que l'appartement est toujours le plus frais, sans fluctuations de température. D'autre part, l'allure de la température dans les deux appartements des deux autres étages commence à évoluer d'une manière similaire mais avec un écart qui oscille entre 1°C à 3°C.

Cet écart devint plus petit pendant le temps d'ouverture des fenêtres. Alors qu'il est évident le temps de fermeture de ces ouvrants.

En début septembre, l'appartement du rez-de-chaussée reste frais, avec une température qui fluctue faiblement, et dont sa valeur reste proche du 30°C. La température dans les deux autres étages reste similaire pendant les heures d'ouverture des fenêtres, et présente quelques écarts entre les deux appartements pendant les temps de fermeture des fenêtres.

Les deux étage et pour cette période de l'année sont en situation d'inconfort, et la ventilation naturelle n'est pas la bonne solution pour remédier au problème de confort.

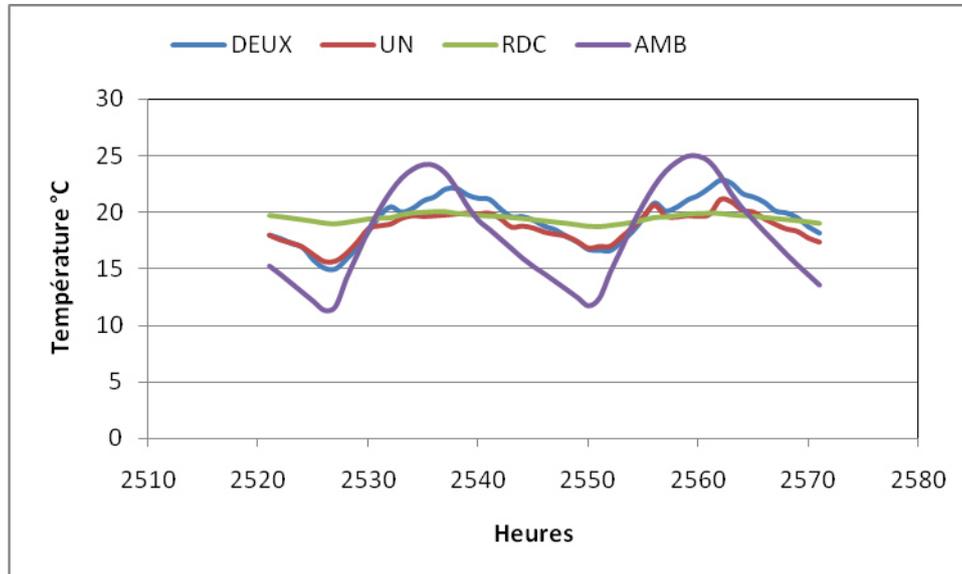


Figure IV.28 Evolution de la température dans la zone Z1, du 15 au 17 Avril dans la ville de Bechar pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : rez-de-chaussée

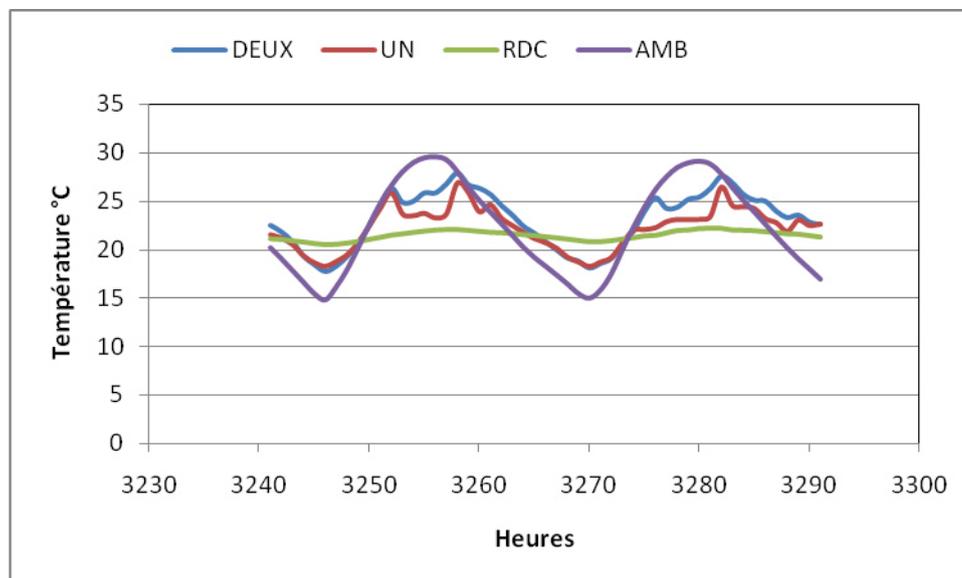


Figure IV.29 Evolution de la température dans la zone Z1, du 15 au 17 Juin dans la ville de Bechar pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : rez-de-chaussée

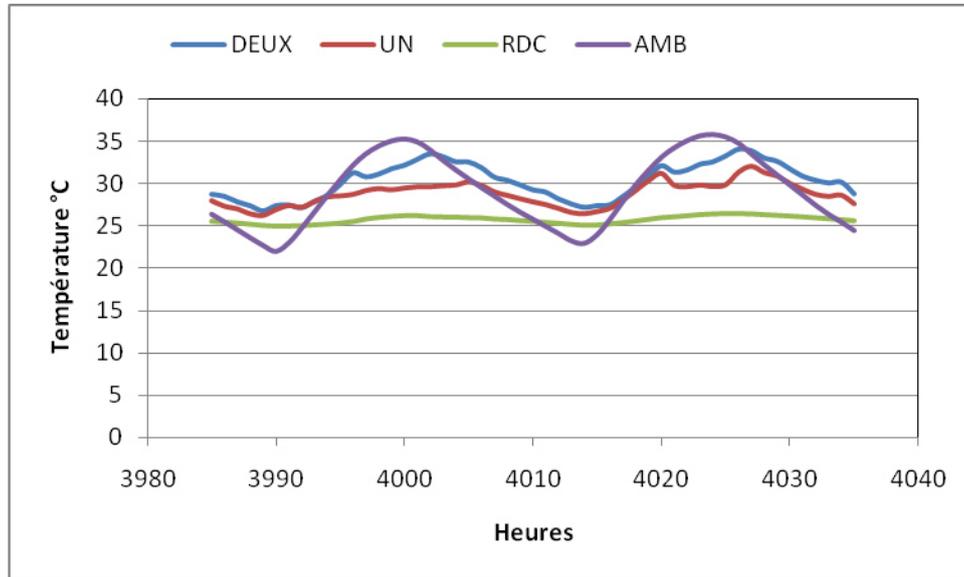


Figure IV.30 Evolution de la température dans la zone Z1, du 01 au 03 SEPTEMBRE dans la ville de Bechar pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : rez-de-chaussée

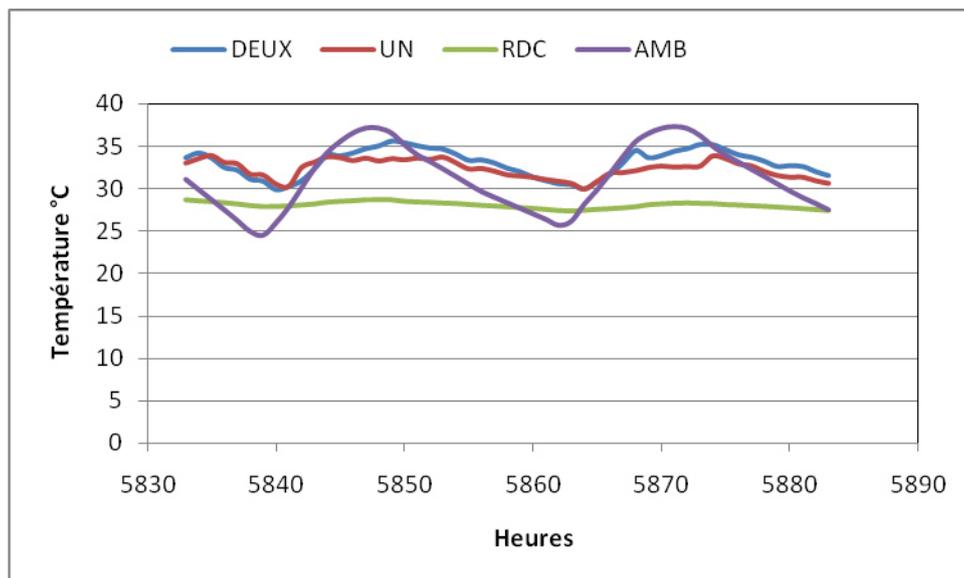


Figure IV.31 Evolution de la température dans la zone Z1, du 15 au 17 Octobre dans la ville de Bechar pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : rez-de-chaussée

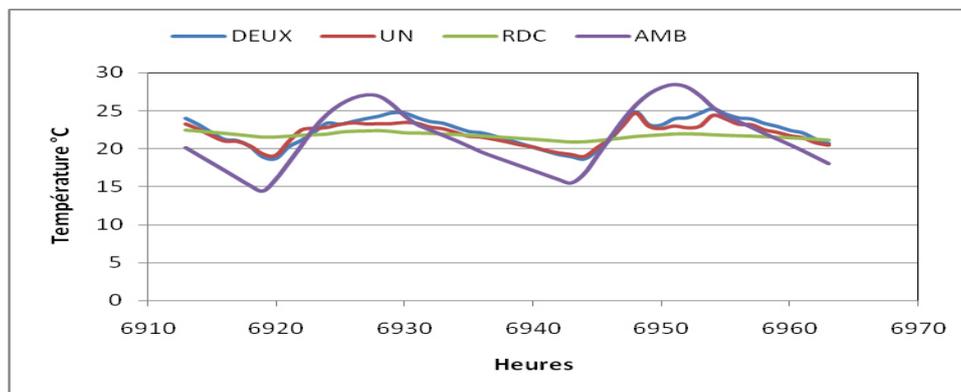


Figure V.32 Evolution de la température dans la zone Z1, du 15 au 17 Octobre dans la ville de Bechar pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : rez-de-chaussée

Pour la ville de Béchar, et en mi-avril, l'appartement du rez-de-chaussée présente une température quasi stable qui avoisine les 20°C. Cependant et pour les deux autre étages, cette température descend en dessous des 16°C les nuits avec l'ouverture des fenêtres ce qui engendre des heures d'inconfort froid.

Le jour et avec la fermeture des fenêtres, l'appartement du deuxième étage bénéficie des gains solaire reçu par sa surface horizontal pour garder la température de l'appartement en dessus de 20°C.

En mi-mai, l'appartement du rez-de-chaussée reste le plus frais, et la température du premier étage présente des températures quasi similaires que celle engendré par le deuxième étage.

La figure IV.30 donne l'évolution de la température dans ces trois étages en mi-juin. La température au rez-de-chaussée est toujours la plus fraîche avec une allure de faible fluctuation. L'écart de la température entre les appartements des deux autres étages devient évident pendant la fermeture des fenêtres.

En moi d'octobre à Béchar, figure IV.31, les trois étages présentent des températures avec des écarts relativement faible, par rapport aux autre mois examiné dans cette étude. L'appartement du rez-de-chaussée garde sa stabilité est reste le plus confortable même en ouvrant les fenêtres les nuits.

Ces mêmes remarques sont valables pour la ville de Tamanrasset comme l'illustrent les figures de V.33 à V.37.

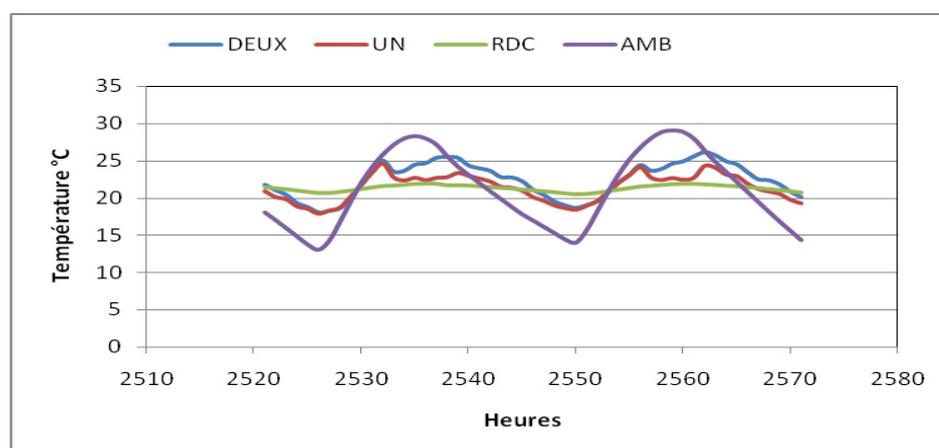


Figure V.33 Evolution de la température dans la zone Z1, du 15 au 17 Avril dans la ville de Tamanrasset pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : rez-de-chaussée

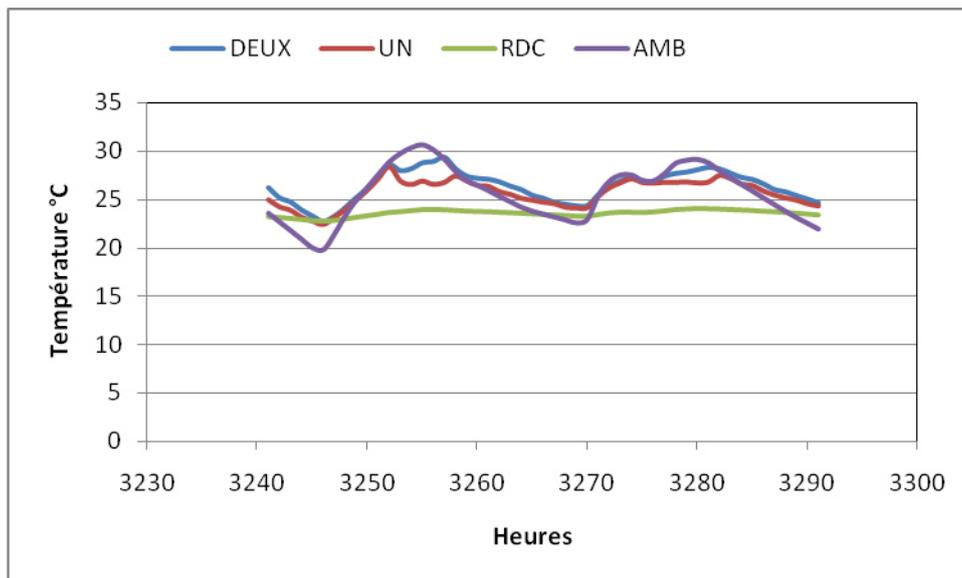


Figure V.34 Evolution de la température dans la zone Z1, du 15 au 17 Mai dans la ville de Tamanrasset pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : rez-de-chaussée

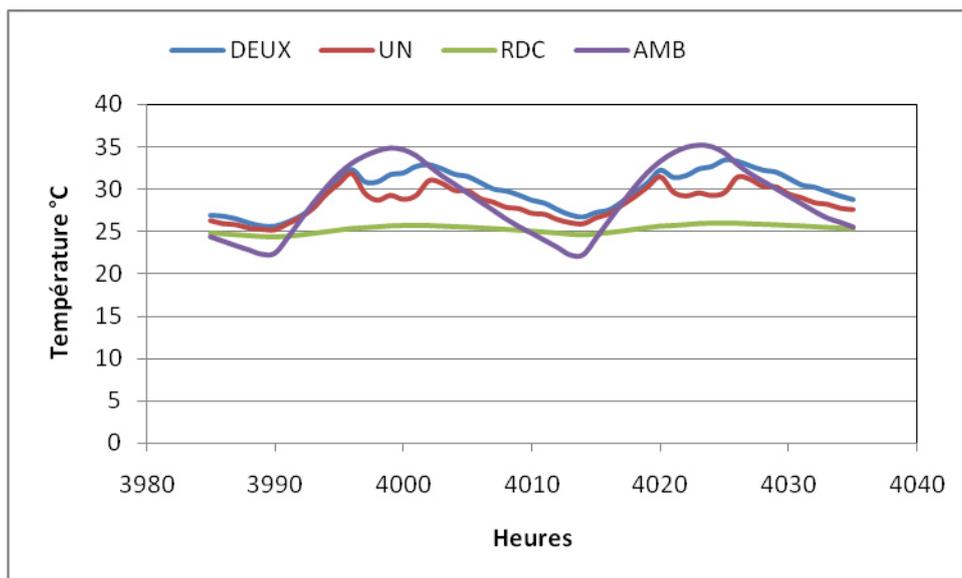


Figure V.35 Evolution de la température dans la zone Z1, du 15 au 17 Juin dans la ville de Tamanrasset pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : rez-de-chaussée

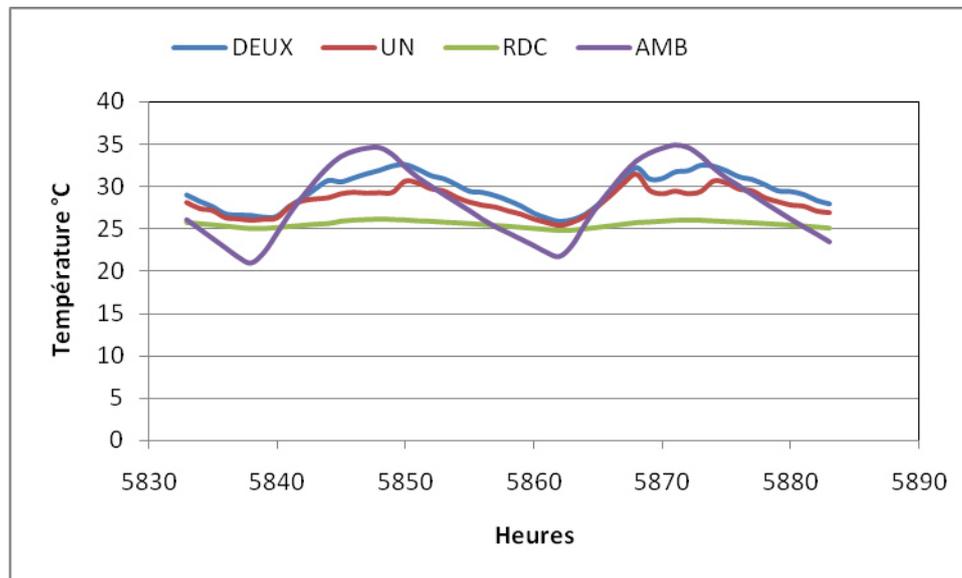


Figure V.36 Evolution de la température dans la zone Z1, du 1 au 3 Septembre dans la ville de Tamanrasset pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : rez-de-chaussée

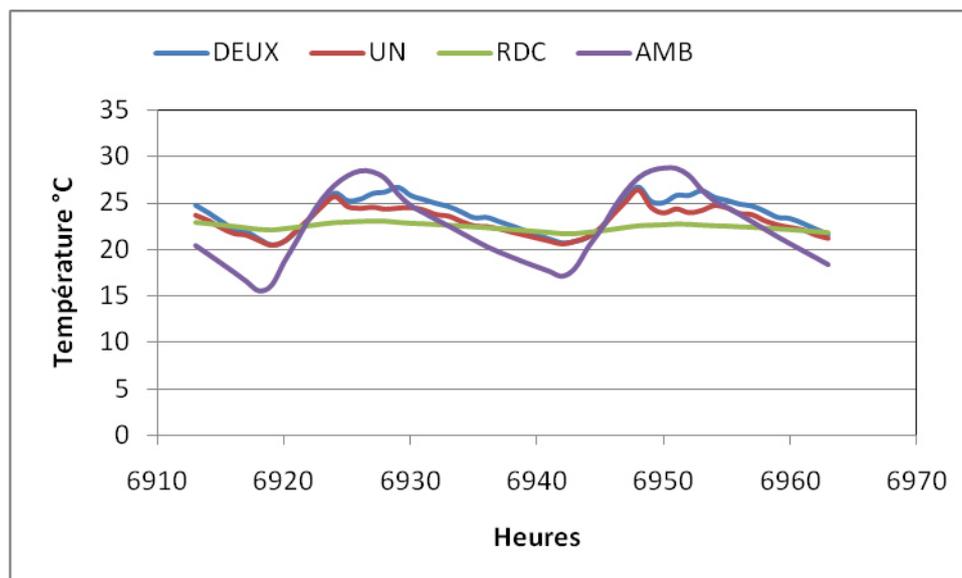


Figure V.37 Evolution de la température dans la zone Z1, du 15 au 17 Octobre dans la ville de Tamanrasset pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : rez-de-chaussée

V.5 Effet de l'orientation sur le confort thermique

Afin de tester l'effet de l'orientation des bâtiments dans chaque ville, nous avons effectué différentes simulations pour les quatre orientations principales citées dans la fig. IV.1 ; IV.2, IV.3 et IV.4 et ce pour le type d'enveloppe M1 cité dans le tableau IV.2.

Les tableaux de IV.3 à IV.26 résument les résultats thermique de chaque orientation et pour chaque ville. Ils donnent les heures d'inconfort, le pourcentage du confort selon EN 15251 ainsi que les températures maximale et minimale atteintes dans chaque zone pendant le mi saison étudié et ce pour les scénarios A1 et A4.

Orientation 1, matériaux 1

Tableau V.3 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville d'Adrar, scénario A1

	TMAX	TMIN	Heures froides	Heures chaudes	%Confort
Z1	42.62	16.66	91	1778	43.16
Z2	42.53	15.63	131	1739	43.13
Z3	42.68	15.87	96	1816	41.85
Z5	43.16	14.73	203	1648	43.70

Tableau V.4 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Béchar, scénario A1

	TMAX	TMIN	HTF	HC	%C
Z1	36.70	11.61	1049	261	60.16
Z2	36.46	11.73	1057	246	60.37
Z3	36.84	12.70	908	304	63.14
Z5	37.09	11.36	1086	296	57.97

Tableau V.5 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Tamanrasset, scénario A1

	TMAX	TMIN	HTF	HC	%C
Z1	33.78	14.93	568	298	73.66
Z2	33.22	15.50	465	244	78.44
Z3	33.54	16.07	390	275	79.77
Z5	34.07	14.03	612	326	71.47

Le tableau V.3 montre que la zone Z3 est la plus chaude en cette période de mi saison, avec un pourcentage de confort de 41%. La zone Z5 est la plus fraîche avec le pourcentage de confort le plus élevé. Cette zone a aussi présenté les heures froides les plus élevées dans l'appartement.

La température maximale en mi saison dans cet appartement est de l'ordre de 42.5 °C en moyenne, cependant la température minimale atteinte est de l'ordre de 15.5°C.

La ville de Béchar, tableau IV.4, présente des résultats meilleurs que ceux de la ville d'Adrar. Le pourcentage de confort atteint une valeur de 63% pour la zone Z3. Cette zone présente le plus bas pourcentage de confort à Adrar.

La température maximale atteinte dans l'appartement à Béchar en mi saison est de l'ordre de 36.7°C, cependant la température minimale est de 11.6°C de moyenne.

Nous avons remarqué selon ces tableaux pour les deux villes, que l'appartement de la ville de Béchar présente plus d'heures froides que d'heures chaudes. Alors que pour la ville Adrar, les heures chaudes subies dans l'appartement pour l'orientation et le scénario considéré, sont supérieurs aux heures froides.

Dans la ville de Tamanrasset, la température maximale atteinte en mi saison, est de 33.7°C et la température minimale et de moyenne de 15.13°C.

Les heures chaudes obtenues dans l'appartement de cette ville sont supérieures aux heures froides ; le pourcentage de confort est le meilleur avec une moyenne de 75.85%. La zone Z3 est celle qui a donné les meilleurs pourcentages de confort, suivi par la zone Z2, et Z1. Z5 vient en dernier en subissant le plus grand nombre d'heures chaudes de l'appartement.

Les heures froides enregistrées dans l'appartement de Tamanrasset sont moins nombreuses que celles observées dans l'appartement de Béchar mais plus nombreuses que celle observées dans l'appartement d'Adrar.

Tableau V.6 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville d'Adrar, scénario A4

	TMAX	TMIN	HTF	HC	%C
Z1	42.44	17.73	30	2186	32.60
Z2	42.50	16.86	42	2219	31.23
Z3	43.26	17.05	31	2377	26.76
Z5	43.15	15.67	66	2147	32.69

Tableau V.7 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Béchar, scénario A4

	TMAX	TMIN	HTF	HC	%C
Z1	40.55	12.68	631	1063	48.48
Z2	40.74	12.65	592	1071	49.42
Z3	41.01	13.91	414	1175	51.67
Z5	41.77	12.79	628	1067	48.45

Tableau V.8 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Tamanrasset, scénario A4

	TMAX	TMIN	HTF	HC	%C
Z1	34.37	16.98	180	508	79.08
Z2	33.99	17.24	133	572	78.56
Z3	34.17	17.68	82	724	75.49
Z5	34.94	16.25	213	565	76.34

La fermeture des fenêtres les nuits, scénario A4, diminue les heures trop froides pendant la mi saison, et augmente aussi les heures chaudes dans la ville d'Adrar.

Le pourcentage de confort calculé pour ce scénario d'ouverture dans la ville d'Adrar atteint 26% dans la zone Z3. Il atteint son maximum de 32.7% dans la zone Z5.

Pour la ville Béchar, et selon le tableau IV.7, la fermeture des fenêtres en cette période de l'année, dégrade le confort thermique en réduisant les pourcentages de confort dans l'appartement avec un taux allant de 9% à 11.7%.

Les heures trop froides sont diminuées, et les heures chaudes ainsi que les températures maximales dans chaque zone sont augmentées. La température maximale augmente de plus de 4°C dans les zones Z2, Z3 et Z5. Chose qu'on n'observe pas pour la ville d'Adrar, où la température maximale n'augmente que dans la zone Z3 de 0.58°C alors que pour les autres zones, elle diminue très peu (de 0.01 à 0.18°C) !

La fermeture des fenêtres à Tamanrasset a engendré une amélioration dans le pourcentage du confort thermique pour les zones Z1, Z5 et Z2. Cependant pour la zone Z3 ce pourcentage de

confort a été réduit d'une différence de 4%. La température maximale augmente très légèrement d'un ordre de 0.67°C en moyenne, où sa valeur maximale est 34.94°C une valeur qui n'est pas au limites de confort dans les régions de sud.

Les heures chaudes ont été augmentées et les heures trop froides ont été diminuées.

Orientation 2, matériaux 1

Tableau V.9 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville d'Adrar, scénario A1

	TMAX	TMIN	HTF	HC	%C
Z1	41.97	15.76	114	1768	42.76
Z2	41.59	16.69	92	1831	41.51
Z3	42.08	16.75	68	1825	42.43
Z5	42.76	15.63	150	1646	45.38

Tableau V.10 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Béchar, scénario A1

	TMAX	TMIN	HTF	HC	%C
Z1	37.07	12.34	942	263	63.35
Z2	36.74	12.51	974	218	63.75
Z3	36.60	11.64	1019	220	62.32
Z5	36.89	10.31	1171	205	58.15

Tableau V.11 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Tamanrasset, scénario A1

	TMAX	TMIN	HTF	HC	%C
Z1	33.58	15.72	414	294	78.47
Z2	33.10	15.92	425	212	80.63
Z3	33.60	15.11	534	265	75.70
Z5	33.49	13.26	743	215	70.86

Tableau V.12 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville d'Adrar, scénario A4

	TMAX	TMIN	HTF	HC	%C
Z1	42.79	17.11	31	2304	28.98
Z2	42.65	18.08	28	2386	26.58
Z3	43.18	17.97	20	2341	28.19
Z5	43.18	16.52	49	2144	33.30

Tableau V.13 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Béchar, scénario A4

	TMAX	TMIN	HTF	HC	%C
Z1	37.68	13.55	527	518	68.22
Z2	37.75	13.62	509	513	68.92
Z3	37.49	12.65	595	508	66.45
Z5	37.24	11.51	768	386	64.90

Tableau V.14 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Tamanrasset, scénario A4

	TMAX	TMIN	HTF	HC	%C
Z1	34.15	17.55	604	500	66.42
Z2	33.86	17.74	596	509	66.39
Z3	34.36	17.07	640	514	64.90
Z5	33.83	15.81	609	323	71.65

Orientation 3, matériaux 1

Tableau V.15 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville d'Adrar, scénario A1

	TMAX	TMIN	HTF	HC	%C
Z1	42.18	16.80	74	1884	40.45
Z2	42.19	16.39	90	1771	43.40
Z3	41.62	15.53	110	1765	42.97
Z5	43.12	14.43	203	1603	45.07

Tableau V.16 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Béchar, scénario A1

	TMAX	TMIN	HTF	HC	%C
Z1	37.01	12.61	938	316	61.86
Z2	36.58	11.07	1021	266	60.86
Z3	36.60	11.87	992	280	61.31
Z5	37.16	10.99	1151	279	56.51

Tableau V.17 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Tamanrasset, scénario A1

	TMAX	TMIN	HTF	HC	%C
Z1	34.17	15.73	420	379	75.70
Z2	33.65	14.70	551	289	74.45
Z3	33.67	15.88	426	309	77.65
Z5	34.39	14.19	631	316	71.20

Tableau V.18 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville d'Adrar, scénario A4

	TMAX	TMIN	HTF	HC	%C
Z1	42.88	18.18	18	2349	28.01
Z2	43.11	17.67	23	2327	28.53
Z3	42.98	16.89	32	2293	29.29
Z5	43.59	15.36	58	2115	33.91

Tableau V.19 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Béchar, scénario A4

	TMAX	TMIN	HTF	HC	%C
Z1	37.59	13.79	569	556	65.78
Z2	37.18	12.90	587	511	66.61
Z3	37.72	12.95	567	548	66.09
Z5	37.80	11.71	769	452	62.86

Tableau V.20 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Tamanrasset, scénario A4

	TMAX	TMIN	HTF	HC	%C
Z1	35.05	16.31	171	716	73.02
Z2	34.60	16.21	187	623	75.36
Z3	34.63	16.64	177	720	72.72
Z5	35.24	15.72	289	537	74.88

Orientation 4, matériaux 1

Tableau V.21 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville d'Adrar, scénario A1

	TMAX	TMIN	HTF	HC	%C
Z1	42.56	16.03	103	1814	41.70
Z2	42.40	15.80	111	1754	43.28
Z3	42.21	17.05	55	1983	38.02
Z5	42.61	16.06	127	1738	43.28

Tableau V.22 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Béchar, scénario A1

	TMAX	TMIN	HTF	HC	%C
Z1	37.23	11.71	945	337	61.01
Z2	36.97	11.66	965	296	61.65
Z3	36.96	12.84	868	316	63.99
Z5	36.97	12.06	1106	262	58.39

Tableau V.23 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Tamanrasset, scénario A1

	TMAX	TMIN	HTF	HC	%C
Z1	34.48	15.84	427	408	74.60
Z2	33.97	15.13	478	311	76.00
Z3	33.67	16.14	376	321	78.80
Z5	33.81	14.11	596	290	73.05

Tableau V.24 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville d'Adrar, scénario A4

	TMAX	TMIN	HTF	HC	%C
Z1	43.22	17.46	29	2347	27.74
Z2	43.87	16.89	30	2384	26.58
Z3	43.77	18.31	20	2516	22.87
Z5	42.93	16.97	37	2219	31.39

Tableau V.25 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Béchar, scénario A4

	TMAX	TMIN	HTF	HC	%C
Z1	37.99	12.77	551	582	65.54
Z2	38.04	13.56	513	578	66.82
Z3	38.11	13.94	444	633	67.24
Z5	37.34	12.86	743	436	64.14

Tableau V.26 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Tamanrasset, scénario A4

	TMAX	TMIN	HTF	HC	%C
Z1	35.45	17.43	114	766	73.24
Z2	35.02	17.25	98	750	74.21
Z3	34.56	17.83	76	795	73.51
Z5	34.31	16.69	206	489	78.86

Une première lecture dans les résultats dans les tableaux IV.3, IV.9, IV.15 et IV.21 pour les quatre orientations sélectionnées dans notre étude, figure IV.1, IV.2, IV.3 et IV.4, montre que le pourcentage de confort dans l'appartement d'Adrar, scénario A1, varie très peu. En fait, nous avons calculé des différences qui oscillent entre 0.4% dans Z1, 1.62% dans Z2 et une très légère augmentation de ce pourcentage dans Z3 (0.58%) et Z5 1.86%) dans Z5.

L'orientation de la façade principale de l'appartement d'étude vers l'ouest a diminué le pourcentage de confort en Z1 avec 3% par rapport au cas O1. Cependant, nous avons observé une réduction de ce pourcentage pour les zones Z2, Z3 et Z5.

L'orientation Est de la façade principale engendre une diminution du pourcentage de confort de 1.5% dans Z1, et une légère augmentation du pourcentage de confort dans Z2. Pour cette orientation la zone Z3 voit plus d'heures d'inconfort que la zone Z5.

La température maximale est légèrement augmentée pour les trois orientations par rapport au cas O1 (façade principale orienté vers le sud).

L'orientation de la façade principale vers l'ouest produit 106 heures chaudes de plus dans Z1 par rapport à l'orientation sud. Tandis que l'orientation de cette façade vers l'est augmente ces heures dans Z1 de seulement 36 heures !

L'orientation ouest met la paroi en exposition directe au soleil après 15h, période où la température extérieure commence à monter. Alors que l'orientation de la paroi vers le côté est expose l'appartement au rayonnement solaire pendant la période de la matinée, avant 12h. En cette période de la journée la température extérieure n'atteint pas encore les valeurs extrêmes de la température diurne.

Nous avons remarqué, selon ces résultats, que l'orientation de Z3 vers l'est diminue les heures chaudes de 51 heures par rapport au cas sud. D'autre part, l'orientation de cette zone 'Z3' vers l'ouest augmente les heures chaudes de 167 heures par rapport au cas Sud.

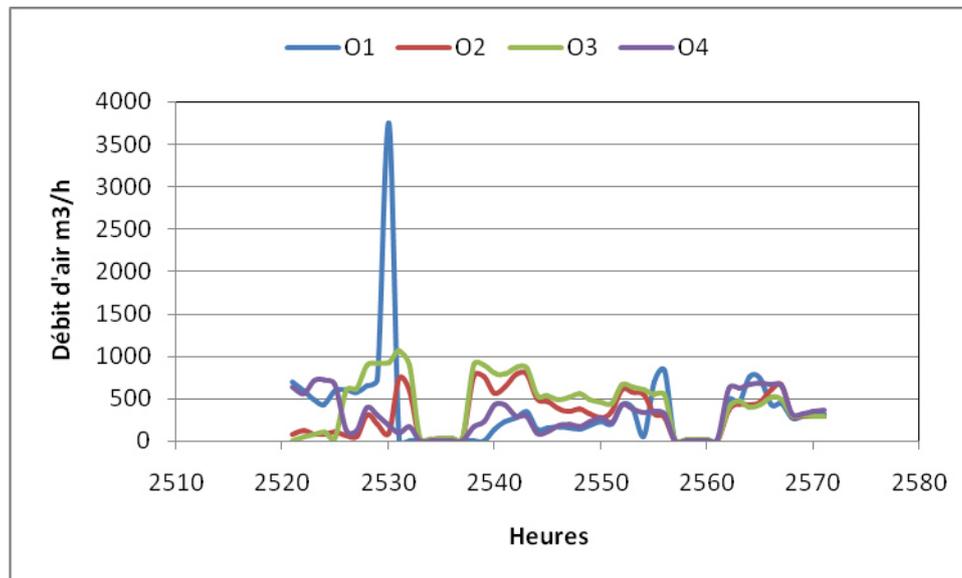


Figure V.38 Débit d'air extérieur dans la zone Z1 de l'appartement de deuxième étage dans la ville de Béchar du 15 au 16 Avril, scénario d'ouverture A1 pour les quatre orientations

Sur la figure V.38 Sur la figure IV.37 nous avons tracé le débit d'air extérieur entrant dans la zone Z1 pour les quatre orientations et ce pour deux jour de mi-avril. Le débit d'air varie d'une orientation à autre suivant la direction du vent et sa vitesse. La variation de ce courant d'air influe directement sur le confort thermique pendant les périodes d'ouverture des fenêtres, et même pendant les temps de fermetures de ces ouvrants. L'air parasite qui s'infiltré par les joints des cadres des fenêtres, prend des valeurs importantes qui dépendent fortement de la pression du vent sur la paroi [Baroun, 2006], [Fezzioui, 2014].

V.6 Effet des matériaux sur le confort thermique

Dans cette partie de notre travail, nous voulons tester l'effet de certaines enveloppes, sur le confort thermique dans l'appartement des villes en jeux.

Sur les histogrammes de IV.38 à IV.40, nous avons tracé, comme récapitulatif, les heures d'inconfort chaudes et froides de la zone Z1 de l'appartement dans les trois villes d'étude, et ce pour les quatre types d'enveloppes examinées (tableau IV.2) et pour les quatre orientations..

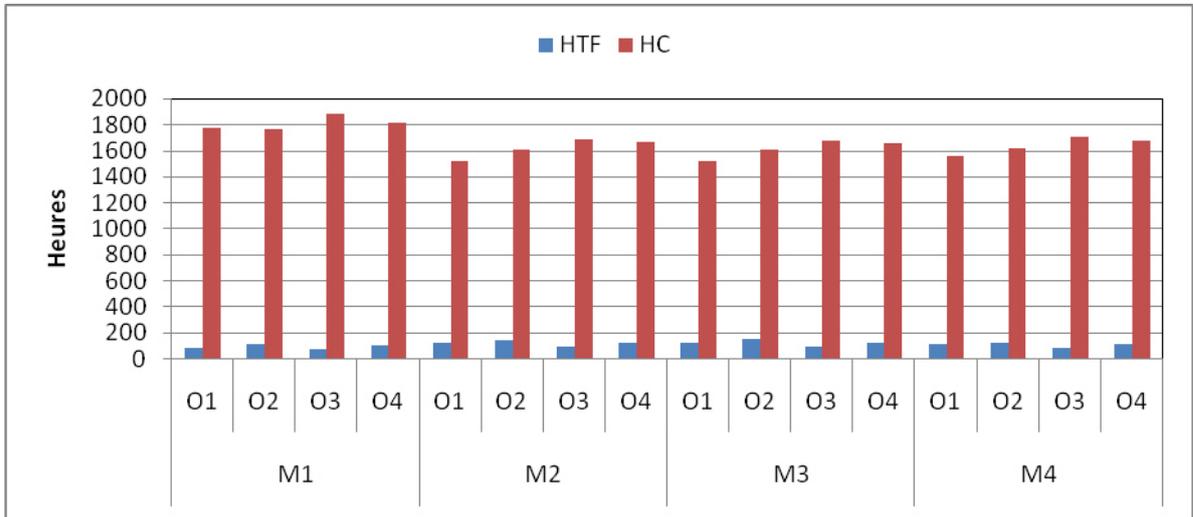


Figure V.39 Heures d’inconfort, en Z1, en mi saison pour les quatre orientons et les quatre type d’enveloppe choisis dans la ville d’Adrar , scénario A1

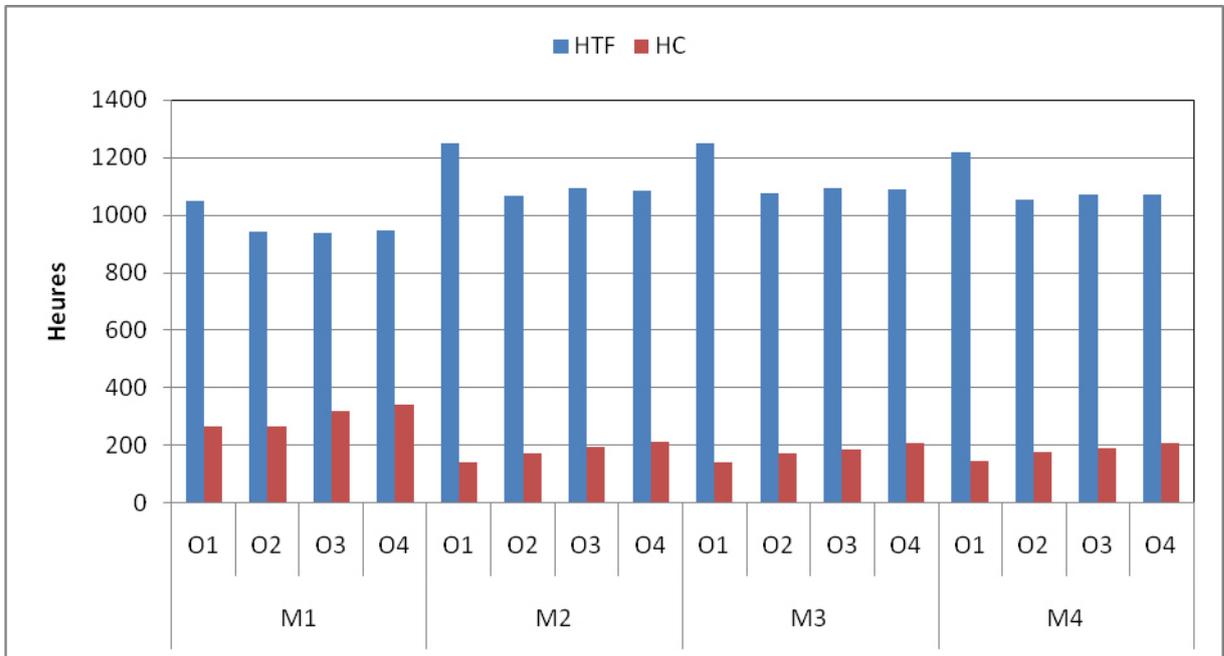


Figure V. Heures d’inconfort, en Z1, en mi saison pour les quatre orientations et les quatre type d’enveloppe choisis dans la ville d’Adrar, scénario

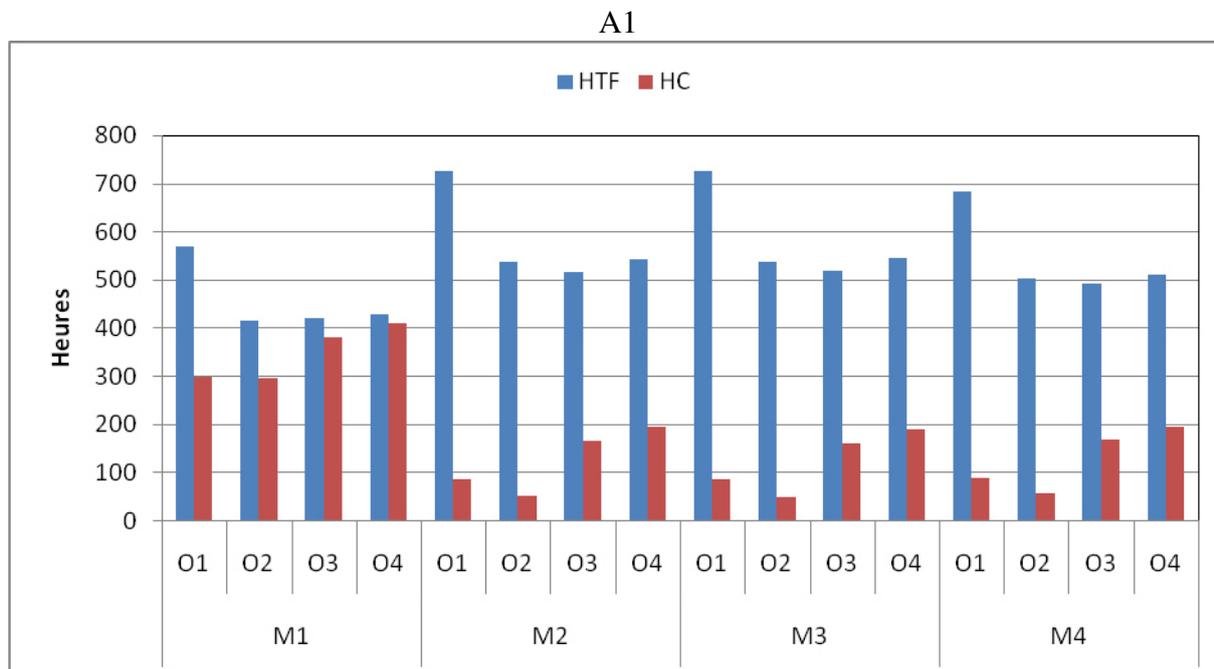


Figure V.41 Heures d'inconfort, en Z1, en mi saison pour les quatre orientations et les quatre type d'enveloppe choisis dans la ville de Béchar, scénario A1

La première lecture de ces histogrammes nous montre que les heures chaudes dans la ville d'Adrar sont beaucoup plus nombreuses que les heures trop froides, pour toutes les variantes examinées et par rapport à Béchar et Tamanrasset.

Ce qui confirme la nature très aride de type de climat dans cette ville du sud algérien.

Les heures froides enregistrées dans cette étude pour les différentes variantes, représentent moins de 200 heures sur les 3648 heures de la mi saison. Tandis que les 2000 heures chaudes s'approchent, en nombre, des 3648 heures de mi saison correspondant au mois d'avril, mai, juin, septembre, et octobre.

Nous avons vu, plus haut, que la température minimale ne descend pas en dessous de 14.5 dans cette ville. Cette température est observée pendant les nuits froides, avec fenêtre ouvertes, les mois d'Avril et octobre.

Pour le scénario de ventilation A1 et pour l'orientation Sud, nous avons remarqué que l'isolation de la toiture associée à l'isolation de la paroi extérieure, donne des heures chaudes légèrement plus nombreuses à celles obtenues dans le cas M2, sans isolation des parois extérieures et avec faux plafond de carreaux en plâtre.

Le cas M3, avec couche de polystyrène à la paroi extérieure et en faux plafond en plâtre, donne le plus petit nombre d'heures chaudes pour cette ville.

Pour cette ville on a tiré les remarques suivantes :

Pour le matériau M1, c'est l'orientation O2, suivi de O1 après vient O4 et O3 en dernier.

Pour le matériau M2, c'est l'orientation O1, suivi de O2, O4 et O3 en dernier

Pour le matériau M3 c'est l'orientation O1, suivi de O2, O4 t vient après O3.

L'orientation Ouest est donc, selon ces résultats, celle qui engendre le plus grand nombre d'heures d'inconfort.

L'isolation des parois extérieures contribue à la réduction des heures chaudes en mi saison. Cependant, l'isolation de la toiture ne contribue que peu à l'amélioration du confort thermique

en cette période de l'année, en la comparant avec l'utilisation de faux plafond en plâtre qui a donné, avec l'isolation des murs extérieurs, les bons résultats parmi ces enveloppes examinées.

Plusieurs travaux dans la littérature ont montré que l'isolation de l'enveloppe bâti contribue fortement à la réduction de la consommation énergétique des bâtiments, par contre et pour les locaux non conditionnés, elle augmente la température du local sous l'action des gains internes, si le local n'est pas bien ventilé [Caciolo, 2010] et [Barhoun, 2006], [Fezzioui, 2008] [Chahâne, 2011]. Cela explique l'augmentation du nombre d'heures chaudes dans le cas M4 par rapport au cas M3 et M2. En fait, l'après-midi, avec la fermeture des fenêtres et en présence des occupants et des appareils domestiques, la température intérieure de la zone augmente et la chaleur ne peut pas être évacuée vers l'extérieur puis qu'elle est bloquée par la présence d'isolant qui freine sa transmission.

Le rôle de la ventilation naturelle dans les bâtiments isolé ou avec forte inertie est bien d'évacuer la chaleur emmagasinée pendant le jours.

L'histogramme de la figure IV.39, indique que les heures froides sont beaucoup plus nombreuses que les heures chaudes pour les différentes variantes situées à Béchar.

L'enveloppe M3 est celle qui donne les heures chaudes les moins nombreuses, suivi de M2. L'isolation de la toiture associée à celle des parois extérieures vient en troisième position.

Pour cette ville, Béchar, nous avons constaté que l'orientation O1, et pour les quatre types d'enveloppes examinées, est celle qui donne les meilleurs résultats suivi de O2, puis O3 et O4 en dernière position.

Les heures froides ont été observées pour le cas de l'orientation O1 et pour l'enveloppe M2. A notre avis cela peut être expliqué par l'introduction des isolants dans les parois ou dans la toiture, qui empêche l'appartement de bénéficier des gains solaires en saison froide.

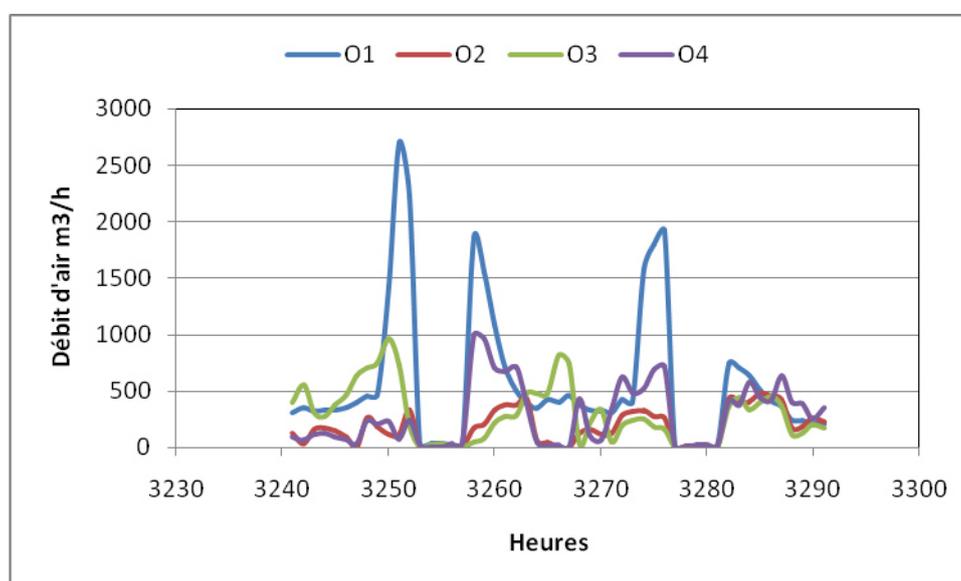


Figure V. Débit d'air extérieur dans la zone Z1 de l'appartement du deuxième étage dans la ville de Tamanrasset du 15 au 16 Avril, scénario d'ouverture A1 pour les quatre orientations

La forme des histogrammes est changée pour la ville de Tamanrasset, comme l'indique la figure V.41.

Les heures froides sont toujours plus nombreuses que les heures chaudes. Pour l'enveloppe M1, l'orientation O4 leur nombre devient sensiblement le même. L'écart devient plus important pour l'orientation O3 et pour l'orientation O2 ou on observe une différence de 120 heures entre les HTF et HC.

Dans cette ville, l'orientation O2 est celle qui donne le plus faible nombre d'heures chaudes. Suivi de O1, après O3 et O4 en dernière.

Les enveloppes M2, M3 et M4 produisent le même nombre d'heures chaudes.

Pour cette ville, nous avons remarqué que l'isolation des parois extérieures diminue le nombre d'heures chaudes de 215 heures pour l'orientation O1.

Toutefois, l'association de l'isolation avec la ventilation naturelle en cette période de l'année entraîne des heures froides plus nombreuses par rapport au cas sans isolation. Cela est dû probablement à l'isolation qui empêche les parois de l'appartement de bénéficier des rayons solaires des temps tiède de mi saison.

Sur la figure IV.41, nous avons tracé à titre d'exemple le débit d'air pour les quatre orientations, et pour l'enveloppe M1, dans la zone Z1 de l'appartement du deuxième étage à Tamanrasset. Selon la direction du vent, les allures du débit entrant dans la zone Z1 varient pour chaque orientation. Le débit est très élevé pour l'orientation sud O1 et moins important pour l'orientations 'O2'.

La fluctuation de ce débit dépend de la vitesse, de la direction et des surfaces des ouvrants. Il a un impact direct sur la température opérative dans la zone, et ainsi améliorer ou réduire le confort!

CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons étudié numériquement l'impact de certaines variantes sur le confort thermique dans les trois villes d'étude. Nous voulons par cela examiner l'effet du potentiel de la ventilation naturelle et à quel point il peut contribuer à améliorer le confort thermique dans ces édifices pendant la saison chaude.

Nous avons défini des scénarii de ventilation naturelle en fonction des habitudes et du comportement des occupants pour mieux comprendre leur adaptation au climat.

Les résultats ont montré que la gestion d'ouvertures des fenêtres a un effet direct sur la réduction ou l'augmentation des heures d'inconfort.

La ville d'Adrar avec sa nature hostile de son climat nécessite une bonne gestion des heures de ventilation afin de ne pas générer plus d'heures chaudes en cette période de l'année.

La ventilation naturelle diurne améliore le confort thermique dans la ville de Tamanrasset, cependant la ventilation nocturne dans cette ville doit être utilisée en veillant à ne pas trop réduire la température intérieure et engendrer des heures froides.

Les mois de Juin et septembre sont les plus difficiles dans la ville de Béchar en cette période de mi saison. L'utilisation de la ventilation naturelle pour cette période, doit être bien contrôlée, afin d'éviter des heures de surchauffe.

L'isolation des parois extérieures limite les gains solaires en cette période de l'année. Son association avec l'isolation de la toiture est une solution efficace pour de réduire les heures d'inconfort, surtout en les combinant avec une ventilation naturelle bien contrôlée.

L'orientation des bâtiments est un facteur important pour réaliser le confort thermique. Nous avons remarqué à travers les résultats de nos simulations que les façades sud et nord ont donné les meilleurs résultats. En fait, même si le vent est important dans les autres orientations ouest et est, son effet devient moins important devant les gains solaires que reçoivent ces façades.

Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons voulu répondre à la question de pouvoir améliorer le confort thermique par ventilation naturelle, et limiter ainsi le recours à la climatisation en mi saison dans les régions à climats désertiques, tout en se focalisant sur la fenêtre comme élément architectural constituant une percée énergivore dans l'enveloppe du bâtiment : les gains solaires ainsi que les débits d'air y sont les plus très importants.

Des simulations numériques ont été réalisées à l'aide du logiciel thermique TRNSYS en couplage avec le logiciel aéraulique COMIS.

Notre étude est menée sur trois villes qui ont constitué notre choix, à savoir : Béchar avec son climat saharien très aride, d'un été chaud et sec et un hiver doux; la ville d'Adrar qui se caractérise par une nature aride et hostile, un climat très chaud et sec durant environ huit mois de l'année; et Tamanrasset, cette ville bien qu'étant située en plein Sahara, voit son climat modifié par son altitude et bénéficie donc d'un climat doux et tempéré avec des températures moins élevées que les régions voisines.

Les données météorologiques, nécessaires pour effectuer nos simulations, ont été extraites de la base de donnée du logiciel Meteonorm, qui est un logiciel spécialement conçu pour faire des simulations climatologiques pour applications d'énergie solaire passive, active et photovoltaïque.

Les résultats des simulations numériques ont été présentés en testant l'impact de quelques variantes : position de l'appartement dans l'immeuble, orientation du bâtiment, isolation des parois extérieures, et des toitures, et scénarios d'ouvertures des ouvrants.

Les résultats des simulations varient d'une ville à une autre. La ville de Tamanrasset est la ville qui peut bénéficier de mieux de la ventilation naturelle vu la nature de son climat, comme l'illustre son diagramme de Sozokolay. Elle présente des périodes, même en mois de Juillet et Août, où la ventilation nocturne peut aider à améliorer le confort thermique.

La nature rude du climat de la ville d'Adrar, met en évidence l'inefficacité de la ventilation naturelle pour ce type de climat. En fait, la majeure partie de la période de mi saison pour cette ville, se situe en dehors de la zone de où le potentiel de la ventilation naturelle peut contribuer au bon confort.

Les résultats présentent des pourcentage de temps de confort de l'ordre 45% (pour la période de mi saison) qui est un pourcentage relativement faible par rapport à celui qu'on a pu calculer dans la ville de Béchar (en moyenne de l'ordre de 68%) et à Tamanrasset (en moyenne de l'ordre de 74%).

En outre, ces pourcentages de temps de confort étaient surtout obtenus soit pendant les nuits, soit pour les journées des mois d'Avril et Octobre.

Pour la ville de Béchar, la ventilation naturelle est très efficace pour les mois de Mai et d'Octobre, ainsi que pendant les après-midis du mois d'Avril. Pour ce dernier mois la ventilation nocturne a engendré un nombre d'heures froides très élevé, mais pas inquiétant puisque la température minimale qu'on a observé ne dépassait pas les 10°C. Donc fermer les stores le jour et laissant les fenêtres ouvertes la nuit permet aux habitants de cette ville de profiter de cette fraîcheur nocturne.

Pour cette ville, et pour une bonne partie des mois de Juin et Septembre qui sont les plus chauds en mi saison, la ventilation naturelle diurne est recommandée le matin tôt et le soir après 17h. La ventilation nocturne reste aussi utilisable tant que la température extérieure ne dépassant pas les 30°C.

Vu la complexité du phénomène, nous n'avons pas étudié ici l'effet des variantes examinées sur le taux de débit d'air qui entre dans le bâtiment. Nous nous sommes limités aux variations des températures et sur les heures d'inconfort pendant cette période de l'année.

Cependant, le débit d'air qui s'infiltré dans la maison ne dépend pas que des dimensions des ouvrants et leur orientation vis-à-vis du vent, mais aussi de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur [FEZZIOUI, 2014], [Caciolo, 2010].

Le débit de l'air est plus élevé dans les appartements des étages supérieurs, puisque la vitesse du vent augmente avec la distance au sol..

Le confort dans ces appartements aux étages supérieurs est médiocre par rapport aux étages inférieurs, à cause du contact direct avec l'extérieur au travers de la toiture.

L'utilisation des faux plafonds en plâtre combinée à l'isolation des parois extérieures contribue à l'amélioration du confort thermique pour les bâtiments naturellement ventilés.

L'orientation Ouest est la plus chaude. La ventilation naturelle reste insuffisante pour remédier au problème d'inconfort.

Les orientations Nord et Sud offrent de bons résultats. Nord a moins d'apports solaires en cette saison, alors que l'orientation sud est plus facile à protéger.

La bonne gestion des ouvertures est le facteur principal pour le contrôle de la température intérieure et cela en fonction des températures extérieures et selon les besoin des occupants pour assurer une bonne qualité d'air.

Perspectives

Au cours de notre travail, nous avons observé quelques points qui peuvent constituer des prolongements à cette étude :

- Compléter ce travail en réalisant des études in situ pour les trois villes d'étude,
- Vérifier l'impact des dimensions des ouvrants et leur emplacement dans les façades des bâtiments
- Tester l'effet d'autres stratégies de refroidissement passif, telles que les cheminées évaporatives, surtout pour la willaya d'Adrar où nous avons constaté l'inefficacité de la ventilation naturelle pour remédier au problème d'inconfort.

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE 3 :

Tableau III.1 : Consommation d'électricité par habitant (en kWh) (Source :Sonelgaz, Newsletter No 9 d'Août 2010 : www.sonelgaz.dz/presse).....	36
Tableau III.2 Variation des précipitations moyennes annuelles à la station de Béchar 1988-2009 (O.N.M, 2010).....	42
Tableau III.3 Nombre de jours pluvieux en 2003 ?.....	42
Tableau III .4 Précipitations mensuelles en mm relevées les années 1997-1999.....	42
Tableau III .5 . Caractéristiques de la station pluviométrique d'Adrar.....	44
Tableau III .6 : Températures moyennes annuelles (1995-2014).....	44
Tableau III .7 : Températures moyennes mensuelles (1995-2010).....	45
Tableau III .8 : Les moyennes mensuelles des précipitations (en mm).....	46
Tableau III .9 : présente la vitesse des vents dans la station d'Adrar (OMS).....	47
Tableau III .10 : Moyennes mensuelles d'ensoleillement (1991-2010).....	48
Tableau III .11 : variations mensuelles des précipitations Tamanrasset (2005-2014).....	52
Tableau III .12 : Humide relative relevées à Tamanrasset dans les années 2005-2014.....	53
Tableau III .13 : Durées totales de l'insolation relevées à Tamanrasset dans les années(2005- 2014)).....	54

CHAPITRE 4 :

Tableau IV.1 Description de l'appartement étudié.....	57
Tableau IV.2Caractéristiques thermo-physiques des parois et des matériaux utilisés [DTR C3-2, 1998], [Ben Habib & al ; 1994], [Ould-henia, 2003], [Hita & al, 2010], [Roulet, 2010].....	60
Tableau IV.3 Puissances dégagées par les appareils électroménagers.....	61
Tableau IV.4 coefficient d'échange convectif retenu sous TRNSYS.....	61

Tableau IV.5 Coefficients de transmission de la fenêtre.....	61
Tableau IV.6 Coefficients de transmission thermique de cadres des fenêtres [Roulet, 2010].....	61-62
Tableau IV.7 Expressions des Cd pour les portes internes.....	62
Tableau IV.8 Expressions des Cd pour ouvertures extérieures.....	62
Tableau IV.9 Caractéristiques physiques des fissures [Orme & al, 2002].....	61

CHAPITRE 5 :

Tableau V.1 Scénarii d'ouvertures des ouvertures de l'appartement étudié.....	65
Tableau V.2 Caractéristiques des enveloppes retenues par notre étude [DTR C3-2, 1998].....	66
Tableau V.3 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville d'Adrar, scénario A1.....	88
Tableau V.4 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Béchar, scénario A1.....	88
Tableau V.5 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Tamanrasset , scénario A1.....	89
Tableau V.6 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville d'Adrar, scénario A4.....	89
Tableau V.7 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Béchar, scénario A4.....	89
Tableau V.8 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Tamanrasset, scénario A4.....	90
Tableau V.9 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville d'Adrar, scénario A1.....	90
Tableau V.10 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Béchar, scénario A1.....	90
Tableau V.11 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Tamanrasset, scénario A1.....	91
Tableau V.12 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi	91

saison dans la ville d'Adrar, scénario A4.....	
Tableau V.13 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Béchar, scénario A4.....	91
Tableau V.14 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Tamanrasset, scénario A4.....	91
Tableau V.15 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville d'Adrar, scénario A1.....	91
Tableau V.16 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Béchar, scénario A1.....	92
Tableau V.17 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Tamanrasset, scénario A1.....	92
Tableau V.18 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville d'Adrar, scénario A4.....	92
Tableau V.19 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Béchar, scénario A4.....	92
Tableau V.20 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Tamanrasset, scénario A4.....	92
Tableau V.21 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville d'Adrar, scénario A1.....	93
Tableau V.22 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Béchar, scénario A1.....	93
Tableau V.23 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Tamanrasset, scénario A1.....	93
Tableau V.24 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville d'Adrar, scénario A4.....	93
Tableau V.25 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Béchar, scénario A4.....	93
Tableau V.26 Heures d'inconfort et pourcentage de confort durant la période de mi saison dans la ville de Tamanrasset, scénario A4.....	94

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE 1 :

Figure I.1 : Habitat troglodyte Matmata en Tunisie	6
Figure I.2 : Regroupement de maisons dans un creux de vallée à Béni-Abbès.....	6
Figure I.3 : Création d'un microclimat à travers le rapport judicieux entre cadre bâti et environnement végétal. A gauche Ksar de BéniAbbès, à droite Ksar de Kenadsa.	6
Figure I.4 : Forme urbaine compacte à Taghit à gauche et au Ksar de Kenadsa créatrice d'un microclimat urbain	7
Figure I.5: Forme urbaine compacte au M'zab créatrice d'un microclimat urbain....	7
Figure I. 6 : Vue des maisons serrées dans la ville de béni-abbès.....	8
Figure I. 7 : Regroupement de concessions dans le village d'Ism aili dans leS montagnes de Haras au Yémen.....	8
Figure I.8 : Blanchissement des bords des petites ouvertures pour une meilleure admission de lumière naturelle (à gauche source : [Belakehal, 1995].....	9
Figure I. 9 : Habitat cour Maison de la palmeraie à Ghardaïa.Source : CORPUS, Architecture traditionnelle méditerranéenne (Maison de la Vallée duM'Zab).....	10
Figure I.10: Patio au pays du Maghreb (source www.lepatiodefes.com).....	10
Figure I. 11 : Tour à vent pour refroidissement passif dans l'architecture Iranienne. Source : http://www.cyberarchi.com/actus&dossiers/batiments-publics/ (2004)...	11
Figure I.12 : Tours de refroidissement (source [Ayoob, 1990]).....	11
Figure I. 13 : Détails de moucharabieh à Alep en Syrie.Source : http://pictures.traveladventures.org/images/aleppo03	12
Figure I.14 : Types de toitures traditionnelles (source [Ghrab- Marcos, 1991).....	13
Figure I.15 : Fontaine utilisée comme source d'humidification naturelle en ..architecture (source http://www.riadlounafes.com/).....	13
Figure I. 16 : Habitat dans la palmeraie de Béni-Izguen à Ghardaïa.....	14
Figure I. 17 : Habitat entouré de jardin a Tadjm out Laghouat	14
Figure I.18 : Mur ventilé (source [Ayoob, 1990]).....	15
Figure I. 19 : Iwan de la mosquée El imam à, Asfahan en IranSourcr : http	15

://pictures.traveladventures.org/images/masjedeemam06.....	
Figure I. 20 : Trou isolé d'un bâtiment à Al Hajjarayn, W adi dawan au Yémen	16
Source : http://pictures.traveladventures.org/images/fr/wadidawan10 (2004).....	
Figure I.21 : à gauche : Murs acrotères (source [Bencheikh, 2007]) ; à droite : Hauteur des murs de clôture des terrasses des maisons au M'zab : Visibilité, climat et intimité (Source [Belakehal, 1995]).....	17

CHAPITRE 2:

Figure II.1 : Action du vent sur les bâtiments	23
Figure II.2 : Effet du tirage thermique dans les bâtiments	23
Figure II.3 : Effets combinés du vent et du tirage thermique	24
Figure II.4 : Illustrations de la ventilation naturelle par conduits verticaux.	24
Figure II.5 : Diagramme schématique de trois types de cavité pour le chauffage passif et la ventilation naturelle.....	26
Figure II.6: Mur Trombe utilisé comme a) ventilateur, b) chauffage	27
Figure II.7: Façade double peau	28
Figure II.8: Influence de l'implantation de l'écope en toiture	29
Figure II.9 : Tour à vent à YAZD, IRAN	30
Figure II.10 : Utilisation de l'humidification dans le tour à vent	31
Figure.II.11: différentes configurations des coupoles	32
Figure II. 12: Les différents cas de fonctionnement des Dômes.	33
Figure II.13 : la cheminée solaire	34
Figure II.14: Exemple de cheminée solaire intégré sur le bâtiment	35
Figure II.15: Les trois modes de fonctionnement d'une cheminée solaire ...	36

CHAPITRE 3 :

Figure III.1 courbes de température moyenne mensuelle – Période 1997-2008 (O.N.M, 2010).....	38
Figure III.2 Courbe d’humidité relative moyenne mensuelle – Période 1997-2008 (O.N.M, 2010).....	38
Figure III.3 courbes d’Humidité relative moyenne (%) en rouge, courbe de température moyenne mensuelle en rouge - Période 1997-2008 (O.N.M, 2010).....	39
Figure III.4 Fréquences mensuelles du vent selon les huit directions (en %) - Période 1997-2008 (O.N.M, 2010)	40
Figure III.5 Répartition fréquentielle des vents (par classes de vitesses et selon les huit directions -Période 1997-2008 (O.N.M, 2010).....	41
Figure III.6 Diagramme ombrothermique de la région de Béchar. Courbes des précipitations moyennes mensuelles (Pm, mm), courbe de température moyenne mensuelle (Tm,°C) - Période 1997-2008 (O.N.M, 2010).....	43
Figure III.7 Variations moyennes annuelles des températures.....	45
Figure III.8 Variations moyennes mensuelles des températures.....	45
Figure III.9. Les moyennes interannuelles des précipitations.....	46
Figure III.10. Les moyennes mensuelles des précipitations.....	47
Figure III.11.les moyennes mensuelles de la vitesse du vent.....	47
Figure III.12.les moyennes mensuelles d’humidité relative de l’air (hr %).....	48
Figure III.13.Moyennes mensuelles d’insolation.....	49
Figure III.14. Courbes de température moyenne mensuelle à Tamanrasset – Période 2014-2014 (O.N.M, 2015).....	50
Figure III.15. Répartition fréquentielle des vents Tamanrasset.....	51
Figure III.16. Vitesse annuelle du vent à Tamanrasset (ONM, 2014).....	52
Figure III.17. Humidité relative à Tamanrasset (ONM, 2014).....	54

CHAPITRE 4:

Figure IV.1 Plan de l'appartement étudié.....	56
Figure IV.2 L'immeuble d'étude dans TRNbuild.....	59
Figure IV.3 Scénarii d'occupation des différentes zones de l'appartement (gauche profil d'occupation semaine, droit profil d'occupation week-end).....	60
Figure IV.4 Simulation de l'appartement d'étude dans COMIS.....	62
Figure IV.5 Simulation de l'appartement d'étude dans TRNSYS.....	63

CHAPITRE 5 :

Figure V.1 Température opérative intérieure admissible dans un local non conditionné...	64
Figure V.2 O1 : Orientation vers le sud.....	67
Figure V.3 O2 : Orientation vers le nord.....	67
Figure V.4 O3 : Orientation vers l'Ouest.....	68
Figure V.5 O4 : Orientation vers l'est.....	68
Figure V.6 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 15 au 16 Avril, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville d'Adrar.....	69
Figure V.7 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 15 au 16 Mai, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville d'Adrar.....	69
Figure V.8 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 15 au 16 Juin, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville d'Adrar.....	70
Figure V.9 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 1 au 2 Septembre, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville d'Adrar.....	70
Figure V.10 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 15 au 16 Octobre, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville d'Adrar.....	71
Figure V.11 Débit d'air extérieur dans l'appartement de deuxième étage dans la ville de Béchar du 15 au 16 Juin, scénario d'ouverture A1.....	71
Figure V.12 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 15 au 16 Avril, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville de Bechar.....	73

Figure V.13 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 15 au 16 Mai, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville de Bechar.....	73
Figure V.14 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 15 au 16 Juin, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville de Bechar.....	74
Figure V.15 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 1 au 2 Septembre, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville de Bechar.....	74
Figure V.16 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 15 au 16 Octobre, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville de Bechar.....	75
Figure V.17 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 15 au 16 Avril, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville de Tamanrasset.....	76
Figure V.18 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 15 au 16 Mai, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville de Tamanrasset.....	76
Figure V.19 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 15 au 16 Juin, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville de Tamanrasset.....	77
Figure V.20 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 1 au 2 Septembre, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville de Tamanrasset.....	77
Figure V.21 Evolution de la température dans l'appartement étudié du 15 au 16 Octobre, pour le scénario d'ouverture A1, dans la ville de Tamanrasset.....	78
Figure V.22 Rayonnement solaire reçu sur les quatre surfaces verticales principales et sur une surface horizontale d'un bâtiment dans la ville de Béchar: En haut : pour une journée du moi Juillet ; En bas : pour une journée du moi Janvier.....	79
Figure V.23 Evolution de la température dans la zone Z1 , du 15 au 17 Avril dans la ville d'Adrar pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : rez de chaussée.....	80
Figure V.24 Evolution de la température dans la zone Z1 , du 15 au 17 Mai dans la ville d'Adrar pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : rez de chaussée.....	80
Figure V.25 Evolution de la température dans la zone Z1 , du 15 au 17 Juin dans la ville d'Adrar pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : rez de chaussée.....	81
Figure V.26 Evolution de la température dans la zone Z1 , du 1 au 2 Septembre dans la ville d'Adrar pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC.....	81

Figure V.27 Evolution de la température dans la zone Z1, du 15 au 17 Octobre dans la ville d'Adrar pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : rez de chaussée	82
Figure V.28 Evolution de la température dans la zone Z1 , du 15 au 17 Avril dans la ville de Bechar pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : réez de chaussée.....	83
Figure V.29 Evolution de la température dans la zone Z1 , du 15 au 17 MAI dans la ville de Bechar pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : rez de chaussée	83
Figure V.30 Evolution de la température dans la zone Z1 , du 15 au 17 Juin dans la ville de Bechar pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : rez de chaussée.....	84
Figure V.31 Evolution de la température dans la zone Z1 , du 01 au 03 SEPTEMBRE dans la ville de Bechar pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : rez de chaussée.....	84
Figure V.32 Evolution de la température dans la zone Z1 , du 15 au 17 Octobre dans la ville de Bechar pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : réez de chaussée	85
Figure V.33 Evolution de la température dans la zone Z1 , du 15 au 17 Avril dans la ville de Tamanrasset pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : réez de chaussée.....	86
Figure V.34 Evolution de la température dans la zone Z1 , du 15 au 17 Mai dans la ville de Tamanrasset pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : rez de chaussée.....	86
Figure V.35 Evolution de la température dans la zone Z1 , du 15 au 17 Juin dans la ville de Tamanrasset pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : réez de chaussée.....	87
Figure V.36 Evolution de la température dans la zone Z1 , du 1 au 3 Septembre dans la ville de Tamanrasset pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : réez de chaussée.....	87
Figure V.37 Evolution de la température dans la zone Z1 , du 15 au 17 Octobre dans la ville de Tamanrasset pour les trois étages : Deux : deuxième étage ; UN premier étage ; RDC : réez de chaussée.....	88

Figure V.38 Débit d'air extérieur dans la zone Z1 de l'appartement de deuxième étage dans la ville de Béchar du 15 au 16 Avril, scénario d'ouverture A1 pour les quatre orientations.....	95
Figure V.39 Heures d'inconfort, en Z1, en mi saison pour les quatre orientations et les quatre type d'enveloppe choisis dans la ville d'Adrar , scénario A1.....	95
Figure V.40 Heures d'inconfort, en Z1, en mi saison pour les quatre orientations et les quatre type d'enveloppe choisis dans la ville de Béchar, scénario A1.....	96
Figure V.41 Heures d'inconfort, en Z1, en mi saison pour les quatre orientations et les quatre type d'enveloppe choisis dans la ville de Tamanrasset, scénario A1.....	96
Figure V.42 Débit d'air extérieur dans la zone Z1 de l'appartement de deuxième étage dans la ville de Tamanrasset du 15 au 16 Avril, scénario d'ouverture A1 pour les quatre orientations.....	98

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE:

- [AQME. 2004]. Pour mieux comprendre la complexité de l'efficacité énergétique et sa contribution au secteur énergétique du Québec. Association québécoise pour la maîtrise de l'énergie.
- [Alain Liebard, André De Herde]. , Alain Liebard, Andre De Herde– Guide de
- l'architecture bioclimatique-tomme 3 : construire en climat chaud- édition LEARNET « Observ'ER », Paris 2003 p.1
- [Fezzioui, 2014] Fezzioui Naima. Analyse et caractérisation du bilan d'énergie d'un habitat traditionnel région sud ouest . Doctorat Es science, Université Béchar, 2014.
- [Bencheikh, 2007] Bencheikh Hamida. Étude et réalisation d'un système de refroidissement passif en utilisant une toiture radio-évaporative dans les climats chauds et arides. Doctorat Es science, Université Mentouri de Constantine, 2007.
- [AL-mumin, 1995] AL-Mumin A. A. Thermal performance prediction of shaded sunken courtyard buildings in a hot arid climate. Thèse de doctorat, Office of graduation studies of Texas A&M University, 1995.
- [Ayoob, 1990] Ayoob N. A. Analyse théorique et expérimentale du comportement de systèmes de refroidissement évaporatif couplés à des enveloppes de bâtiments. Thèse de Doct rat, Université de Nice-Sophia Antipolis, 1990.
- [Belakehal, 1995] Belakehal A. la façade entre l'esthétique et le contrôle du rayonnement solaire, mémoire de magistère, Université de Biskra, 1995.
- [Bagneid, 2006] Bagneid A. The creation of a courtyard microclimate thermal model for the analysis of courtyard houses. Thèse de doctorat, Office of Graduate Studies of Texas A&M University, 2006.
- [Alaxandroff 1982] Alaxandroff, G. Architectures et climats . Levrault: Berger 1982, pp. 24.
- [Karakatsani 1986] Karakatsanis, C., Bahadori, M. N. et Vickery, B. J. "Evaluation of pressure coefficients and estimation of air flow rates in buildings employing wind tower." 37. Issue 05 (1986) Solar Energy, pp. 363-374.

CH2

- [M'Sellem et D. Alkam 2009]. M'Sellem et D. Alkam, Le confort thermique entre perception et évaluation par les techniques d'analyse bioclimatique Cas des lieux de travail dans les milieux arides à climat chaud et sec, Revue des Energies Renouvelables Vol. 12 N°3, pp. 471 – 488 (2009).
- [Alain Liébard 2005] Alain Liébard, Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques, édition Le Moniteur. (2005).
- [AKCHICHE Zineb 2011]. AKCHICHE Zineb, étude de comportement d'une cheminée solaire en vue de l'isolation thermique , mémoire de magister, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA (2011).
- [J.Koffi 2009]. J. Koffi, Analyse Multicritère Des Stratégies De Ventilation En Maisons Individuelles", Thèse De Doctorat, université de la rochelle, France, (2009).
- [Hugues Boivin 2007]. Hugues Boivin, la ventilation naturelle développement d'un outil d'évaluation du potentiel de la climatisation passive et d'aide à la conception architecturale, maître ès sciences (M.Sc.), université Laval Québec, (2007).

- [Guohui Gan 2006].Guohui Gan. Simulation of buoyancy-induced flow in open cavities for natural ventilation. Energy and Buildings 38 (2006) pp 410–420.
- [N. Fezzioui 2008].N. Fezzioui; B. Daroui; A. Aït-Mokhtar; S. Larbi, Stratégie de l'architecture bioclimatique dans le ksar de kenadsa, The third architecture and sustainability conference in biskra (BASC 2008).
- [Yoshiteru Shinada 2007].Yoshiteru Shinada, Ken-ichi Kimura, Hiromasa Katsuragi, Sung-ki Song, Natural Ventilation System for a School Building Combined with Solar Chimney and Underground Pit, Proceedings of Annual Meeting of Japan Solar Energy Society. Suwa.pp. 83-86. (In Japanese) (2007).

CH3

- [Givoni, 1979], B. Givoni. L'Homme, L'Architecture et le Climat. Édition : Le Moniteur, Paris 1978. p 21.
- [R. Benziada, 2006],R. Benziada, 'Etude du Conditionnement Climatique des Locaux dans le Contexte Saharien', Mémoire de Magister, C.U. Béchar, 144 p., 2006.
- [Adelard, 1998]. Allard F. ; Natural Ventilation in Buildings. Ed James and James, London, 1998.
- [Guyot, 1999]Guyot. G, 1999, Climatologie et Environnement, DUNOD ,2eme édition.
- [Haidaoui Ahlam 2015].Haidaoui Ahlam et Louannas Abdelmonaim. Etude du système traditionnel d'irrigation au Sahara, exemple des Foggaras de la région d'Adrar (Touat) , Master Géologie .Université Telemcen, 2015.

CH4

- [Safer, 2006]. Safer N. Modélisation des façades de type double-peau équipées de protections solaires: Approches multi-échelles. Thèse de doctorat, INSA de Lyon, Centre de thermique de Lyon, 2006.
- [Flory-Celini, 2008]. Flory-Celini, C. Modélisation et positionnement de solutions bioclimatiques dans le bâtiment résidentiel existant. thèse de doctorat. l'Université Lyon 1 Claude Bernard 2008.
- [Furbringer, 1996]. Furbringer J.-M, Roulet C.-A, Borchiellini R. Annex 23 :Multizone Air Flow Modelling Final Report, Evaluation of COMIS. Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne, LESO.PB. Institute of building Technology, IEA, ECBCS (International Energy Agency, Energy conservation in buildings and community systems programme), 1996.
- [Fezzioui , 2008]. Fezzioui N., Benyamine M., Draoui B. La maison à patio : Réponses aux exigences sociologiques, culturelles et thermiques. Conférence internationale : Médina : tissu urbain à sauvegarder. Tlemcen 13 et 14 mai 2008.
- [DTR C3-2, 1998], Rapport Technique, 'Document Technique Réglementaire, 'Règlement Thermique des Bâtiments d'Habitation - Règles de Calcul des Déperditions Calorifiques'', DTR C3-2.
- [Ben Habib & al ; 1994], R. Ben Habib, A. Aït-Mokhtar and F. Allard ; Analyse Bioclimatique de l'Habitat Traditionnel des Régions Désertiques Nord Sahariennes,

Conférence Européenne, Performance Energétique et Qualité des Ambiances dans le Bâtiment, Lyon, Novembre 1994.

- [Ould-henia, 2003], Ould-henia, A. Choix climatiques et construction. Zone arides et semi arides. Maison à cour de Bou-SAADA. Thèse de doctorat, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 2003
- [Hita& al, 2010], Hita J. M. O. Z. J.L, Khayet M., Legido J. L., Measurement of the thermal conductivity of clays used in pelotherapy by the multi-current hot-wire technique, Applied Clay Science 50 (2010) 423–426
- [Roulet, 2010], Roulet Claude-Alain. Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 2010.
- [Barhoun, 2006], HassamBarhoun. Influence des transferts aérauliques dans les parois sur leurs performances thermiques. thèse de doctorat l'Institut national des sciences appliquées de Lyon, 2006.
- [Caciolo, 2010]Caciolo M.; Analyse expérimentale et simulation de la ventilation naturelle mono-façade pour le rafraîchissement des immeubles de bureau. thèse de doctorat l'École nationale supérieure des mines de Paris, 2010.
- Source : station métrologique d'Adrar
- Source : Division de la Climatologie - DMRS - ONM - Tamanrasset

REFERENCE D'INTERNET

- <http://yemen2001.blogspot.com>.
- source www.lepatiodefes.com
- <http://www.cyberarchi.com/actus&dossiers/batiments-publics/> (2004)
- <http://pictures.traveladventures.org/images/aleppo03>
- <http://www.riadlounafes.com>
- <http://www.riadlounafes.com>
- <http://pictures.traveladventures.org/images/fr/wadidawan10> (2004)
- www.sonelgaz.dz/presse