

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE AMMAR TELIDJI DE LAGHOUAT

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE

N°d'ordre.....

Série.....

MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de MAGISTER

OPTION : CONSTRUIRE DANS UN ENVIRONNEMENT ARIDE

THEME

**Performances thermiques des maisons ksouriennes en terre
crue et en terre améliorée en zone aride , cas d'étude
Laghouat**

Présentée par :

Mr : MOULAY Redouane

Sous la direction de :

Dr BENCHEIKH HAMIDA

Jury d'examen :

Président	KHENFAR Med Mouldi	Professeur	Université de Laghouat
Examinatrice	Othmani Merabet Zohra	Maître de conférence B	Université de Laghouat
Examineur	BADA Yacine	Maître de conférence A	Université de Biskra
Rapporteur	BENCHEIKH Hamida	Maître de conférence A	Université de Laghouat
Co-Rapporteur	ROUAG-SAFFIDINE Djamilia	Professeur	Université de Constantine

Soutenu le 29/10/2015

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

"يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ"

وَقُلْ لِيُحْيِيكُمْ كَلِمَاتٌ

◀ ما أمر النبي صلى الله عليه وسلم بأن يسأل شيء من الدنيا مثل التزود من العلم

Designer



www.mwaheb.net

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents qui m'ont soutenu dans les moments difficiles et m'ont guidé le long de mon parcours, et sans oublier mes frères Kheireddine et Taher.

*Je ne peux passer sous silence l'appui constant de ma partenaire et conjointe **Houda**, qui m'a soutenu dans tous mes moments de doutes et d'interrogations.*

A tous mes amis qui ont suivi avec une attention particulière mon cheminement.

Enfin j'adresse mes meilleurs sentiments à toutes les personnes que je n'ai pas cités et ont contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce travail.

Redouane

Remerciement

Grace à Dieu j'ai achevé ce travail qui a nécessité beaucoup de volonté ,de patience et des effort soutenus .

Je voudrais exprimer ici ma gratitude à tous ceux qui, sous une forme ou sous une autre, m'ont aidé tout au long de ce travail, et plus particulièrement :

*Madame le Professeur **Safieddine Rouag. Djamila** (chargée de la post graduation à l'université MENTOURI Constantine) et Monsieur le docteur **BENCHEIKH Hamida** pour leur encadrement et leurs enseignements précieux, Je veux ici les remercier pour avoir toujours su m'aider, me soutenir, m'orienter, me conseiller et surtout pour avoir su me laisser une grande liberté et beaucoup d'autonomie tout en gardant un œil bienveillant sur moi ;*

*Je remercie aussi **M. KHENFAR Med Mouldi** , Professeur à l'université de Laghouat , pour m'avoir fait l'honneur de présider mon jury de thèse. Je tiens également à exprimer mes plus vifs remerciements à Madame le docteur **BOUCHAREB Fatma Zohra** et Monsieur **BADA Yacine** , docteur à Université de Biskra d'avoir accepté de faire partie du Jury.*

*Monsieur **LAROUI Mohamed** pour son enthousiasme, ses précieux conseils, sa disponibilité et le partage de ses nombreuses connaissances lors de nos nombreuses discussions; je remercie aussi Monsieur **BENARFA Kamel** , Monsieur **BENABED Benchaa***

*Je remercie également et très sincèrement une personne que j'estime beaucoup et que je considère comme mon grand frère **TOUZERI Said** (propriétaire) , pour son concours précieux in situ et sa grande patience .*

Je souhaiterai aussi remercier toutes les personnes qui m'ont aidé au cours de ce travail. Ma reconnaissance va à tous mes collègues de la post graduation .

*A tous mes amis **BELGIT Hassiba** ,**BENZIANE Soufiane** , **OULD ZMIRLI Abdelmoumen** qui ont suivi avec une attention particulière mon cheminement*

MOULAY Redouane

Résumé:

L'amélioration des ambiances intérieures tout en minimisant la consommation énergétique, constitue un véritable enjeu pour le secteur résidentiel. Dans ce travail, nous nous intéressons plus particulièrement au contexte saharien et semi saharien où la dureté du climat dicte une logique de production architecturale particulière, par son implantation, sa forme compacte et même par ses matériaux. (<http://www.lesdossiersdebiorespect.com> sur l'énergie, l'environnement.htm,2012) .

Le climat peut constituer un facteur déterminant dans l'architecture lorsqu'il est à contrainte unique. Par contre, s'il est à caractéristiques conflictuelles, il faut chercher un compromis selon les facteurs climatiques dominants du lieu. Une investigation a été menée sur terrain (relevé des températures, humidité relative, vitesse et direction du vent) d'une maison ksourienne en terre crue à Laghouat, afin d'estimer le rôle de l'inertie thermique du matériau local "Toub" sur le confort thermique sous un climat présaharien très chaud en été, froid et rigoureux avec une faible pluviométrie en hiver. Les résultats montrent que l'utilisation d'un matériau local "Toub" adapté au climat de la région est à l'origine de la réalisation du confort thermique et la consommation réduite de l'énergie.

A ce titre, la validation des résultats de l'investigation par le logiciel ENERGY PLUS (version 8.0.0) permet d'une part, de vérifier les résultats obtenus par la campagne de mesure in situ et d'autre part, de valoriser l'inertie thermique d'un matériau local "Toub", qui fait participer le bâtiment à une conception plus performante thermiquement et plus économe énergétiquement, et ce dans le maintien de l'équilibre thermique intérieur durable pour les situations les plus défavorables.

Mots-clefs : Architecture en terre, Matériaux locaux, Confort thermique, Inertie thermique, Economie d'énergie.

Abstract

The improvement of thermal comfort of buildings with reducing the energy consumption, is a real challenge for residential buildings, in this work we focus on the Saharian and semi Saharian context where the severe climate condition has a particular effect on the architectural production, by the influence of its implantation, compact shape and its construction materials.

The climate can constitute a basic factor in architecture when it's the only constraint, but on the other side, if there are conflicting characteristics it is necessary to look for a compromise according to the prevailing climatic factors of the area.

A field investigation was carried out (temperature, relative humidity, speed and direction of wind) on a ksourien house made with earth blocks in Laghouat region, in order to estimate the role of the thermal inertia of local material "Toub" on the thermal comfort in hot and dry climate. The results showed that using this local material Toub in hot and dry environment provided a good thermal comfort and reduced the energy consumption of buildings.

For this purpose, the validation of the obtained results has done using the ENERGY PLUS software. This allows on one hand to verify the obtained results of the measurements campaign in situ. And on the other the hand to value the thermal inertia of a local material "Toub" which is contributed in the design of building with better thermal performance and economic energetic consumption in unfavorable situations.

Key Words : Earth architecture, Local materials, Thermal comfort, Thermal inertia, Energy saving

ملخص

يمثل تحسين البيئة الداخلية للفضاءات من ناحية الراحة الحرارية تحديا كبيرا في قطاع السكن اذا اخدنا في عين الاعتبار الترشيح في استهلاك الطاقة , في هذا العمل تم تسليط الضوء على البنائيات في المناطق الجافة و الشبه الجافة أين يوجد نمط معماري مميز خاصة من ناحية موقع نسيج العمراني، شكله وحتى أنواع مواد البناء .

يعد المناخ من أهم العوامل الطبيعية المؤثرة في تصميم المبنى و تشكيل عناصره وصولا إلى خلق بيئة داخلية مريحة, إن موضوع دراستنا يهتم بنوعية الحرارة داخل المسكن التقليدي- بناية من تراب - لأن ذلك يسمح بإبراز أثر مواد البناء المحلية علي درجة حرارة الفضاء الداخلي.

لقد جاء موضوع بحثنا في شكل دراسة ميدانية، أين أخذت عينة من بيت تقليدي بالقصر القديم لمدينة الاغواط و ذلك من أجل البحث في العلاقة بين العوامل المناخية و مواد البناء و من ثمة مقارنتها . إذ قمنا بقياس درجات الحرارة , الرطوبة المطلقة و قوة الرياح لنمط مناخي شبه جاف الذي يميز المنطقة , وبالموازاة إلي ذلك للمصادقة علي النتائج المتوصل إليها ميدانيا تم محاكاة برنامج ENERGY PLUS , ولقد أسفرت نتائج الدراسة إلي إن الأخذ بعين الاعتبار عامل أثر مواد البناء المحلية الذي يسمح بتصميم أحسن أداء من الناحية الحرارية و الطاقة.

الكلمات المفتاحية – العمارة الترابية - مواد البناء المحلية - الراحة الحرارية - اقتصاد ال طاقة

Table des matières

Introduction générale

1. Problématique.....	02
2. Hypothèses de la recherche	03
3. Objectifs de la recherche.....	04
4. Méthodologie et outils de travail.....	04
5. Structure du mémoire.....	05

Première partie : Corpus théorique

Chapitre I----- Notions fondamentales de l'architecture en terre

I. Introduction	07
II. Architecture en terre	08
II-1- La terre comme matériau de construction	08
II. 1- 1- Historique et processus d'évolution de l'architecture en terre.....	09
II. 1- 2-La diversité de l'architecture en terre.....	10
II-2- Situation de l'architecture en terre a travers le monde.....	11
II. 2- 1- L'architecture de terre en Algérie.....	12
II. 2- 2- De la modernité des architectures en terre	13
III. Comportement thermique de l'ensemble des maisons ksourienne en terre	15
III. 1- L'organisation spatiale des ksours	15
III. 2- Etude de la maison Ksourienne	16
III. 3- Techniques et matériaux de construction	19
III. 4- les caractéristiques thermiques des matériaux de construction.....	21
IV. Pathologies et désordres des constructions ksouriennes.....	22
V. Les avantages de la terre crue	23
VI. Conclusion	24

Chapitre II ----- Construire avec le climat

I. Introduction	26
II. Relation : architecture-climat.....	27
III. Le confort thermique et l'analyse bioclimatique.....	27
III-1- Confort Thermique	27

III-2-Les outils d'évaluation du confort thermique.....	28
III -3-Evaluation du confort thermique par des enquêtes in situ.	28
III -4-Les outils graphiques d'évaluation du confort thermique.....	30
IV. Le confort thermique dans les maisons ksourienne	34
IV-1 -La démarche bioclimatique	34
IV-1.1.Principes de base de l'architecture bioclimatique	35
IV-1.2. La conception bioclimatique	36
IV-2 -L'isolation thermique	39
IV-3 -L'inertie thermique....	40
V. les strategies bioclimatiques pour Amélioration du confort thermique dans les maisons ksouriennes	40
V-1- Système de chauffage passif (confort d'hiver)	40
V-2- Système de rafraichissement passif (confort d'été)	41
VI. Conclusion	42

Deuxième partie : Cas d'étude

Chapitre III-----Présentation de l'environnement et du cas d'étude.

I. Introduction.	44
II. Bioclimat et ensoleillement de la ville de Laghouat	45
II-1- Situation de la ville de Laghouat	45
II-2- Analyse des éléments du climat	45
II-3- Le diagramme bioclimatique de Givoni.....	48
III. Présentation du cas d'étude maison ksourienne	50
III-1 site : localisation	50
III-2 l'ensoleillement et l'orientation	51
III-3- Composition de la maison :organisation spatial.....	53
III-4 système constructif et énergétique du cas d'étude	56
IV. Diagnostic énergétique du cas d'études	56
IV-1 Analyse du cas d'étude :Maison ksourienne dans son état initial.....	56
IV-1-1 Description du système de mesure	56
IV-1-2 Méthode de calcul point à point.....	57

IV-1-3 Mesure des températures intérieurs	59
IV-1-4 Synthèse des résultats de la campagne de mesures.....	67
V. Questionnaire.....	68
V-1 Synthèse et interprétation des résultats du questionnaire.....	68
VI. Conclusion.....	72

Chapitre IV----- Simulation numérique du cas choisi par ENERGYPLUS

I. Introduction.....	74
II. Présentation du logiciel.....	74
II.1. Description du logiciel	74
II.2.Objectifs de la simulation	75
II. 3. Déroulement de la simulation	75
III. La simulation numérique.....	75
III.1. Cas d'étude initial de la maison ksourienne	75
III.1.1. Application des données dans le programme " EnergyPlus".....	77
III.1.2. Analyse et interprétation des résultats.....	80
III.1.2.1. Période estivale: Comparaison entre les températures intérieures mesurées et celles simulées par EnergyPlus.....	81
III.1.2.2. Période hivernale: Comparaison entre les températures intérieures mesurées et celles simulées par EnergyPlus.....	82
III-2 Cas d'étude amélioré de la maison ksourienne.....	82
III.2.1. Analyse et interpretation des résultats	83
IV. Comparaison des résultats (campagne mesurés et simulés)	84
V. Conclusion	85
Conclusion générale	86
Axes pour futures recherches	88

Liste des Figures

Chapitre I :

Figure I. 1 : Les différents types de terre	08
Figure I.2: Tchoga zambil en Iran,	09
Figure I.3: Mari en Syrie,	10
Figure I.4: Shibam au Yémen,	10
Figure I.5: Architecture de terre dans le monde	11
Figure I. 6: Casa vivi construction en torchis	13
Figure I.7: Maison privée ,Bogota colombie	14
Figure I.8: shéma d'implantation du ksar ..	15
Figure I. 9: Association des maisons ksouriennes	16
Figure I.10: les différents types des maisons ksouriennes	17
Figure I.11 : organisation fonctionnelle des espaces dans un maison ksourienne	18
Figure I.12: Système constructif des habitations ksourienne.....	19
Figure I.13: coupe schématique du plancher	20
Figure I.14: plafaond traditionnel fait en bois de palmier	20
Figure I.15: Effondrement total des maisons ksourienne.....	23

Chapitre II :

Figure II. 1 :Diagramme bioclimatique	31
Figure II. 2 : Zones de confort selon le diagramme bioclimatique de Givoni	33
Figure II. 3 : ruelle de l'ancien ksar de la ville de Laghouat.....	37
Figure II. 4 : Coefficients d'absorption pour différents matériaux et couleurs.....	39
Figure II. 5: Concepts de la stratégie du chaud.....	41
Figure II .6: Concepts de la stratégie du froid.....	41

Chapitre III :

Figure III. 1: Situation sur la carte géographique.....	45
Figure III.2: Situation de la ville de Laghouat par rapport aux zones climatiques	45

Figure III.3: Variation des Températures de l'air extérieur (Période : 2004-2013)	46
Figure III.4: Diagramme solaire indiquant la trajectoire solaire pour la ville de Laghouat	47
Figure III.5: la rose des vents annuelle 2004-2013.....	47
Figure III.6 Variation de l'Humidité relative (Période : 2004-2013)	48
Figure III.7 L'application du diagramme de Givoni sur la ville de Laghouat.....	49
Figure III.8: vue aérienne du Ksar de la ville de Laghouat	50
Figure III.9: Situation du Ksar de la ville de Laghouat.....	50
Figure III.10: Situation du cas d'étude par rapport au Ksar de la ville de Laghouat	51
Figure III.11: Orientation de la maison ksourienne et trajectoire solaire.....	52
Figure III.12: plan de rez de chaussé de la Maison du cas d'étude	53
Figure III.13: revêtement du Sol.....	53
Figure III.14: plan revêtement du plafond	53
Figure III.15: Cage d'escalier du cas d'étude	54
Figure III.16: Impasse comme espace privé.....	54
Figure III.17: vue sur patio	54
Figure III.18: revêtement du mur	54
Figure III.19: plan d'étage de la Maison du cas d'étude	55
Figure III.20: vue des chambre supérieur	55
Figure III.21: revêtement du Sol.....	55
Figure III.22: Points de prise de température et d'humidité dans les pièces testées sur le plan planimétrique	58
Figure III.23: Points de prise de température et d'humidité dans les pièces testées sur le plan altimétrique	59
Figure III.24: les résultats de la température de l'air de la journée du 21 JUIN 2013.....	60
Figure III.25: Variation de l'humidité relative moyenne intérieure et extérieure de la journée du 21 Juin 2013.....	62
Figure III.26: Comparaison des températures moyennes intérieures de la maison ksourienne avec les limites de confort.....	63
Figure III.27 : les résultats de la température de l'air de la journée du 21 décembre 2013.....	64

Figure III.28 : les résultats de la température de l'air de la journée du 21 Décembre 2013.....	65
Figure III.29: Comparaison des températures moyennes intérieures de la maison ksourienne avec les limites de confort.....	66
Figure III.30: Diagramme psychométrique de Givoni et la représentation des moyennes de (T°C/HR%) en été 21 Juin et en Hiver 21 décembre instantanée mesurées dans la maison ksourienne .	67
Figure III.31: Durée de résidence dans l'habitat.....	69
Figure III.32: Pourcentage de modification de l'habitat.....	69
Figure III.33: Satisfaction de la situation thermique des habitants de ksar	70
Figure III.34: Les facteurs les plus défavorables du confort thermique	70
Figure III.35: Les facteurs les plus défavorables du confort thermique.....	71
Figure III.36: utilisation du système de chauffage pendant l'hiver et système de refroidissement pendant l'été dans les maisons ksouriennes	71

Chapitre IV :

Figure IV.1: le modèle cas d'étude réalisé par ARCHICAD	76
Figure IV.2: les différentes zones de modèle 3D	76
Figure IV.3: Interface de saisie du logiciel EnergyPlus	77
Figure IV.5: Les différents éléments du bâtiment.....	78
Figure IV.6: Le modèle cas d'étude réalisé par ENERGY PLUS	80
Figure IV.7: Comparaison des températures intérieures mesurées et simulées pour la maison ksourienne [Période estivale, journée du 21-06-2013]	81
Figure IV.8: Comparaison des températures intérieures mesurées et simulées pour la maison ksourienne [Période hivernale, journée du 21-12-2013].....	82
Figure IV.9: Comparaison des températures intérieures mesurées et simulées Cas amélioré pour la maison ksourienne [Période hivernale, journée du 21-12-2013].....	83
Figure IV.10: Comparaison des températures intérieures mesurées et simulées Cas amélioré pour la maison ksourienne [Période estivale, journée du 21-06-2013].....	84

Liste des Tableau

Tableau I. 1 Les opérations de construction en terre en Algérie.....	12
Tableau I. 2 Les propriétés thermo-physique de l'adobe (Toub).....	24
Tableau II. 1: les instruments de mesure utilise dans l'investigation.....	57
Tableau IV. 1 : les caractéristiques thermo-physiques des matériaux utilisés.....	78
Tableau IV. 2 : composition des éléments de constructions utilisées.....	79
Tableau IV. 3 : les caractéristiques thermo-physiques de la terre crue améliorée	83

Introduction générale

I- Introduction générale :

« Une construction intelligente doit tenir compte de l'environnement climatique : soleil, vent, pluie, orientation des pièces en fonction de leurs usage » , (**Alain Liebard et Andre De Herde, 2003**) . Cette phrase est l'illustration même de notre sujet de mémoire à savoir l'art de bâtir qui prend en compte l'influence des facteurs climatiques , n'est pas une invention du 20ème siècle. L'architecture bioclimatique se distingue de l'architecture conventionnelle par le fait que l'exploitation de l'énergie solaire est intégrée dans la conception du bâtiment, cette dernière permet de diminuer considérablement les besoins en chauffage et en climatisation.

Pour les échanges de chaleur entre les ambiances extérieures et intérieures de l'habitat, son enveloppe joue un rôle déterminant grâce à ses propriétés thermiques. En fonction de la nature des matériaux de l'enveloppe, la chaleur en provenance de l'extérieur peut être amortie et subir même un retard avant son arrivée dans le local. Le comportement thermique d'un bâtiment à un instant donné dépend de toute évidence des matériaux de construction et des conditions climatiques du lieu où il se trouve, sans oublier les dispositions architecturales.

Selon les pays, le secteur du BTP est très énergivore et représente entre 30 % et 40 % de la consommation d'énergie totale , (**A. Mokhtari , K. Brahimi et R. Benziada, 2008**) . L'efficacité énergétique des bâtiments est une préoccupation importante de notre société , dans la mesure où elle permet l'amélioration des conditions de confort et la réduction des charges liées à la climatisation et le chauffage par des moyens écologiques à faible coût énergétique , sont considérées aujourd'hui comme une priorité absolue . La recherche de l'utilisation des matériaux locaux et sa généralisation avec l'introduction des énergies renouvelables , pourrait apporter des solutions viables aux plus déshérités si une forte coopération internationale se mobilisait .

Il convient de rappeler que la croissance de l'industrialisation conduit à l'augmentation de la consommation de ressources naturelles et d'énergie et une source importante de rejets de déchets majoritairement non recyclables ; l'utilisation de l'énergie fossile est responsable, dans une large mesure, des émissions des gaz à effet de serre et du réchauffement de la planète.

Les tentatives des concepteurs pour créer des ambiances intérieures confortables dans cette optique , se matérialisent par l'apparition de nouveaux vocabulaires et concepts. Changés au gré de modes : l'architecture climatique, solaire, bioclimatique, etc, reposent tous en réalité sur la réappropriation de principes anciens délaissés au nom de la technologie. (**ABDOU. Saliha, 2004**) .

Dans cet recherche , Il sera mis en exergue les qualités, tant thermiques qu'environnementales du matériau terre crue , un matériau aujourd'hui délaissé, abandonné, méprisé, marginalisé et justifier ses qualités par une méthode scientifique expérimentale basée sur des essais in situ et une conception architecturale harmonieuse et soucieuse de la problématique du confort thermique dans un climat chaud et aride.

Alors, il est important de penser à la problématique énergétique, au confort des occupants et à la préservation de l'environnement.

La construction en terre crue est beaucoup plus actuelle qu'il n'y paraît au premier abord, puisqu'elle répond à la fois aux enjeux techniques, environnementaux et sociaux de l'architecture contemporaine . Pour que la conception en terre crue soit réussie et que celui-ci soit pleinement apprécié par les usagers, il est nécessaire que l'ambiance climatique soit maîtrisée. Dans ce sens, la prise en compte de cet aspect dans l'acte de bâtir va de soi puisque l'architecte se doit de concevoir une ambiance thermiquement confortable. nous pouvons aussi parler de la haute qualité environnementale du projet (HQE). Au nom de ce concept, la conception en terre crue doit assurer une qualité d'ambiance optimale.

II-Problématiques:

Les nouveaux modèles architecturaux produits, qu'on appelle « construction moderne » sont de plus en plus critiqués et gros consommateurs d'énergie. Souvent, ces constructions négligent les aspects climatiques, dont l'importance ne paraît pas aux yeux des propriétaires ni même du concepteur dans les premières étapes du projet ,pour palier à ce problème d'inconfort, on a souvent recours à des dépenses supplémentaires en matière d'énergie soit pour chauffer, ou climatiser.

La recherche proposée pour ce mémoire s'articule principalement autour des problématiques liées à l'impact de l'environnement sur les matériaux du patrimoine culturel immobilier, au plan intérieur et extérieur.

L'enveloppe, la forme, et les matériaux de construction dans les ksours se libèrent des données du site, et sont souvent l'intégration des matériaux de construction capables de répondre aux critères de conductivité et d'inertie thermique .avec les exigences du milieu naturel, créant ainsi un confort et un équilibre entre, l'élément construit et l'environnement ambiant . Mais nous constatons malheureusement une défaillance dans les exigences du confort thermique due à l'invasion des ksours par les nouveaux matériaux de construction (béton ..ect.

Ce phénomène est dû au fait qu'actuellement l'écrasante majorité des habitants des ksours considèrent cette situation (effondrement partiel des ksours) comme signe de pauvreté, exprimé à travers la dégradation des matériaux de construction. Effectivement, tous les habitants préfèrent quitter leurs habitations pour s'installer dans des lotissements, ou à défaut démolir et reconstruire leurs habitations en matériaux à base de béton armé qu'ils considèrent comme signe de richesse et de modernité.

C'est pour quoi, les techniques et les matériaux de construction locaux seront analysés pour expliquer leur abandon par les habitants et par les pouvoirs publics, bien que ces derniers semblent performants sur le plan de l'intégration par rapport à la structure existante et au confort thermique. A travers cette recherche, nous allons essayer de répondre aux préoccupations suivantes :

- **Quels sont les caractéristiques physiques, les techniques de construction et les avantages de la terre crue dans l'habitat ksourien ? Quelles sont les améliorations et les innovations apportées par la recherche, prolongeant ainsi les liens entre un usage traditionnel et une utilisation contemporaine de la terre crue tout en préservant ses avantages notamment dans le confort thermique ?**
- **Est ce que les maisons ksouriennes en terre crue réalisent des conditions de confort thermique acceptable l'essentiel de l'année, durant les périodes estivale et hivernale?**

III- Hypothèses de la recherche :

En fait, le choix des matériaux de construction, joue un rôle important dans le confort des locaux. L'inertie thermique d'un matériau est une fonction directe de sa capacité thermique qui agit concrètement, c'est à dire qu'elle tente de s'opposer à toutes les variations brutales de température. Mais comme un amortisseur qui réduit et retarde l'effet des conditions extérieures (déphasage) c'est aussi un grand absorbeur d'énergie. (SIDLER Olivier, 2003). Cette stratégie de conception est particulièrement adaptée au contexte ksourien où la différence de température entre le jour et la nuit est importante. Donc deux hypothèses principales sont établies :

-Les maisons ksouriennes en terre crue possède un confort hygrothermique acceptable et propice de l'espace intérieur..

- La terre crue "Toub" est davantage plus efficace si en améliore ses caractéristiques physique et thermique .

IV- Objectifs de la recherche :

Pour confirmer ou infirmer ces hypothèses, une série d'objectifs ont été clairement établis :

- Rendre compte de l'efficacité des construction en terre crue "TOUB"
- Traiter la question des maison ksouriennes en terre crue par rapport au enjeux socio-économiques et aux défis de la modernité et du développement durable
- Elaborer , en fonction des résultats obtenus, des recommandations susceptibles d'améliorer les caractéristiques des matériaux locaux .
- Arriver à des résultats utilisables par les concepteurs pour concevoir et créer des espaces de même type, plus performants et plus efficaces.

V- Méthodologie et outils de travail:

Notre recherche reposera sur la méthode P.O.E « l'évaluation post-occupationnelle », elle vise à savoir si l'espace répond correctement aux exigences de son fonctionnement et de ses usagers.

Le P.O.E est une méthode qui permet d'évaluer les performances d'un bâtiment après son occupation par les usagers, elle permet ainsi de dégager toute les carences et imperfections liées à son fonctionnement.

Le type de P.O.E, se défini selon les méthodologies utilisées. Ces dernières consistent en des observations objectives de l'espace de travail et du comportement des usagers ainsi que des appréciations subjectives des occupants.

La méthode utilisée dans la présente recherche reposera d'abord sur une approche théorique du problème qui nous servira ensuite de base pour le travail sur terrain.

Cette méthode d'évaluation post-occupationnelle" consistera en une campagne de mesures -in situ- visant à déterminer l'humidité relative et les températures d'air intérieures et extérieures d'une maison ksourienne aux différentes heures de la journée et à différentes périodes de l'année , grâce à un hygromètre et un thermomètre avec une prise de photos

simultanée. Ces données seront en même temps complétées par d'autres informations qui seront recueillies auprès de la communauté ksourienne par le biais de différents entretiens (questionnaire). Les résultats de la simulation thermique viendront compléter ceux de la campagne de mesures . Après analyse et interprétation de ces données, il sera possible de cerner les performances thermiques des maisons ksouriennes par rapport aux besoins et exigences du confort thermique des occupants .

VI- Structure du mémoire :

Afin d'atteindre les objectifs de cette recherche, il est important d'avoir une approche méthodique et structurée du sujet traité, ainsi la présente recherche sera composée de deux parties, la première traitera de l'aspect théorique de la question et la deuxième portera sur l'investigation et le travail de terrain.

L'aspect théorique de cette recherche consistera en une familiarisation avec le sujet et traitera les différents points et concepts relatifs à l'architecture en terre . Cette partie se composera de deux chapitres :

- le premier chapitre englobera les différentes connaissances de base et les notions fondamentales de l'architecture en terre .
- Le second chapitre traitera l'importance de l'interrelation effective entre les espaces de vie, extérieur et intérieur, et l'Homme; et aussi une présentation détaillée de l'architecture des maisons ksouriennes

La deuxième partie consacrée à l'investigation sera composée de deux chapitres :

-Dans le premier chapitre il sera présenter l'environnement de notre étude, a savoir le climat de la ville de Laghouat ainsi que la maison ksourienne. , cette étude se complétera avec les différentes prises de mesure ainsi que le questionnaire.

- le deuxième chapitre est destiné à la simulation thermique qui sera prise en charge par le logiciel ENERGY PLUS ;l'étude thermique a été complétée avec les différentes analyses et interprétations des résultats.

Enfin , la conclusion sera sous forme de recommandations.

Première partie : Corpus théorique

CHAPITRE I - NOTIONS FONDAMENTALES DE L'ARCHITECTURE EN TERRE

En 1980 Andre Raverro écrivait dans l'atelier de désert *"Je ne fais pas de l'histoire de l'art, je suis en train de réfléchir comment , moi, architecte je travaille en Afrique du nord j'observe à quoi je rattache ; je ne peut pas copier ,ni refaire , mais j'ai au moins l'ambition d'avoir la connaissance de ce qui existe .comprendre pourquoi ces maisons ont été construites comme ca , pourquoi avec tels matériaux ? "*

I. INTRODUCTION :

L'intérêt que portent les architectes pour les construction en terre n'est pas anodin. Il est alimenté par un enthousiasme lié à une certaine nostalgie du passé.

Depuis onze millénaires, l'humanité fait preuve d'une étonnante capacité à bâtir en terre crue, depuis les simples habitations jusqu'aux palais et aux villes entières. Ce matériau de construction est largement utilisé par un tiers de la population mondiale .

La terre crue matériau naturel, disponible en abondance reste une alternative, il n'implique souvent ni achat, ni transport, ni transformation importante, de plus il est facilement recyclable après usage et surtout, associée à une conception architecturale bioclimatique ,il procure un certain confort thermique aux occupants. En parallèle, mais sur le plan des ambiances et plus précisément celui des conséquences climatiques, cet engouement est accompagné d'un souci relatif aux conditions de confort intérieur qu' un matériau local peut engendrer. Il est en effet nécessaire de maîtriser les paramètres physiques et thermiques qui les régissent. Mais avant d'aborder les aspects d'ordre technique, il est important de s'attarder sur :

- l'évolution des constructions en terre à travers l'histoire de l'architecture afin de tenter d'enregistrer les témoignages encore vivants du savoir-faire ancestral .
- L'analyse des maisons ksouriennes des diverses formes existantes ;l'objectif recherché à travers cette étude consiste à définir les différents aspects qui influent sur l'orientation et l'organisation des espaces ainsi que le rôle du patio du point de vue physico- thermique
- Les avantages et inconvénients aujourd'hui, du matériau en terre , du point de vue des ambiances thermiques et de durabilité .

A ce propos , une connaissance accrue du matériau en terre est nécessaire : sa résistance, sa durabilité, ses performances thermiques. Et c'est cette dernière particulièrement qui sera étudiée en détail dans le chapitre qui suit.

II. ARCHITECTURE EN TERRE

II. 1- La terre comme matériau de construction

La terre est un mélange d'agrégats ou grain de différentes tailles , formes et couleur , qui vont de cailloux aux argiles en passant par les graviers ,les sables et les silts .

Il existe une très grande variété de terre . Cette variété des terres est le résultat de la grande diversité des roches mères dont elles sont le produit . La terre est en effet issue de l'érosion mécanique et chimique de roches-mère qui se désagrègent en particules minérales de dimensions variables ,depuis les cailloux jusqu'aux produit argileuses .



Figure I.1 : Les différents types de terre
(source : www.telemcen2011.org) (2012).

La terre est constituée de matières organiques et minérales . les matières organiques sont généralement concentrées à la surface des sols ,et essentiellement constituées de végétaux en décomposition qui forment l'humus .Les matières minérales constituent généralement la plus grande partie d'un sol ,et seules sont utilisées en construction .

Pour faciliter leur identification ,on les classe en fonction de leur granulométrie ou taille des grains qui les composent .

II. 1- 1- Historique et processus d'évolution de l'architecture en terre

L'histoire de la construction en terre est mal connue, l'intérêt pour ce matériau jugé antique et médiocre était éclipsé par celui accordé à la pierre ou au bois matériaux dit plus noble.

Pourtant des trouvailles archéologiques témoignent de l'importance du matériau terre dans l'histoire, presque toutes les civilisations l'avaient adoptée à un moment ou un autre : (la terre fut associée aux époques décisives de la révolution urbaine et servait la quotidienneté autant que le prestige des plus glorieuses civilisations de l'antiquité). Des âges les plus lointains à nos jours, elle s'affiche comme étant le matériau privilégié de l'homme bâtisseur, et le temps passant n'a pas effacé les preuves accumulées de cet usage de la terre.

Quelques repères chronologiques de la construction en terre

- **11000 ans** : premières traces de la construction en terre en Amérique du sud
- **10000 ans** : en Syrie construction en terre par empilement de pains de terre façonnés à la main ;
- **8500 ans** : apparition de la brique de terre en Turquie ;
- **8000 ans** : apparition de l'utilisation de la terre dans l'habitat en Europe occidentale (recouvrement de clayonnage) ;
- **5000 ans** : apparition des premières villes d'architecture de terre crue en Mésopotamie. (CRATerre , 1995)

Les premières cités découvertes dans l'ancienne Mésopotamie datent d'avant même l'invention de l'écriture (entre 3500 et 3000 av. J.-C). La terre crue étant un matériau qui se dégrade plus rapidement que la pierre on a moins de vestiges aussi marquants que les pyramides d'Egypte, ils existent pourtant, mais sont moins connus : (Tchoga Zambil en Iran, Mari en Syrie, Shibam au Yémen).(Bruno Pignal , 2005)



Figure I.2: Tchoga zambil en Iran,
(source : <http://www.albert-videt.eu/>) (2013).



Figure I.3: Mari en Syrie,
(source : <http://patrickfromparis.blogspot.com>) (2013)



Figure I.4: Shibam au Yémen,
(source : <http://www.georgesteinmetz.com>) (2013).

Le matériau terre a été extrêmement employé jusqu'au lendemain de la seconde guerre mondiale, le caractère d'urgence des reconstructions qui ont suivi les deux guerres s'adaptait mal à l'aspect saisonnier et à la lenteur de sa construction, la désertification des campagnes, la généralisation du travail salarié et l'abandon en milieu rural des systèmes d'entraide familiale ont ensuite participé à la disparition de cette architecture.

Au même moment le recourt systématique à la production industrielle induit une mutation des pratiques et des techniques, des matériaux performants et attractifs sont proposés à des prix très concurrentiels. La standardisation des mises en œuvre et le fait que ce matériau soit associé à un contexte de pauvreté (à fuir et à oublier) contribue à déconsidérer les savoir-faire anciens qui tombent rapidement dans l'oubli.

Les crises énergétiques qui ont suivi les trente glorieuses ont fait resurgir l'intérêt porté au matériau terre, ainsi que pour ses qualités thermiques et sa bonne compatibilité avec l'environnement (matériau recyclable).

II. 1- 2- La diversité de l'architecture en terre

Dés lors qu'il a éprouvé le besoin de créer son propre abri , l'histoire nous indique que l'homme a eu le bon sens de le construire en utilisant les matériaux que la nature lui offrait .C'est ainsi que la terre ,matériau le plus abondant sur la planète , est utilisée en construction depuis les temps immémoriaux .

On dénombre de très nombreux modes de construction en terre . ils varient en fonction de la variété des terres disponibles et engendrent des architectures d'une très grande diversité qui reflètent l'identité et la culture des peuples qui les ont produits . parmi les techniques de construction les plus répandues dans le monde : l'adobe , le pisé , le torchis et la bauge

II. 3- Situation de l'architecture en terre à travers le monde

La terre crue en tant que matériau de construction est connue depuis l'aube de l'histoire de l'humanité . Elle peut remonter jusqu'a la période mésolithique qui marque le début de la sédentarisation c'est -à- dire de 10000 - 5000 ans avant l'ère chrétienne .Les foyers des anciennes civilisations ont tous connus l'architecture de terre .

La disponibilité du matériau et son faible cout sont à l'origine de l'universalité de l'architecture de terre .

D'après les statistiques de l'UNHCR (United Nation High Commission for Refugees), près de 30% de la population mondiale vit dans des habitations en terre .Il ne s'agit pas uniquement de pays pauvres ,même les pays les plus développés commencent un retour vers cette architecture en terre crue qui représente d'innombrables avantages (C. Delbecque, 2011) .

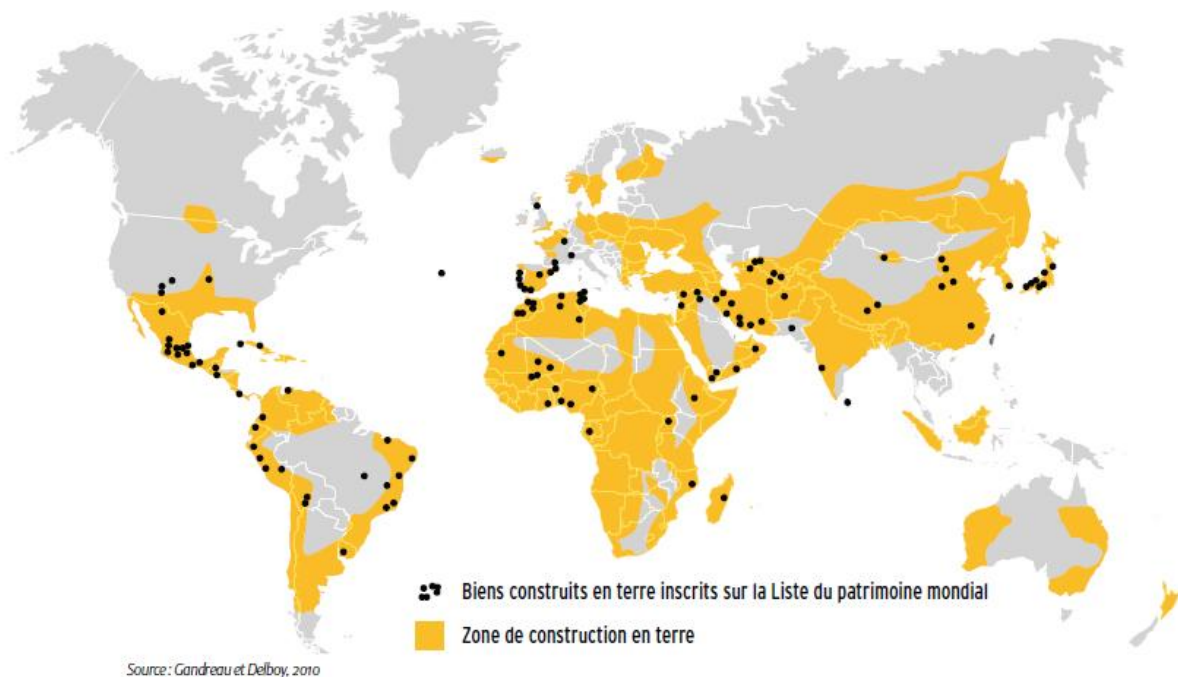


Figure I.5: Architecture de terre dans le monde (source Gandreau et Delboy) (2010).

Actuellement dans les pays pauvres , la construction en terre cru représente l'une des meilleures solutions pour subvenir aux besoins en habitat de larges populations toujours en expansion et souvent à faible revenus (J.Dethier, 1981)

Dans les pays développés , c'est plutôt le souci environnemental qui est derrière le regain d'intérêt de l'architecture de terre . les industries du bâtiment sont de plus en plus sollicitées pour se retourner vers les solutions durables ,capables d'assurer un développement sans nuire à l'environnement .

II. 2- 1- L'architecture de terre en Algérie

Aujourd'hui les attitudes ont changé, malgré l'échec de l'opération de Mustafa Ben Brahim (H. Houben, 1998) . En effet le BTS est un matériau reconnu officiellement et le Centre National d'Etude et de Recherche Intégrées du Bâtiment (CNERIB) mène ses recherches sur ce sujet depuis plus de vingt ans. Plusieurs projets ont pu voir le jour tel que le montre le tableau (Tableau I.1) :

Tableau I.1: Les opérations de construction en terre en Algérie (source : CNERIB)

Années	Réalisations
1969	La réalisation de 136 logements en pisé au village agricole de Bouhlilet à Batna.
1971	Une équipe franco-belge réalise à Zéralda un groupe expérimental d'habitation rurales[9]
1973	30 des 300 logements du village de Moustafa ben Brahim, sont réalisés en pisé.
1975	Le village d'Abadla a été construit selon le procédé de la terre remplissante
1976	100 logements du village agricole de Felliache à Biskra sont réalisés en Thoub.
1980	120 logements du village agricole de Madher à Boussaâda sont réalisés en BTS
1981	40 logements sont réalisés à Chéraga près d'Alger en Blocs de terre comprimée.
1984	Un Prototype bioclimatique fut réalisé à Tamanrasset en Blocs de terre comprimée.
1984	Un prototype fut réalisé au CNERIB en Blocs de terre comprimée.
1986	10 logements sont réalisés à Adrar en Blocs de terre comprimée
1994	24 logements sont réalisés à Tamanrasset par l'office de promotion et de gestion immobilière en Blocs de terre comprimée.
1994	44 logements sont réalisés par l'ETR de Tamanrasset en Blocs de terre comprimée.
2006	un projet intitulé "réalisation d'un logement rural avec efficacité énergétique" est lancé au CNERIB et financé par l'union européenne

Sur le plan des pratiques traditionnelles, la construction en terre est pratiquée dans de nombreuses régions du pays. Selon le rapport du CNERIB, l'Algérie compte plusieurs techniques se distinguant par leurs procédés de production . (CNERIB , 2000) Jusque-là nous n'avons pas encore rencontré d'étude spécifique sur les techniques pratiquées en Algérie. L'ouvrage de P. Odul (P. Odul, 1983) ne présente que quelques exemples et ne s'étale pas sur l'ensemble des procédés traditionnels algériens.

II. 2- 2-De la modernité des architectures en terre

Les architectures de terre crue souffrent ,depuis quelques décennies ,de préjugés culturels défavorables qui peuvent être des idées fausses , ne sont pas pour autant moins profondément ancrées dans la conscience populaire .

La plus répandue de ces idées fausses est l'idée que les constructions en terre sont extrêmement sensibles à l'eau et que très fragilisées par ce fait ,elles ne peuvent en aucune manière répondre aux normes modernes de confort , de sécurité et de durabilité .



Figure I. 6: Casa vivi construction en torchis
(source : <http://www.maisonapart.com>) (2013).

Cette durabilité des architectures de terre est en effet parfaitement incontestable car ces architectures ont traversé les siècles pour nous parvenir .

L'eau ne peut porter atteinte aux bâtisses réalisées en terre crue que si ces dernières sont mal conçues , c'est à dire leur réalisation ne respecte pas les règles de l'art de bâtir en terre. Cela signifie que la vulnérabilité à l'eau des architectures de terre est un mythe construit sur la réalité de la perte des savoir-faire constructifs traditionnels et de la culture d'entretien

En réalité la terre, en tant que matériau de construction, présente une très bonne capacité de résistance à l'eau à la seule condition d'être mise en œuvre dans les règles de l'art et les constructions en terre peuvent par conséquent répondre aux normes les plus modernes de confort, de sécurité et de durabilité tels que les gratte-ciel de Shibam au Yémen .

C'est pour cette raison qu'à dater des années 1980, un regain d'intérêt mondial pour ces architectures, impulsé à partir de l'Afrique par l'architecte égyptien Hassan Fathy, se manifeste sur tous les continents, avec à leur tête l'Amérique. L'Amérique du Sud, l'Amérique Centrale mais surtout le Sud-Ouest des Etats-Unis se démarquent du reste du monde par la réactualisation et la valorisation de ces techniques ancestrales de construction.

Cet engouement pour la construction en terre se justifie par les importantes avancées de la recherche dans ce domaine, qui désamorcent les préjugés culturels défavorables à ce matériau, en ne laissant plus planer de doutes sur les avantages de ce type d'architecture.

Avantages écologiques, économiques et socioculturels prouvent à présent la parfaite adéquation entre architectures de terre et développement durable...

En effet, construire et exploiter un édifice en terre permet une nette diminution de l'impact tant financier qu'environnemental de la construction grâce aux économies d'énergie.

Par ailleurs, les techniques de construction en terre, facilement maîtrisables par tous, permettent l'autonomie technologique, et une maison en terre est un héritage éternellement renouvelable puisqu'il suffit d'ajouter de l'eau au produit de la destruction d'un mur en terre pour obtenir une pâte prête à reconstruire (recyclable) .



Figure I.7: Maison privée ,Bogota colombie
(source : <http://www.earth-auroville.com>) (2013).

III. COMPORTEMENT THERMIQUE DE L'ENSEMBLE DES MAISONS KSOURIENNE EN TERRE CRUE

III. 1- L'organisation spatiale des ksours

Le ksar prononciation locale gcar désigne un finage d'une partie habitée et d'un terroir .c'est le lieu d'agglomération d'une population relativement assez importante (100 à 200 habitant) Le ksar se trouve toujours en aval sur le cheminement hydraulique. Pour des raisons évidentes d'économie des eaux, la partie habitat du ksar se situe toujours en amont du terroir permettant ainsi à l'eau de servir d'abord aux besoins domestiques avant d'atteindre la zone de culture. (BOUDJELLAL Lazhar, 2009)

Les ksours sont édifiés sur un monticule pour protéger leurs habitants des agressions extérieures .Leur architecture révèle le talent de leurs constructeurs qui ont su exploiter les moindres matières premières trouvées dans l'environnement immédiat de la région, telles que l'argile et le bois des dattiers pour donner à ces monuments une vie qui défie le temps.

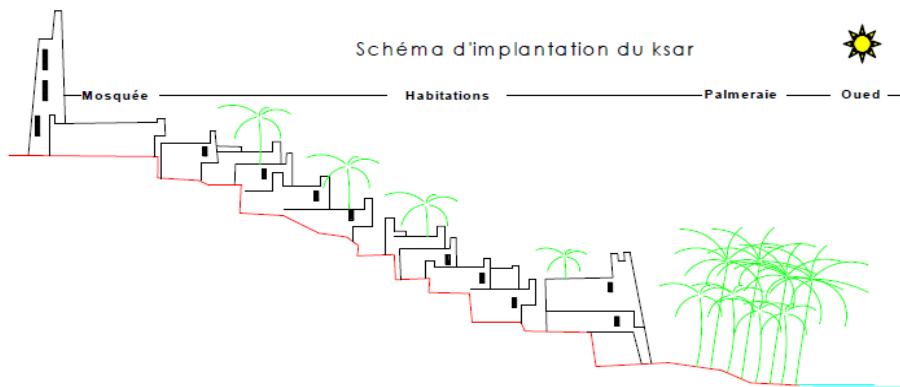


Figure I.8: schéma d'implantation du ksar (source : BOUDJELLAL Lazhar) (2009). [13]

Parmi les caractéristiques des ksour, la multitude de ruelles reliant les quartiers et donnant naissance à un vrai labyrinthe. les unes sont couvertes, pour protéger de la chaleur, les autres éclairées et découvertes, pour assurer l'aération.

La forme architecturale et urbaine du ksar est optimale dans un climat chaud et aride ,elle permet de stocker un minimum de chaleur en été et un maximum en hiver. Les tissus urbains se caractérisent par le concept de compacité verticale ou horizontale qui expose une surface minimale au soleil d'été et aux vents froids d'hiver. Les ruelles longues et sinueuses,

sont ombrées durant presque toute la journée (Figure I.9). Les maisons à patio, caractéristiques de ce climat, sont agglomérées densément et leurs murs mitoyens limitent leurs surfaces d'exposition. Parfois, les pièces de l'étage sont en encorbellement au-dessus des ruelles, offrant ainsi de l'ombre. Ces encorbellements permettent de régulariser le plan des pièces, ou les agrandir aux dépens de la rue, qui se trouve, de fait plus ombragée. Parfois, c'est une pièce entière qui est bâtie au-dessus de la rue qui devient plus profonde, réduit le temps d'ensoleillement des façades et empêche le vent de chasser l'air frais nocturne.

Enfin, dans le ksar se trouvaient tous les ateliers d'artisanat, les petits magasins d'alimentation générale, la mosquée, l'école coranique et aussi la place de "lajmaat" où les sages du village discutaient et étudiaient toutes les affaires générales du ksar .

III. 2- Etude de la maison Ksourienne :

On peut parler de types quand l'ensemble des intervenants, dans l'élaboration du bâtis (concepteur, constructeur, client) se sont accordés sur la correspondance entre un ensemble de dispositions spatiales et d'éléments stylistiques, et une pratique (à la fois pratique concrète et pratique symbolique). Cet accord qui inclut un savoir technique a été assez stable pour être reconnu par la société (PHILIPPE. P, 1980)

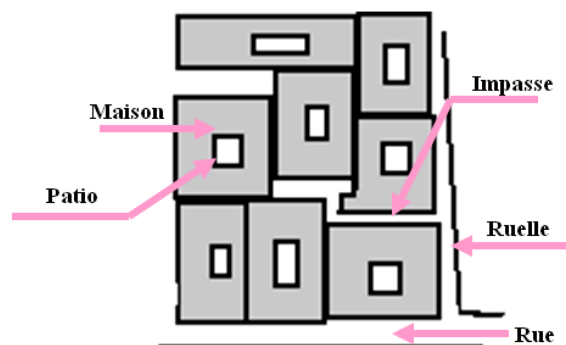
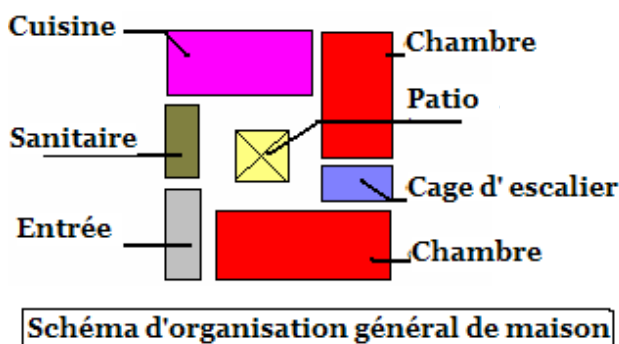


Figure I. 9: Association des maisons ksouriennes (source :PFE requalification d'un ancien quartier a laghouat) (2014).

a) Les formes architecturales

L'architecture de terre offre une grande diversité de formes. En effet, ces formes varient (DETHIER. J, 1982) selon les régions et les cultures des populations qui pratiquent la construction en terre , et cela est possible grâce à la diversité de plans, de couvertures, d'ouvertures et de systèmes constructifs existants.

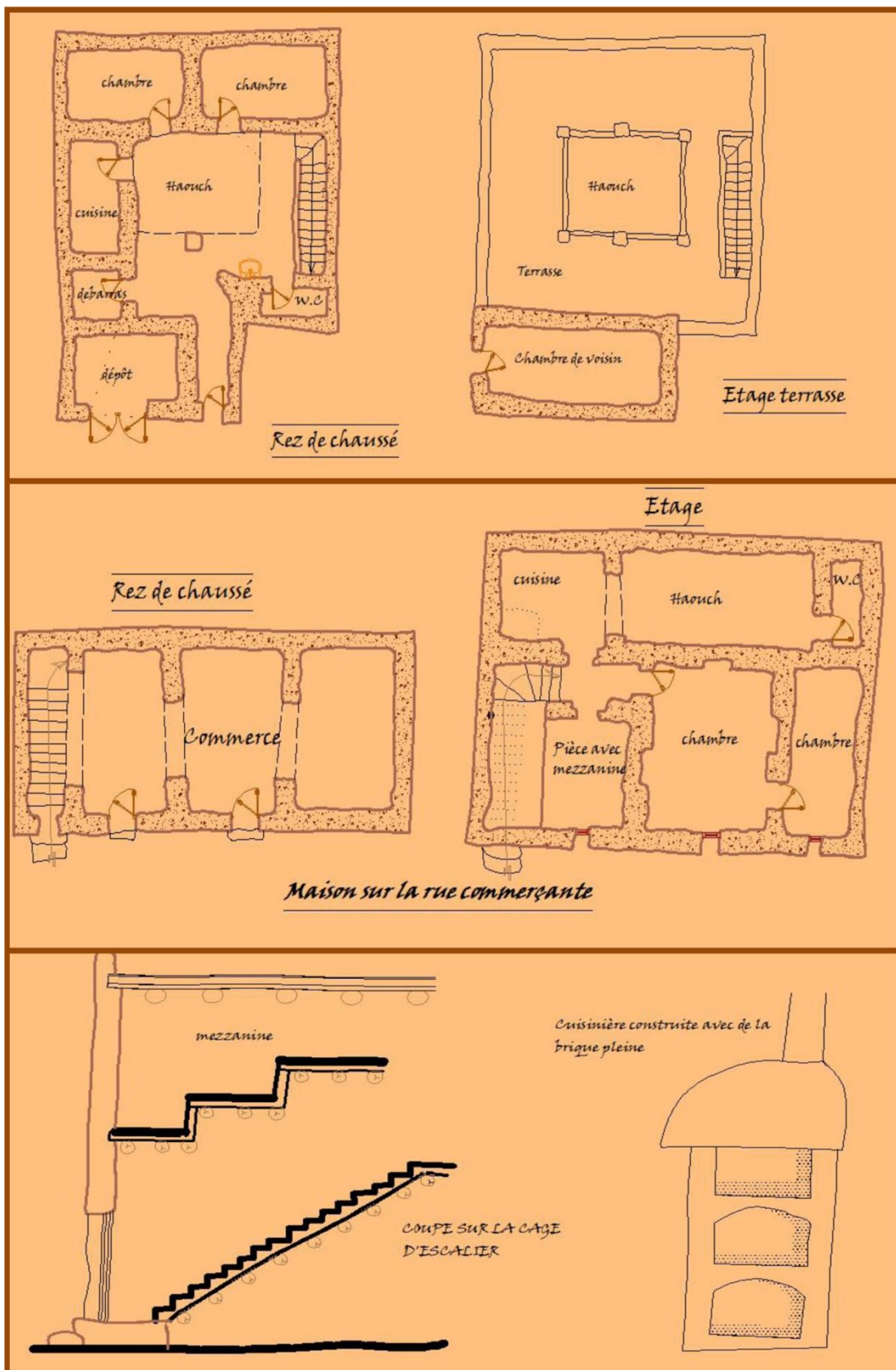


Figure I.10: les différents types des maisons ksouriennes (source TAHKI Belkacem)

b) la typologie des maisons

Il s'agit des maisons traditionnelles , la maison est généralement composé d'un haouche - patio - autour duquel s'articulent les différents pièces (système introvertie), une cage d'escalier qui mène à la terrasse ou aux autres pièces , toutes les pièces sont aérées et éclairées par le Haouche , par des fenêtres qui donnent sur le patio , parfois les pièces de l'étage disposent des ouvertures .

La maison est accessible par une skifa , matérialisant ainsi le passage d'un lieu public à un lieu privé

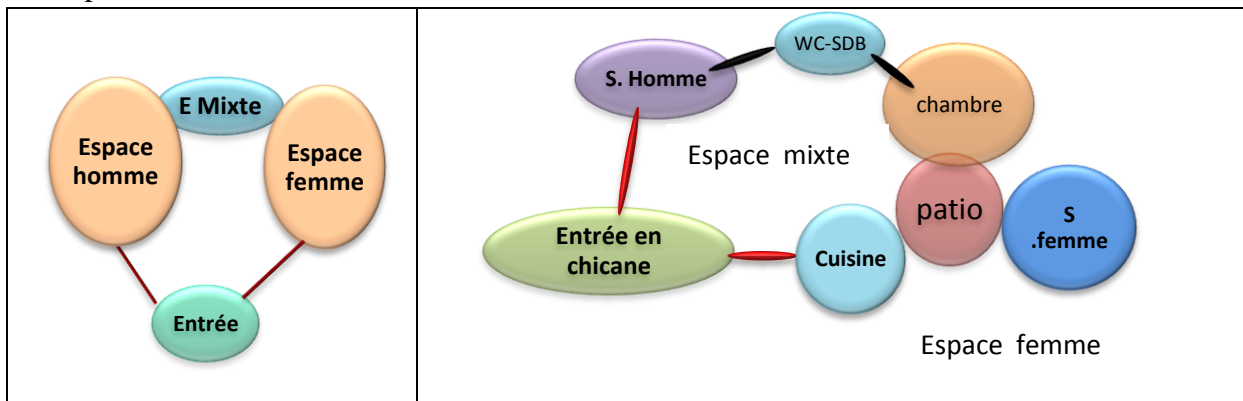


Figure I.11 : organisation fonctionnelle des espaces dans un maison ksourienne (source :auteur).

c) L'ouverture:

- Les ouvertures d'extérieur des maisons sont très réduites, on remarque qu'en plus de la porte il existe quelques petites trous sur les murs, lorsqu'il fait froid les trous sont abstrués par des bouchons de chiffons.

-Parfois il existe de petites fenêtré à l'étage.

-Les dimensions des fenêtrés carrées ou rectangulaires en générale ne dépassent pas les 50cm , ce qui minimise les pertes d'énergie par ventilation et pont thermique .

-Malgré l'aspect horizontal des façades il y a une dynamique donnée par les petites ouvertures, les extrémités des terrasses, et les encorbeillements qui donnent un jeu de volume nécessaire et important aux façades .

d) Les façades:

- La simplicité de la façade.
- Le rapport plein/vide est négligeable.
- Les portes sont intercalées.
- Une couleur claire pour réfléchir le fort rayonnement solaire

III. 3 - Techniques et matériaux de construction

Les techniques et les matériaux de construction sont utilisés pour répondre au problème de climat et intégrer les constructions dans son environnement .

a) Les murs

Ils sont en briques d'adobe, d'épaisseur variable de 30 à 50 cm. On trouve aussi des murs en pisé d'épaisseur moyenne de 50 cm.

L'utilisation de pierres permet de stabiliser la terre et limiter son retrait. Les murs réalisés selon ce procédé sont plus durables.

L'enduit de ce type de murs consomme autant de terre que la quantité qui a servi à sa réalisation .

Les murs réalisés en blocs de Toub moulés à la main demandent beaucoup d'attention lors de la mise en œuvre car les vides entre les blocs de Toub facilitent la prolifération des termites .Ce type de mur pose le problème de chaînage au niveau des angles car il laisse beaucoup de vides.

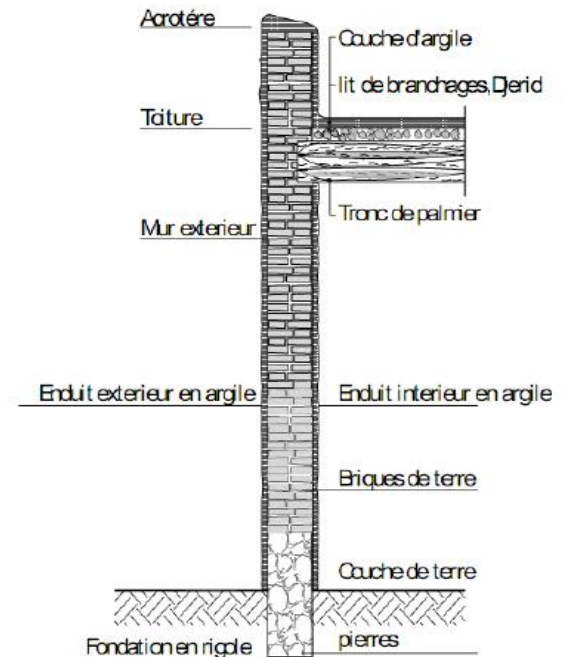


Figure I.12: Système constructif des habitations ksouriennes (source : PNUD Alger 2007).

La forme cubique des blocs de Toub a permis de résoudre le problème de chaînage au niveau des angles. L'appareillage des blocs est facilement maîtrisable.

b) Les soubassements

Les murs sont généralement construits sur des soubassements en pierres, qui peuvent atteindre 1 m de hauteur, pour qu'ils soient protégés des remontées capillaires et des eaux de pluie, même ces dernières se font rares. Le soubassement est souvent une continuité du mur de fondations.

c) Les Fondations

Elles sont généralement filantes de 30 à 50 cm de profondeur et de 50 à 70 cm de largeur, elles sont en pierres liées avec un mortier de terre crue.

d) Les planchers

Ils sont constitués de troncs de palmier posés sur les corbeaux qui se trouvent à la tête des murs ou des piliers, des branchages de palmier sont posés par la suite et recouverts d'une couche de terre de 25 à 30 cm et étalée sur toute la surface.

La couche de finition est constituée de mortier de chaux pour assurer l'étanchéité.

Les planchers sont réalisés après séchage des murs. La terre est de même composition que pour les blocs de Toub à laquelle on rajoute de la paille. La peinture à la chaux permet d'étanchéifier la surface et la réflexion des rayons solaires, sur les terrasses accessibles, le sable tapisse aussi les surfaces.

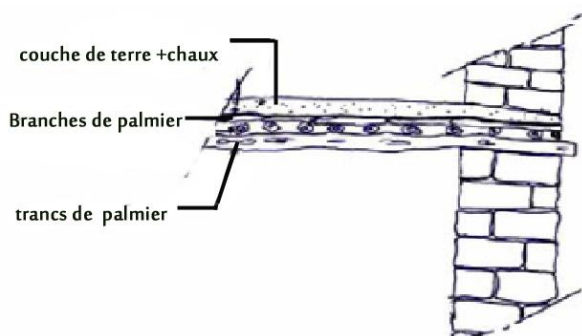


Figure I.13: coupe schématique du plancher
(source : auteur).



Figure I.14: Plafond traditionnel fait en bois de palmier
(source : auteur).

e) Les ouvertures et les décorations

Les ouvertures sont limitées, de dimensions réduites et donnent généralement sur le patio. Les dimensions des fenêtres varient de 40 x 50 cm à 50 x 60 cm. Pour les portes, la largeur est de 70 à 80 cm et la hauteur de 170 à 180 cm.

La porte principale d'accès à la maison ksourienne est réalisée avec du bois de palmier et se ferme grâce à une serrure accessible de l'extérieur depuis un trou à mi-hauteur dans le mur.

Il est à noter que de l'extérieur, les habitations ne renseignent en rien sur le statut social de la famille.

L'habitation ksourienne traditionnelle n'est pas une architecture de façade, seule parfois les portes d'accès sont décorées. Certaines portes sont à tableaux décorés tandis que d'autre se résument à de simple percements sur les murs de façades.

III. 4 - Les caractéristiques thermiques des matériaux de construction

Il n'existe pas à l'heure actuelle de normalisation pour tous les modes d'utilisation de la terre dans la construction. Seuls, les pays industrialisés ont mis au point des essais précis sur les performances minimales du matériau. Ils concernent l'adobe. Les utilisations de l'adobe traditionnel ne sont pas normalisées, c'est-à-dire que le constructeur ne dispose pas d'une réglementation précisant leur mode d'emploi. Il existe cependant des recommandations émanant de sources diverses qui peuvent guider le constructeur dans son travail.

Les chiffres avancés sont tirés d'essais expérimentaux effectués par différents organismes (Australie, U.S.A., France, etc.) Ils donnent une idée des performances techniques du matériau, et peuvent servir de base à une conception architecturale.

Dans tous les cas, des tests sont nécessaires pour vérifier si les résultats obtenus s'accordent avec ces caractéristiques.

LES PROPRIETES DE LA TERRE CRUE

a. Caractéristiques physique :

✚ **La densité** : $1\,500\text{ kg/m}^3 < \rho_{\text{adobe}} < 1900\text{ kg/m}^3$

✚ **Retrait linéaire horizontal dû au mortier** d'un mur de brique de 30 x 30 X 30 cm = 1,07 à 2mm pour 5 m.

b. Caractéristiques thermiques :

✚ **Conductivité thermique** : $0,21(\text{terre-paille}) < \lambda_{\text{adobe}} < 1,1(\text{terre})\text{ W/m}^\circ\text{C}$

✚ **Chaleur spécifique** : $900\text{ J/kg.}^\circ\text{C} < CP_{\text{adobe}} < ;1426\text{ J/kg.}^\circ\text{C}$

✚ **Capacité thermique** : $1\,350\text{ kJ/m}^3.^\circ\text{C}$ à $1512\text{ kJ/m}^3.^\circ\text{C}$

✚ **Effusivité thermique [f]**: $1,00\text{ J}/(\text{racine carrée de la capacité thermique}).\text{m}^2.^\circ\text{C}$.

✚ **Dilatation thermique** : $0,012\text{ mm/m par }^\circ\text{C}$

✚ Amortissement thermique pour un mur de 40 cm. $m = 10\%$

✚ Déphasage horaire pour un mur de 40 a cm : 8 à, 12 heures.

c. Caractéristiques phoniques Mur de 40 cm : amortissement pour une fréquence de 500 Hz = 56 dB. (ARGILEO, 2013)

IV. Pathologies et désordres des constructions Ksouriennes

Par pathologie, on entend l'ensemble des états et de signes par lesquels se manifestent les désordres sur les constructions. Une étude pathologique comprend généralement les étapes suivantes :

- L'observation et l'analyse des symptômes et de leur processus de formation, des conditions d'environnement et des conditions de mise en œuvre ;
- L'établissement d'un diagnostic sur les causes probables et sur les risques d'évolution des désordres ;
- La recherche des remèdes et traitements curatifs à envisager.

Les pathologies dont souffrent les constructions ksourienne, sont généralement celles des constructions en terre crue. Ces pathologies peuvent être classées en deux catégories à savoir :

les pathologies humides et les pathologies structurelles.

IV.1 Pathologies humides

Elles sont dues essentiellement à l'action de l'eau et/ou de l'humidité et elles se manifestent comme suit :

- Erosion des murs ;
- Présence de coloration foncée de terre mouillée sur les murs ;
- Présence d'eau en bas des murs (remontées capillaires) ;
- Gonflement et décollement des enduits ;
- Pourrissement des bois ;
- Remontée du niveau du sol extérieur.

IV. 2 Pathologies structurelles

Les pathologies structurelles peuvent présenter des aspects inquiétants et elles peuvent aussi être les conséquences des pathologies humides. Les désordres avec lesquels elles se manifestent sont :

- Ecartement des murs ;
- Fléchissement des murs (formation des creux et ventres) ;

- Déchaussement des briques ;
- Eroulement des murs ;
- Présence de fissures aux liaisons et sur la hauteur des murs ;
- Fléchissement des linteaux ;
- Fléchissement et dégradation des bois des planchers



Figure I.15 Effondrement total des maisons ksouriennes (source : auteur). (2013).

V. Les avantages de la terre crue

D'où vient cette sensation de bien être lorsqu'on entre dans une construction en terre crue ?

De plusieurs facteurs :

- La terre régule l'humidité de l'atmosphère (hygrométrie) et évite ainsi l'apparition de moisissures et de poussières.
- Son inertie procure une chaleur diffuse et bienfaisante l'hiver, une sensation de douce fraîcheur l'été.
- Ses couleurs sont chaudes et vivantes.
- Sa densité offre un haut pouvoir absorbant qui atténue la réverbération des sons et installe une atmosphère calme et apaisante.
- Elle absorbe les odeurs et les poussières.
- Elle est non-allergène car construite avec des éléments naturels recyclables et évite ainsi l'inflammation des muqueuses, l'asthme...

comme toute construction en terre crue, elle atténue les champs électromagnétiques (mesure du champ électrique : 1 V/m contre 35 V/m pour le béton ou 20 pour les briques cuites.)

(MATECOLO, 2012)

La terre crue est un matériau vivant interagissant avec son milieu et améliorant grandement le confort de vie. Elle permet aussi une production dans un environnement de travail sain (n'inclut aucun additif chimique).

VI. CONCLUSION

Ce premier chapitre présente un aperçu historique des constructions en terre , ce bref résumé nous permet d'aborder l'essentiel sur évolution de l'architecture en terre depuis les temps reculés jusqu'à devenir un mode de modernité aujourd'hui .

L'architecture en terre a été utilisé dans de nombreux points de notre planète depuis l'époque préhistorique , il semble aujourd'hui que ce matériau mérite une certaine réhabilitation , il fut victime , d'une part ,de la déperdition générale subie par les nouveaux architectes ,et d'autre part , de son caractère instable .



L'architecture en terre témoigne d'une qualité de vie au quotidien et d'innovations techniques qui mêlent étroitement savoir-faire et audace, art et virtuosité.

Nous nous sommes intéressé à mettre en évidence certains aspects qui poussent les architectes à introduire un matériau local et sain dans le projet. De notre point de vue, nous considérons que ces aspects sont d'abord liés à la volonté d'utilisé ce matériau pour ses qualités et les caractéristiques d'ambiance , et cela à travers :

- La qualité de l'ambiante naturelle fournie à l'intérieur des espaces
- La promotion des ressources locales, à la fois humaines et naturelles, améliorer les conditions de vie, valoriser la diversité culturelle .
- Les caractéristiques thermiques de l'adobe "Toub"

Tableau I.2: Les propriétés thermo-physique de l'adobe (Toub)

(source : http://www.argileo.fr/btc_qualite_de_vie.html)

Matériaux Locaux	Densité (kg/m ³)	Conductivité λ (en W/m.°C)	Capacité thermique (kJ/m ³ .°C)	Diffusivité (x10 ⁻⁷ m ² /s)	Effusivité (J/m ² .S.°C)	Impact sanitaire	Impact écologique
Terre crue	1500 à 1800	0,21 à 1,1	1350 à 1512	7,3	1290		

impact sanitaire du produit : estimation a partir des dégagement de substances nocives en cours d'utilisation, la faible capacité de respiration.

impact écologique du produit : estimation a partir de l'énergie grise (extraction, production, transport), le potentiel de recyclage et le caractère renouvelable de la matière première.

Ensuite, il faut tenir compte de la capacité à régler certains problèmes qui caractérisent les composantes du matériau .

CHAPITRE II - *CONSTRUIRE AVEC LE CLIMAT*

« Nous ne pouvons résoudre les problèmes de notre existence uniquement par la création de quantités illimitées d'énergie, bien que cela soit fort utile pour nous libérer de la fatigue et du besoin, mais en faisant un usage convenable des ressources que cela nous apport »

Albert. HINKELBEIN (la source d'énergie) p.7

I. INTRODUCTION :

Toute réalisation architecturale concrétise un microcosme en rapport plus ou moins étroit avec l'environnement auquel il appartient. Le but de la conception, de la rénovation et de la construction d'un bâtiment est de réaliser ce microcosme en concordance optimale avec son environnement et de donner ainsi au climat une juste place parmi les dimensions fondamentales de toute intervention de l'architecture sur l'environnement (Liébard. A, De Herde. A. 2005)

Le concepteur doit assurer l'abri et le confort de l'utilisateur, de faire en sorte que l'impact d'un bâtiment sur l'environnement soit minimisé (ABDOU.S et BOUMAZA.M , 2004). Mises à part les considérations d'ordres formel et fonctionnel, il est important de se pencher sur les aspects liés au comportement thermique qui caractérisent les ambiances dans les maisons ksouriennes.

Selon Joseph Belmont ,2001 « *L'architecture est déterminée par une série de facteurs dont un seul ne varié jamais, le climat. On s'est toujours protégé du climat de la même façon, soit en construisant des murs épais, soit en se mettant à l'ombre* ». Pour survivre l'homme a appris à jouer avec la nature et ses manifestations. Son abri est ainsi marqué par des formes déterminées par les impératifs climatiques. Les facteurs sociaux, religieux et économiques interviennent évidemment, mais dans la manière de se protéger contre ses effets indésirables. Plus précisément le climat peut constituer un élément déterminant dans l'architecture lorsqu'il est à contrainte unique. Par contre s'il est à caractéristiques conflictuelles il faut chercher un compromis selon les facteurs climatiques dominants du lieu .

II. RELATION : ARCHITECTURE-CLIMAT

De tous temps, l'homme a essayé de tirer parti du climat pour gagner du confort , économiser l'énergie et de rentabilité , tentent de s'intégrer dans une démarche plus généreuse liée à la notion globale d'éco-bâtiment ou éco-construction. Le pari est de maîtriser naturellement les confort d'été et d'hiver, en privilégiant des solutions simples et de bon sens telles que : la bonne orientation, le choix judicieux du matériau, la prise en compte de l'environnement, la végétation, etc.

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 à la maîtrise de l'environnement intérieur et extérieur. Ils ont confié le soin à la technologie de créer un environnement artificiel.

Pour cela, des concepts nouveaux dans le vocabulaire architectural tel que :

« Architecture bioclimatique », « solaire passive », « architecture climatique » où une conception consciente de l'énergie, bâtiment à énergie zéro et à énergie positif a pris en considération les mécanismes du confort et l'économie d'énergie (G. Alexandroff et J .M, 1982). insistent sur la relation de l'habitation au climat en vue de créer des ambiances « confortables » par des moyens spécifiquement architecturaux.

La prise en compte des apports et contraintes de l'environnement ne fait qu'enrichir l'élaboration du projet et l'harmoniser avec les activités qu'il abritera. Cela se traduit par le bien-être accru des utilisateurs et par la bonne résistance du bâtiment aux sollicitations extérieures. L'organisation de l'espace se fera tant en fonction du soleil et de la lumière, de l'exposition aux vents dominants ou thermiques saisonniers, de la topographie du terrain, de la vue, des nuisances phoniques, etc., que du programme fourni par le maître de l'ouvrage.

III. LE CONFORT THERMIQUE ET L'ANALYSE BIOCLIMATIQUE

III. 1- Confort Thermique

Chez l'Homme, le besoin de « satisfaction thermique » est évident et toutes les structures bâties (secteur habitable) ou construites (secteur des transports) sont équipées de systèmes permettant de réchauffer ou de refroidir le climat intérieur. En donnant l'opportunité à l'utilisateur d'ajuster son climat intérieur, on espère éviter l'insatisfaction donc l'inconfort. Il n'est néanmoins pas évident de considérer que l'absence d'insatisfaction procure le confort. La question de la définition du confort thermique se pose en ces termes.

Le confort thermique est le résultat d'un enchaînement successif de plusieurs phénomènes qui relèvent de différentes disciplines. En génie climatique, il s'agit de déterminer les effets du climat extérieur sur le bâtiment pour le dimensionnement des équipements. Les thermiciens font des études poussées pour connaître les champs de température et l'indice de confort. Tandis qu'en thermo-physiologie, on étudie d'avantage les effets de l'environnement thermique intérieur sur le corps humain pour le calcul des grandeurs thermo-physiologiques. En fin en psycho-sociologie, on s'intéresse à l'évaluation du climat intérieur par l'être humain grâce à l'interprétation en termes d'acclimatation qui est la composante subjective . (Thelier. F et al , 2003)

III. 2- Les outils d'évaluation du confort thermique

L'évaluation du confort thermique dans les espaces est un paramètre capital dans toute conception architecturale(Givoni, B. 1978). Les premières recherches se sont basées sur les enquêtes de terrain avec des questionnaires en classifiant la sensation thermique (très chaud, neutre et très froid) ainsi que sur les essais de laboratoires sous des conditions climatiques artificielles . (Tixier, N, 2007)

III. 3 Evaluation du confort thermique par des enquêtes in situ.

Les études in situ sur le confort thermique ont constitué une étape importante pour l'évaluation du confort thermique dans les bâtiments. Depuis le travail pionnier de Bedford (Endravadan, Mala, 2006) en 1936 , les enquêtes se sont multipliées sous les différents climats (sec, humide, tropical, méditerranéen, etc.) avec comme cibles principales les bâtiments résidentiels et de bureaux.

Les enquêtes in situ visent à explorer le confort thermique auprès des sujets sur leurs lieux de vie ou de travail habituels à travers les mesures physiques de l'ambiance et les réponses perceptives et affectives des sujets. Ces enquêtes permettent de collecter à la fois des paramètres concernant l'ambiance thermique (températures, humidité...) et les réponses de sensation thermique des occupants qui se trouvent dans des situations réelles de la vie quotidienne.

Les méthodes d'enquête utilisées ont été aussi variées que leurs objectifs. Certaines enquêtes sont exploratoires, elles cherchent à déterminer les conditions du confort thermique

dans différents types de bâtiment sous différents climats.

Il y a aussi des enquêtes qui étudient l'influence d'un élément particulier sur le confort thermique (l'utilisation de la climatisation). Enfin, nous retrouvons les enquêtes réalisées dans le but de développer une nouvelle loi pour le confort thermique, ce qui est le cas de l'approche adaptative qui a mobilisé plusieurs enquêtes réalisées ces dernières années.

Ainsi retrouvons nous des études in situ comportant des simples mesures physiques de la température et de l'humidité, et d'autres qui englobent des mesures physiques détaillées de l'ambiance thermique ainsi que l'évaluation perceptive de l'ambiance thermique par les différents sujets, accompagnée par les observations sur leurs vêtements et leurs activités.

Nicol F, cité par Collard P(Nicol, F, 2001) propose de classer les enquêtes in situ en trois niveaux selon l'étendue et la précision des mesures réalisées. Il s'agit de mesures physiques et subjectives .

III. 3.1.Classification des enquêtes in situ

Les trois niveaux d'enquêtes in situ sont les suivants :

- **Niveau I** : des mesures physiques de la température de l'air, avec ou sans l'humidité de l'air, sont effectuées à un seul endroit dans le local. Les mesures peuvent être ponctuelles ou continues. Elles peuvent être accompagnées d'une description succincte des sujets et de certaines caractéristiques du bâtiment ainsi que d'une évaluation de l'ambiance thermique par les sujets. Ce type d'enquête permet d'avoir des informations sur l'ambiance thermique sans beaucoup impliquer les occupants
- **Niveau II** : ce niveau correspond à l'enquête classique sur le confort thermique pendant laquelle les différentes grandeurs physiques de l'ambiance thermique (température de l'air, température radiante, vitesse de l'air et humidité de l'air) sont mesurées conformément aux normes ISO 7730 et ISO 7726, et parallèlement à l'évaluation subjective de l'ambiance thermique par l'utilisateur à l'aide d'échelles de jugements subjectifs (vote de perception, vote d'évaluation et vote de préférence).
- **Niveau III** : par rapport au niveau précédent, les enquêtes doivent inclure en plus les informations sur les vêtements et les activités des sujets pour permettre de calculer les différents indices de confort, notamment le PMV^2/PPD^3 . Les enquêtes peuvent être

² PMV: Predicted Mean Vote

³ PPD:Predicted Percentage Dissatisfied (vote moyen prévisible)

complétées par des observations sur le comportement des sujets (l'utilisation des moyens de contrôle de l'ambiance thermique) selon l'étendu et l'objectif de l'enquête.

III. 3.2 Les échelles des jugements du confort thermique

Le confort s'appréhende à partir de réponses à des questions relatives à la satisfaction ou l'agrément vis-à-vis de l'état thermique local et global de l'individu. Il apparaît donc très important de faire la part entre :

- L'état thermique du sujet qui l'amène à donner une expression de sa sensation personnelle ;
- L'état thermique de l'ambiance qui est jugée à travers la perception sensorielle du climat. (Nicol, F, 2003)

Le sentiment de confort ou d'inconfort, exprimé à partir de l'état thermique du sujet, peut être très influencé par des perceptions locales désagréables.

Pour juger le confort thermique, un regard s'impose sur les réponses aux trois questions suivantes :

- Comment vous sentez-vous (Froid- Chaud) ?
- Comment trouvez-vous cela (Agréable-Désagréable) ?
- Que préféreriez-vous (plus froid-plus chaud) ?

III.4. Les outils graphiques d'évaluation du confort thermique

En plus des indices thermiques, diverses recherches ont été entamées pour connaître les limites du confort thermique sous forme de diagrammes bioclimatiques. En 1953 le premier « diagramme bioclimatique » a été proposé par V. Olgay. Il était le premier à mettre au point une procédure qui est basée sur un diagramme bioclimatique ou il détermine une zone de confort avec des plages d'été et d'hiver et les mesures de correction dans le cas où la combinaison entre l'humidité et la température se situe hors la zone de confort. Aussi les tableaux de Mahoney qui sont une série de tableaux de référence d'architecture, sont utilisées comme guide pour obtenir des bâtiments confortables, adaptés aux conditions climatiques.

III.4.1. Définition du diagramme bioclimatique Le diagramme bioclimatique est un outil d'aide à la décision globale du projet permettant d'établir le degré de nécessité de mise en œuvre de grandes options telles que l'inertie thermique, la ventilation généralisée, le refroidissement évaporatif, puis le chauffage ou la climatisation ,il est construit sur un diagramme psychrométrique (appelé aussi diagramme de l'air humide)(figure II. 1) .

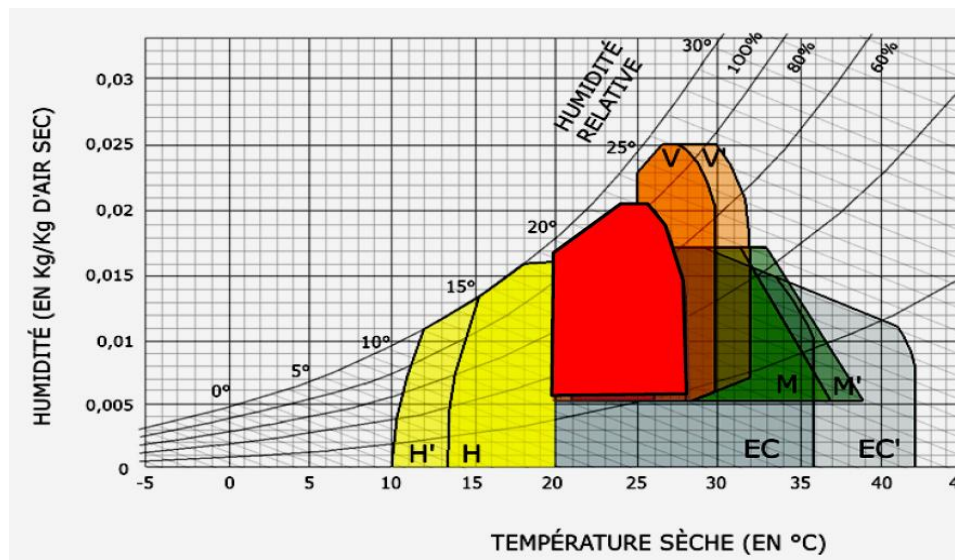


Figure II. 1 :Diagramme bioclimatique (source : Jean-Louis IZARD Olivier Kaçala ,2008)

- zone du confort thermique
- zone d'influence de la ventilation à 0,5m/s (VV')
- zone de l'inertie thermique (MM')
- zone d'influence du refroidissement évaporatif (EC et EC'),
- zone de non-chauffage par la conception solaire passive (H et H')

Sur ce diagramme sont représentées : (Izard,J-L. Kaçala,O, 2008)

- La zone de confort hygrothermique tracée pour une activité sédentaire, une vitesse d'air minimale (en général 0,1 m/s) et les tenues vestimentaires moyennes d'hiver et d'été;
- L'extension de la zone de confort hygrothermique due à la ventilation par augmentation de la vitesse d'air de 0,1 à 1,5m/s;

- La zone des conditions hygrothermiques compensables par l'inertie thermique associée à la protection solaire ;
- La zone des conditions hygrothermiques compensables par l'utilisation de systèmes passifs de refroidissement par évaporation;
- La zone des conditions hygrothermiques qui nécessitent l'humidification de l'air
- La zone des conditions hygrothermiques compensables par une conception solaire passive du bâtiment.

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

Cette méthode graphique permet de bien se rendre compte de quelques techniques que l'on peut utiliser pour améliorer le confort dans le bâtiment. On peut voir par exemple que plus la vitesse de l'air est importante, plus la zone de confort est grande. Une ambiance peut donc être confortable avec une température de 30°C si la vitesse de l'air est de 0,5 m/s, de même ,on se rend compte qu'à une température donnée, si l'on baisse l'humidité de l'air, on peut passer d'une zone d'inconfort à une zone de confort. C'est ce qui est utilisé dans les systèmes de climatisation, qui en même temps apportent de la fraîcheur à un local, diminuent son taux d'humidité (Tittlein, Pierre, 2008) .

III.4.2.Diagramme de Givoni

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

Givoni définit le confort en considérant la personne en état d'activité, Par l'intermédiaire de son diagramme bioclimatique, il a prouvé qu'avec l'application des concepts de l'architecture, l'effet de variation climatique de l'environnement extérieur peut être réduit au minimum (<http://erg.ucd.ie/tp.html>) . Il a alors mis au point un outil synthétisant les zones thermo-hygro-métriques et les moyens d'intervention par des dispositifs architecturaux ou techniques qui peuvent être

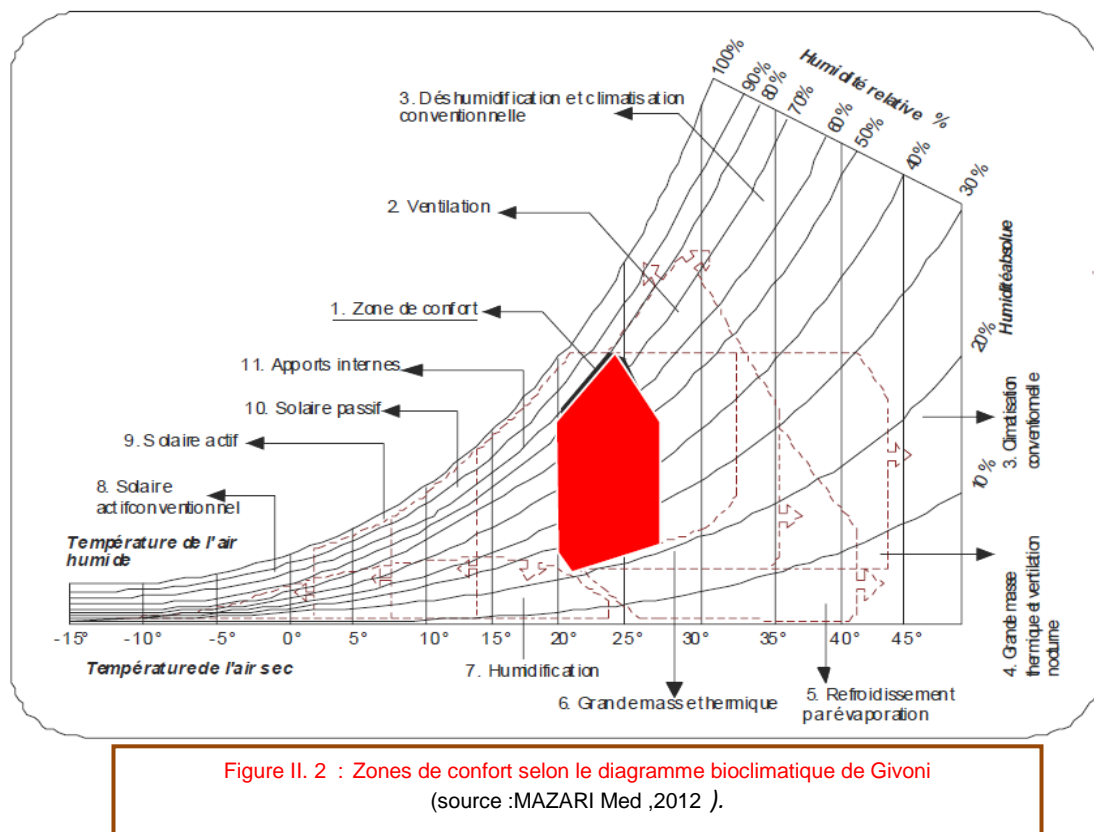


Figure II. 2 : Zones de confort selon le diagramme bioclimatique de Givoni (source :MAZARI Med ,2012).

utilisés pour remédier aux sollicitations du climat (Chatelet, A. et al, 1998) . Ceci est exprimé sur un diagramme psychrométrique ou bioclimatique (figure II.2), présenté dans son ouvrage « L'homme, l'architecture, le climat » (Givoni, B, 1978)

La zone de confort est positionnée au centre, l'aire extérieure à cette zone est subdivisée en zones secondaires, où l'auteur propose différentes procédures permettant de réintégrer les conditions de confort. Givoni a procédé dans l'élaboration de ses zones climatiques à des exigences de confort universelles. Sa zone de confort se situe entre les températures 20 et 27°C (Ould-Hennia, A, 2003) , C'est à dire qu'il considère que toutes les personnes, quelque soit la latitude à laquelle ils se trouvent, réagissent de la même manière au confort.

III.4. 3. Tables de Mahoney

Carl Mahoney en 1969 a développé une méthode de traitement des données climatiques très simple, constituée d'une suite de tableaux.

Les Tables de Mahoney sont une série de tableaux de référence d'architecture utilisées comme guide pour obtenir des bâtiments confortables, adapté aux conditions climatiques. Ces

Tables qui tirent leur nom de l'architecte Carl Mahoney qui les a créées, sont constituées d'une suite de 6 tableaux . Quatre sont utilisées pour entrer les données climatiques :

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

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

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

IV. LE CONFORT THERMIQUE DANS LES MAISONS KSOURIENNE

« Pour bien disposer une maison ,il faut avoir égard au pays et au climat ou on veut bâtir , car elle doit être autrement construite.. » (Izard,jean.Louis, 1979)

A travers les différents âges de l'humanité l'homme a toujours essayé de créer des conditions favorables pour son confort et ses activités, tout en essayant de contrôler son environnement. L'habitation ksourienne se reflète à travers les différentes solutions trouvées par l'homme pour faire face aux aléas climatiques. Il est souvent admis dans les milieux scientifiques que l'architecture vernaculaire a donné des réponses très judicieuses.

Pour cela, la prise en considération de l'aspect climatique, tient compte du respect des facteurs du site qui peuvent être utiles : Orientation, pente du terrain, ensoleillement , protection contre les intempéries , vents dominants ...etc

IV. 1- La démarche bioclimatique

Redécouverte au début des années 70, l'architecture bioclimatique recherche une synthèse harmonieuse entre la destination du bâtiment, le confort de l'occupant et le respect de l'environnement, en faisant largement appel aux principes de l'architecture. L'architecture

bioclimatique permet de réduire les besoins énergétiques et de créer un climat de bien être dans les locaux avec des températures agréables, une humidité contrôlée et un éclairage naturel abondant.

Le concept « bioclimatique » fait référence à la bioclimatologie qui est une partie de l'écologie. Elle étudie plus particulièrement les relations entre les êtres vivants et le climat d'où une définition générale de l'architecture bioclimatique se résumant à ceci : « *Cette expression vise principalement l'amélioration du confort qu'un espace bâti peut induire de manière « naturelle » c'est à dire en minimisant le recours aux énergies non renouvelables, les effets pervers sur le milieu naturel et les coûts d'investissement et de fonctionnement. L'intérêt du Bioclimatique va donc du plaisir d'habiter ou d'utiliser un espace à l'économie de la construction, ce qui fait un élément fondamental de l'art de construire.* » (LAVIGNE Pierre, 1998)

On trouve dans l'architecture ksourienne des techniques de construction ancestrales basées sur les énergies naturelles qui permettent aux bâtiments de répondre aux conditions climatiques. Les populations vivant sous climat aride ont appris à maîtriser ces conditions et à bâtir en fonction du climat et à apprivoiser leur environnement.

IV. 1- 1 Principes de base de l'architecture bioclimatique

S'inscrivant dans une démarche de développement durable, l'architecture bioclimatique se base sur les principes suivants :

- Minimisation des **pertes énergétiques** en s'adaptant au climat environnant.
 1. Compacité du volume
 2. Isolation performante pour conserver la chaleur
 3. Réduction des ouvrants et surfaces vitrées sur les façades exposées au froid ou aux intempéries.
- Privilégier les **apports thermiques naturels** et gratuits en hiver
 1. Ouvertures et vitrages sur les façades exposées au soleil
 2. Stockage de la chaleur dans la maçonnerie lourde
 3. Installations solaires pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire
- Privilégier les **apports de lumière naturelle**
 1. Intégration d'éléments transparents bien positionnés
 2. Choix des couleurs
- Privilégier le **rafraîchissement naturel** en été

1. Protections solaires fixes, mobiles ou naturels (avancées de toiture, végétation,...)
2. Ventilation
3. Inertie appropriée (www.maison-solaire.fr/Bioclimatique.htm)

IV. 1- 2 La conception bioclimatique

L'architecture bioclimatique insiste sur l'optimisation de la relation de l'habitation avec le climat en vue de créer des ambiances « confortable » par des moyens spécifiquement architecturaux ; Le but de l'architecture bioclimatique est d'exploiter les effets bénéfiques du climat (captage du soleil en hiver, ventilation en été) tout en offrant une protection contre les effets négatifs (trop de soleil en été, expositions aux vents dominants en hiver) (www.greenspace.b/bioclimate.html) , une conception consciente de l'énergie ; et qui place l'occupant et son confort au centre de ses préoccupations. Une construction est dite bioclimatique ; quand sa conception architecturale vise à utiliser, les éléments favorables du climat et de l'environnement, en vue de la satisfaction des exigences du confort thermique .

a. L'implantation

Le ksar est une implantation agglomérée spécifique aux populations du désert, c'est, aussi, la forme urbaine traditionnelle de ces régions. Son installation dépend de la disponibilité de l'eau, condition assurant la culture du palmier et la création de jardins qui fonctionnent, tels des microclimats indispensables à l'installation humaine.

Pour Ibn-Khaldoun (1934), établir une ville au Sahara sur un site donné, obéit à certains critères "*Pour se protéger de mauvaises conditions atmosphériques, on veillera à choisir le lieu dans une région où l'air est bon et pur*" (Mouqadima). Aussi, la présence de points d'eau permet aux habitants de se ravitailler et la proximité des jardins facilite l'exploitation des ressources. Masqueray voit une autre cause dans la formation des cités maghrébines: "*Les ksour ont été bâties sur des collines ou à flancs de coteau, afin d'être ensoleillés en hiver et protégés des vents, des crues d'oueds et des agressions*" (E. Masqueray, 1983)

b. L'orientation

L'orientation [*est la direction vers laquelle sont tournées les façades*] (B.GIVONI ,1978) joue un rôle important dès les phases primaires de la conception architecturale, construire en harmonie avec les heures de la journée et des saisons donne une architecture plus confortable et plus conviviale pour l'habitant.

L'orientation d'une façade est le paramètre clé des interactions visuelles, thermique et acoustique ; Cependant au niveau thermique cela se traduit par l'ensoleillement disponible, la pression du vent et l'humidité de l'air ; tout cela gère simultanément le rôle que joue la façade

(A. CHATELET, 1998) Le niveau du rayonnement sur un mur est sensiblement plus élevé dans une direction et moindre dans l'autre, ce qui signifie que les conditions de protection sont importantes, et en particulier la ou il y a des fenêtres .

c. La forme

L'effet de la forme du bâtiment sur son comportement thermique est grandement fonction du degré d'exposition de l'enveloppe à la température extérieure et au vent. Les conclusions de base proposées par « Olgay » pour la forme du bâtiment sont :

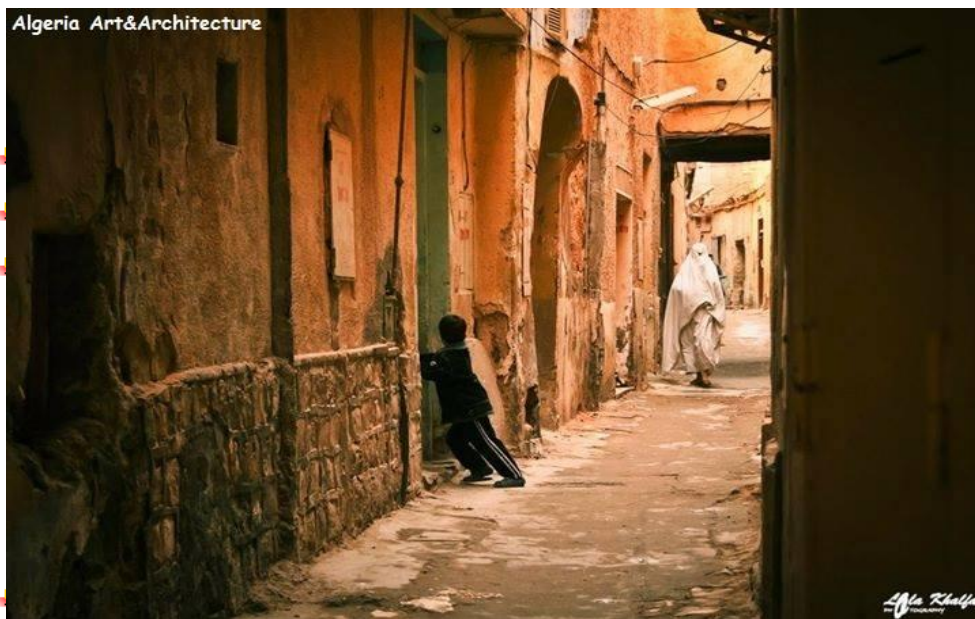


Figure II. 3 : ruelle de l'ancien ksar de la ville de Laghouat (source : lola khalfa, 2012).

- ✚ Le bâtiment carré n'est pas une forme optimale où que l'on soit ;
- ✚ Toutes les formes allongées selon l'axe nord-sud fonctionnent hiver comme été avec une efficacité énergétique inférieure à celle du bâtiment carré ;
- ✚ L'optimum dans tous les cas est une forme allongée dans une direction voisine de l'axe est-ouest.

On constate une évolution constante de la forme des bâtiments quand on se déplace des climats froids vers les climats chauds et arides. Des études sur des formes carrées, oblongues de divers types et sur l'orientation des bâtiments dans la plupart des régions climatiques montrent qu'il existe quelques formes standard pour minimiser les transferts thermiques. Ces formes sont un équilibre entre la saison froide où les gains solaires peuvent être utiles et la saison chaude où ils doivent être évités.

d. Organisation générale de la maison

Du point de vue architectural, les rigueurs du climat et la pauvreté des matériaux ont forcé les habitants du désert à concevoir leurs maisons avec ingéniosité,

Les maisons ksourienne fermées de l'extérieur, bâties comme des citadelles inaccessibles, s'ouvrent, pourtant, à l'intérieur en ne communiquant, finalement, qu'avec les éléments qui la constituent et le ciel (demeure du créateur) qui permet une meilleure communion avec Dieu. Les adaptations des espaces en fonction de ces éléments seront une sorte de défi thermique, à la recherche d'ombre et de fraîcheur, notamment en période de chaleur.

La maison étant un volume clos, cette configuration ne permet de puiser la lumière qu'à partir du patio qui remplit, aussi, la fonction de "cheminée" de ventilation. Ce type de construction permet de lutter contre les dures conditions des longues saisons estivales.

Climatiquement, les caractères des tissus urbains induits par le système à patio, limitent les gains ou les pertes calorifiques, selon les saisons, pour son important linéaire de parois partagées.

L'espace du patio constitue un microclimat qui contribue à la régulation thermique des espaces auxquelles il est adossé. Ainsi, ce système apporte une réponse satisfaisante aux variations du climat et à la maîtrise de l'ensoleillement .

e. Le choix des couleurs

Il existe une interaction très forte entre le climat et les caractéristiques ethniques le choix des qualités de revêtement où des couleurs de parois opaques dans des gammes qui atténuent les gains solaires (facteur d'absorption faible) et favorisent l'émission de chaleur par rayonnement infrarouge (facteur d'émission élevé). Pour limiter la surchauffe, seul le revêtement des faces exposées au soleil est sensible .

Cheng.V affirme que l'application de la couleur de surface claire sur une façade est un moyen très efficace pour réduire la température intérieure et participe donc à la protection solaire du bâti en climat chaud et humide(CHENG.V, NG.E & GIVONL.B,2005)

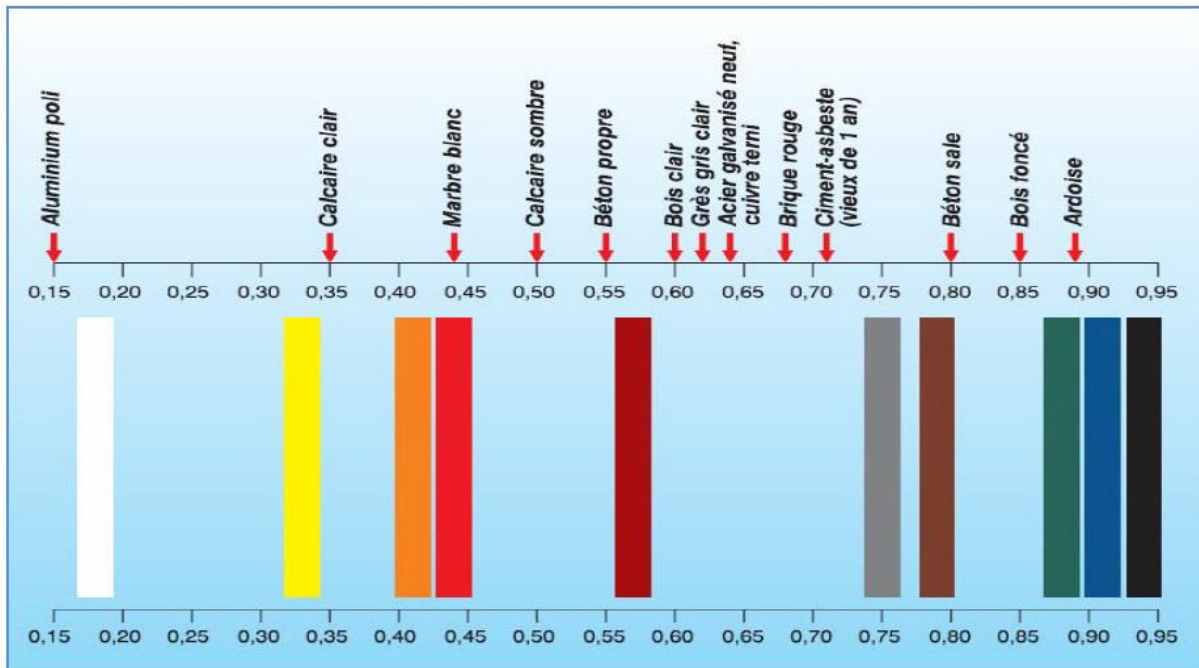


Figure II. 4 : : Coefficients d'absorption pour différents matériaux et couleurs

(source : (Ould-Hennia, A , 2003)

La couleur du toit :

Le toit constitue la paroi du bâtiment qui reçoit le plus de radiation solaire. A cet effet Cuba a investigué sur l'effet de la chaux blanche sur un toit en terre de 17cm d'épaisseur. La moitié de la surface du toit était peinte en chaux blanche et l'autre ne l'était pas. La fréquence solaire maximale à midi était de 55°C quand la température de la surface au dessus de la terre naturelle était 63°C et, sur la surface blanchie à la chaux 31°C où la température maximale de l'air était 33°C. Au plafond, la température en dessous de la surface de terre était 34°C, et en dessous la surface blanchie à la chaux 24°C. Par conséquent la peinture en chaux avait considérablement contribué à la réduction de la transmission de la chaleur à travers la structure du toit.

IV-2 -L'isolation thermique

L'isolation thermique est la propriété que possède un matériau de construction pour diminuer le transfert de chaleur entre deux ambiances. Elle a pour but de protéger les bâtiments et leurs occupants contre les effets de variations de températures et des conditions atmosphériques ainsi que de l'humidité

Au plan architectural, si le concept de compacité règle les problèmes de déperditions thermiques, l'avènement de l'isolant comme matériau, libère l'architecture de la contrainte de la forme, plus les niveaux d'isolation thermiques sont poussés, plus l'architecte peut jouer

librement avec l'enveloppe sans pour autant provoquer des consommations ou des déperditions excessives.

IV-3 -L'inertie thermique

Les habitations traditionnelles possèdent des qualités architecturales usant de moyens simples mais performants, répondants positivement aux sévérités climatiques. En période caniculaire, la forte inertie des matériaux (chaleur spécifiques) est capable d'atténuer les variations de température en stockant la chaleur excessive des journées d'été pour la restituer la nuit. L'inertie thermique permet d'éviter les surchauffes le jour, et en créant une circulation naturelle de l'air par les ouvertures, la masse se décharge dans l'air la nuit. En hiver ce véritable piège à chaleurs permet également d'emmagasiner les précieuses calories pour faire face aux jours et aux nuits froides. En réalité *« la science de la construction traditionnelle correspond à une connaissance exacte et raisonnée, fondée sur l'expérimentation du comportement en œuvre des matériaux de construction..., exclusivement expérimentale et qui s'est développée sans aucune théorisation mathématique. Son caractère scientifique est parfois occulté à nos yeux » (J. COIGNET,1987).*

A travers le monde, les traditions de la construction vernaculaire expriment une adaptation thermique particulièrement sophistiquée. L'architecture ksourienne fait partie de cette construction traditionnelle savante, utilisant l'inertie thermique pour s'adapter à la rigueur du climat.

V. LES STRATEGIES BIOCLIMATIQUES POUR AMELIORER LE CONFORT THERMIQUE DANS LES MAISONS KSOURIENNES

V-1- Système de chauffage passif (confort d' hiver)

S'il est important de se protéger des surchauffes en été, il est tout aussi important de récupérer des calories en période froide pour se chauffer.

Les principes de la stratégie de chaud (ou systèmes de chauffage solaire passif) sont les suivants : capter le rayonnement solaire, stocker l'énergie ainsi captée, distribuer cette chaleur dans le bâtiment, réguler cette chaleur et enfin éviter les déperditions dues au vent.

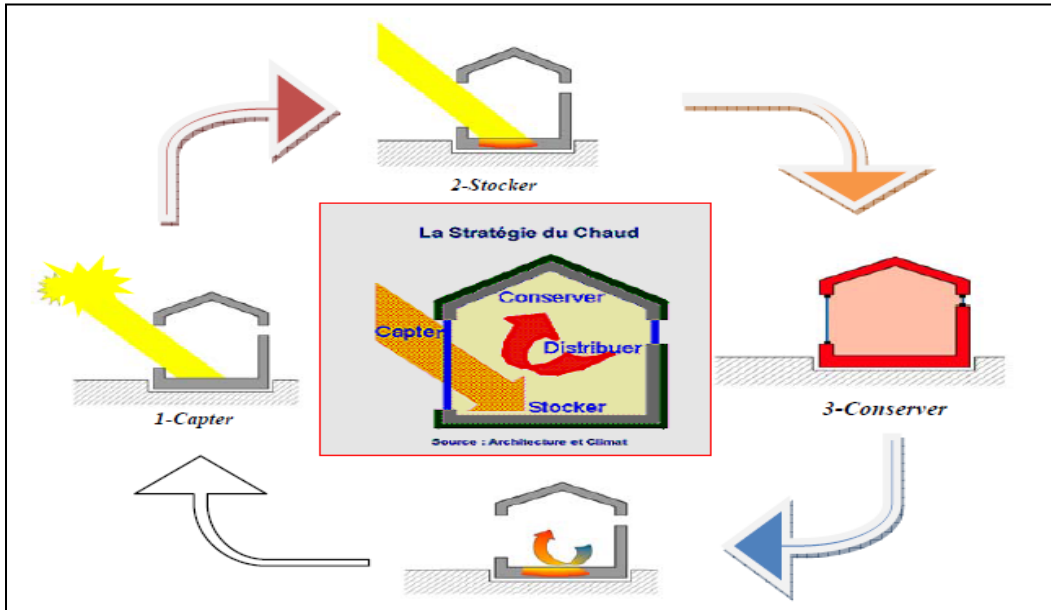


Figure II. 5: Concepts de la stratégie du chaud

(source : <http://www.concepthabitat.fr/concevoir-votre-maison/>)

V-2- Système de rafraîchissement passif (confort d'été)

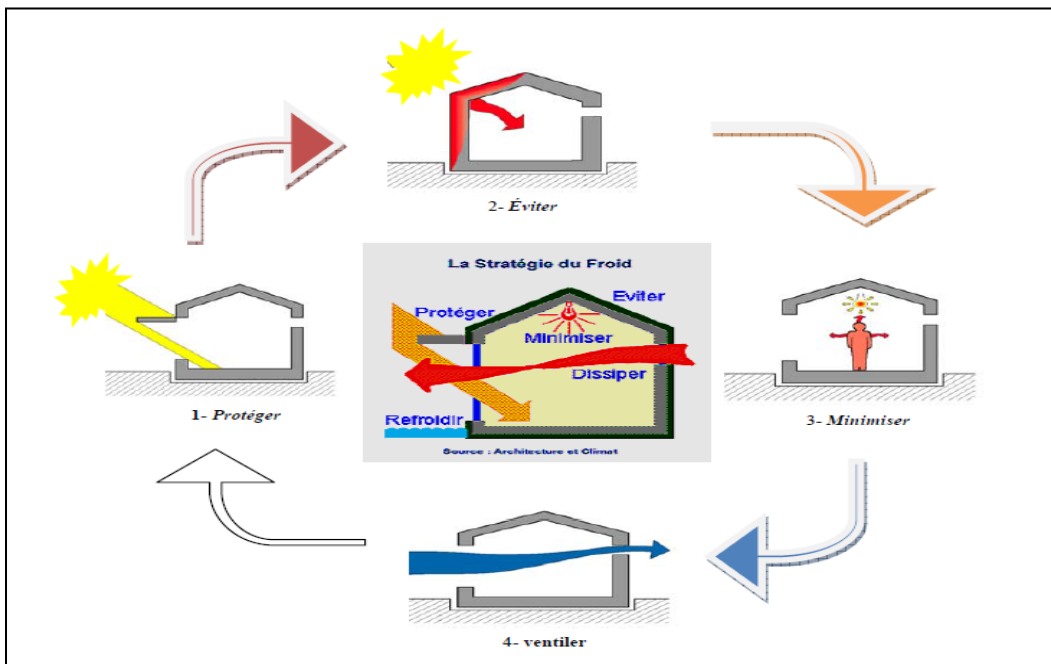


Figure II .6: Concepts de la stratégie du froid

(source : <http://www.concepthabitat.fr/concevoir-votre-maison/>)

Contrairement à l'hiver, les apports gratuits sont indésirables en saison chaude et contribuent à augmenter les besoins de rafraîchissement. La stratégie de refroidissement naturel répond au confort d'été. Il s'agit de se protéger du rayonnement solaire et des apports de chaleur, de minimiser les apports internes, de dissiper la chaleur en excès et enfin de refroidir naturellement.

CONCLUSION :

Le confort climatique est un paramètre fondamental influençant l'appropriation d'un espace urbain (ksar) et une demande reconnue et justifié dans les espaces vécus du fait de son impact sur la qualité des ambiances thermiques intérieures ; son taux de fréquentation est intimement lié au confort climatique en son sein.

Ce paramètre est en rapport direct avec le bien-être physique des usagers d'un espace et altère, souvent, son attractivité. Ainsi, en Algérie, les microclimats urbains dans les villes du sud sont sources de mécontentement pour la négligence de ce facteur dans la conception des espaces urbains.

Les travaux ont confirmé aussi que la performance de la maison ksourienne en relation avec son inertie thermique ,dépend aussi des circonstances particulières. L'orientation et la forme des maisons , la couleur de l'enveloppe, les matériaux de construction et l'isolation thermique constituent des paramètres influents sur la performance thermique de la construction .De ce fait il est tenu compte de :

La Densité de tissu urbain

- Le rapport plein-vide du ksar montre une dominance absolue du plein qui est constitué de divers ilots de logements bâtis
- Les rues sont plus étroites pour protéger du rayon solaire (ombre portée) et réduire la vitesse du vent

La Conception de la maison :

- Les façades extérieures des maisons traditionnelles sont généralement aveugles, nues et sobres
- L'impasse couverte qui produit un microclimat
- Ventilation par effets de cheminements à travers le patio

Le Matériaux Toub :

- Faible conductivité thermique et un bon isolant thermique
- Grande chaleur spécifique(stockage et restitution de la chaleurs)
- Un bon régulateur hygrothermique

Deuxième partie : Cas d'étude

CHAPITRE III - PRESENTATION DE L'ENVIRONNEMENT ET DU CAS D'ETUDE.

«Une ville se fait dans le temps et par le temps à travers le temps, à travers l'établissement d'un rapport de correspondance permanente entre une forme sociale et une forme spatiale » (J. COIGNET,1987).

I. INTRODUCTION :

Laghouat est située dans le sud Algérien. Son patrimoine naturel, culturel et paysager, sa richesse historique, son patrimoine en terre, conjugués à son climat saharien en font un cas d'étude intéressant pour une approche bioclimatique sur les performances thermiques des maisons ksouriennes en terre crue.

Le volet pratique de ce travail, consiste en une investigation sur terrain, basée sur l'usage de deux outils de recherche qui sont : les mesures in situ à l'aide d'instrumentation technique et l'enquête par questionnaire qui s'appuie sur la perception que les individus ont d'une situation et leur réaction face à celle-ci.

Pour ce qui est du premier outil de recherche, nous avons effectué une campagne de mesures des niveaux de températures, d'humidités relatives et de vitesse du vent à l'intérieur d'une maison ksourienne et à l'extérieur des quatre positions choisies , durant toute une journée en saisons hivernale et estivale .

Dans le but de donner le plus de signification à ces cas d'étude, on a essayé de scruter les données selon les quatre angles d'analyses: descriptive, explicative, compréhensive et classificatrice ; cela on se servant principalement de l'observation en situation du cas d'étude. Le présent chapitre par conséquent, donne un descriptif détaillé de l'échantillon et la méthodologie du travail sur le terrain.

II- Bioclimat et ensoleillement de la ville de Laghouat

II-1- Situation de la ville de Laghouat

La ville de Laghouat est située au piémont de l'Atlas saharien du côté nord, elle s'étend sur le plateau saharien du côté sud

Laghouat est dirigée entre 830m d'altitude à l'ouest et 790m d'altitude au nord séparée par une profonde échancrure. Elle a une latitude de $33^{\circ}46'$ et une longitude de $2^{\circ}56'$.

II-2- Analyse des éléments du climat :

A fin de mieux caractériser le climat de la ville de Laghouat , il est utile d'analyser les différents paramètres qui le constituent, en interprétant les données météorologiques qui s'étale sur une période de dix ans, relatives à la période (2004-2013).



Figure III. 1: :situation sur la carte géographique (Source: : ENCARTA, 2007)

D'après le zonage de la figure III.2, la ville de Laghouat fait partie de la zone climatique **E3** (zone d'été) et **H3a** (zone d'hiver) déterminée par deux saisons principales :

- _ Un été très chaud et sec mais moins pénibles qu'en zone E4.
- _ Un hiver très froid la nuit par rapport au jour. Les écarts de température entre le jour et la nuit sont importants (**Ministère de l'habitat,1993**).

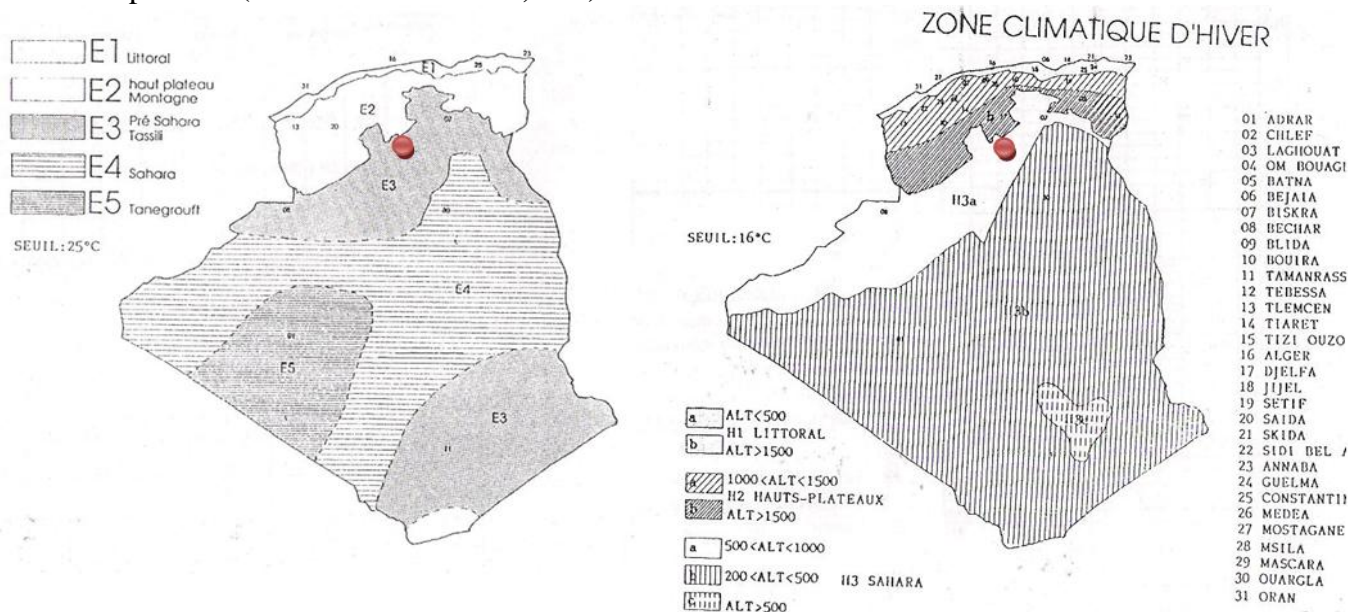


Figure III.2: Situation de la ville de Laghouat par rapport aux zones climatiques (Source: Ministère de l'habitat 1993)

A rappeler que pour définir les climats on va s'appuyer constamment sur les données moyennes et extrêmes , d'où peuvent se mesurer les amplitudes moyennes des températures annuelles entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid, et les amplitudes des extrêmes absolues des températures quotidiennes (entre le maximum diurne et le minimum nocturne) (ESTIENNE. Pierre,1970).

Par ailleurs , de nombreux paramètres sont à prendre en compte si l'on veut faire une analyse très détaillée de l'influence du climat sur l'ambiance intérieure : la vitesse du vent, la température de l'air, l'humidité relative, l'ensoleillement ...etc .

II-2-1.La température de l'air :

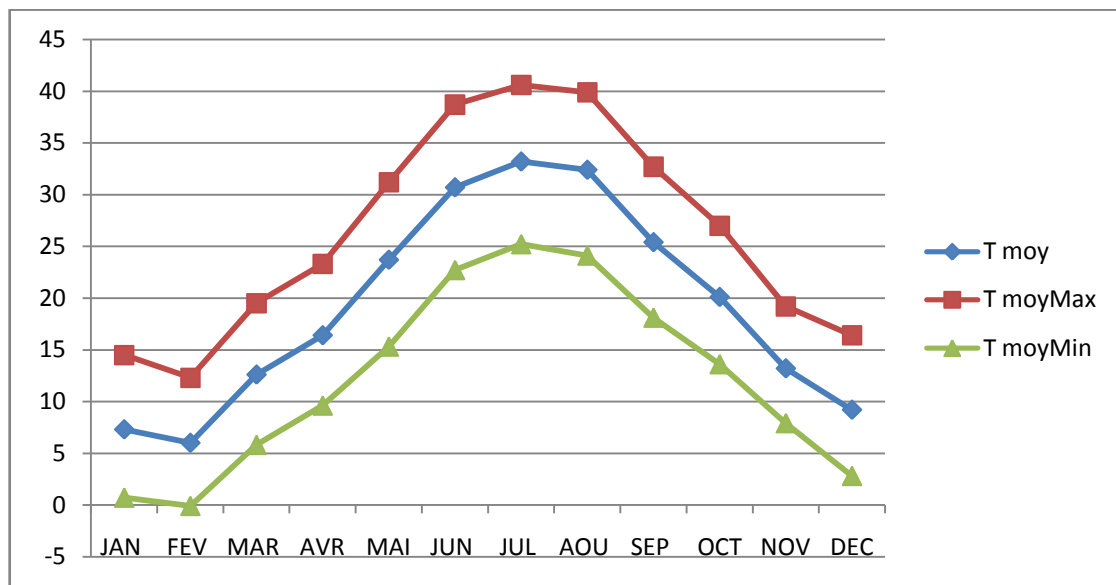


Figure III.3: Variation des Températures de l'air extérieur (Période : 2004-2013)
(Source : Centre Météo de Laghouat)

Selon la figure III.3 établie sur la base des données météorologiques de la ville de Laghouat (période 2004-2013), on peut distinguer que l'évolution des températures moyennes mensuelles est régulière , avec une température moyenne annuelle de **19,18°C**. La température moyenne la plus basse est de **6,1°C** en janvier, le mois le plus froid, alors que la température moyenne la plus importante est de **32,16 °C** en Juillet, considérée comme étant le mois le plus chaud.

On constate que la région est caractérisée par un hiver très froid et un été très chaud

II-2-2.Ensoleillement :

L'ensoleillement est considérable dans la ville de LAGHOUAT . Potentiellement, pour une latitude de 33°46' (http://pgj.pagesperso-orange.fr/latlong.htm#Algeria,2014), le nombre d'heures d'ensoleillement dépasse les 14 heures par jour en été, et 09 heures en hiver comme le montre le diagramme solaire (figure III.4), ainsi que la trajectoire solaire qui est plus importante en été (21 Juin jour le plus long de l'année) qu'en

hiver (21 décembre, jour le plus court de l'année) ceci

permet de considérer également l'énergie incidente sur le sol qui à son tour n'est pas négligeable.

II-2-3.Le vent :

Caractérisé par sa direction et sa vitesse, le vent est un paramètre important dans les échanges par convection et par évaporation. D'après la figure III.5, les vents dominants sont orientés à l'ouest et au sud-ouest. Le Sirocco est plus fréquent dans les Hauts plateaux. Le maximum de fréquence sur l'atlas saharien a eu lieu généralement en juin et juillet. leur vitesse varie de 15 à 30 m/s soit 58 à 108 Km/h et de direction Sud- ouest fréquence 687 heures/mois .

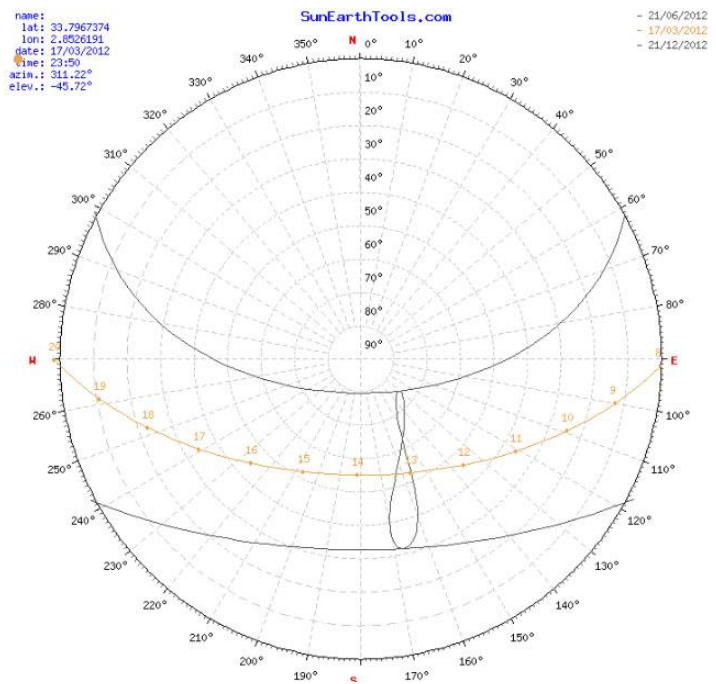


Figure III.4: Diagramme solaire indiquant la trajectoire solaire pour la ville de Laghouat – latitude 33° 46' (Source: www.sunearthtools.com)

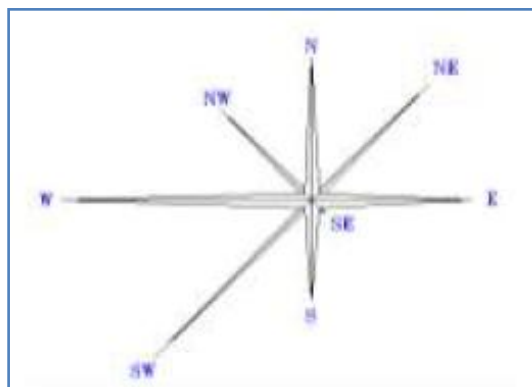


Figure III.5 Rose des vent sur la ville de Laghouat (Source : auteur)

II-2-4.Les Précipitations :

La répartition annuelle des précipitations à Laghouat sont rares, fortes et irrégulières, parfois faibles. Ces dernières années de sècheresse il a été enregistré une moyenne de 155,2mm durant l'année 2012-2013.

II-2-5.L'humidité relative :

La courbe des humidités relatives croit dans le sens inverse de celle des températures. La moyenne annuelle des humidités relatives est de 45,33 % (figure III.6).

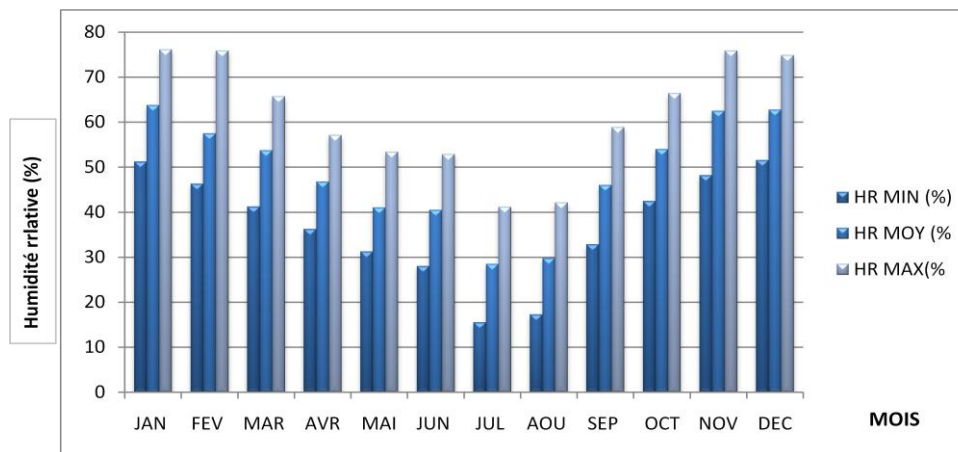


Figure III.6 Variation de l'Humidité relative (Période : 2004-2013)
(Source : Centre Météo de Laghouat)

Les humidités les plus élevées correspondent aux mois les plus froids et vice versa; ce qui suggère que le climat de la ville de Laghouat est humide et froid en hiver avec une moyenne de 73% pour le mois de décembre et assez sec et chaud en été avec une moyenne de 28 % pour le mois de juillet.

II-3 Le diagramme bioclimatique de Givoni

Le diagramme de Givoni clarifie douze différentes lignes mensuelles de l'année, figure III.7 ci-après. On note:

- Effet de masse thermique avec ventilation nocturne à partir du mois de juin .
- Refroidissement par évaporation durant quelques moments journaliers en Juillet et en Aout .
- Un apport solaire passif de Décembre à Mars et des gains internes pour les nuits des mois de Novembre et d'Avril.
- Chauffage mécanique nécessaire pendant certains moments nocturnes de Novembre à Février.

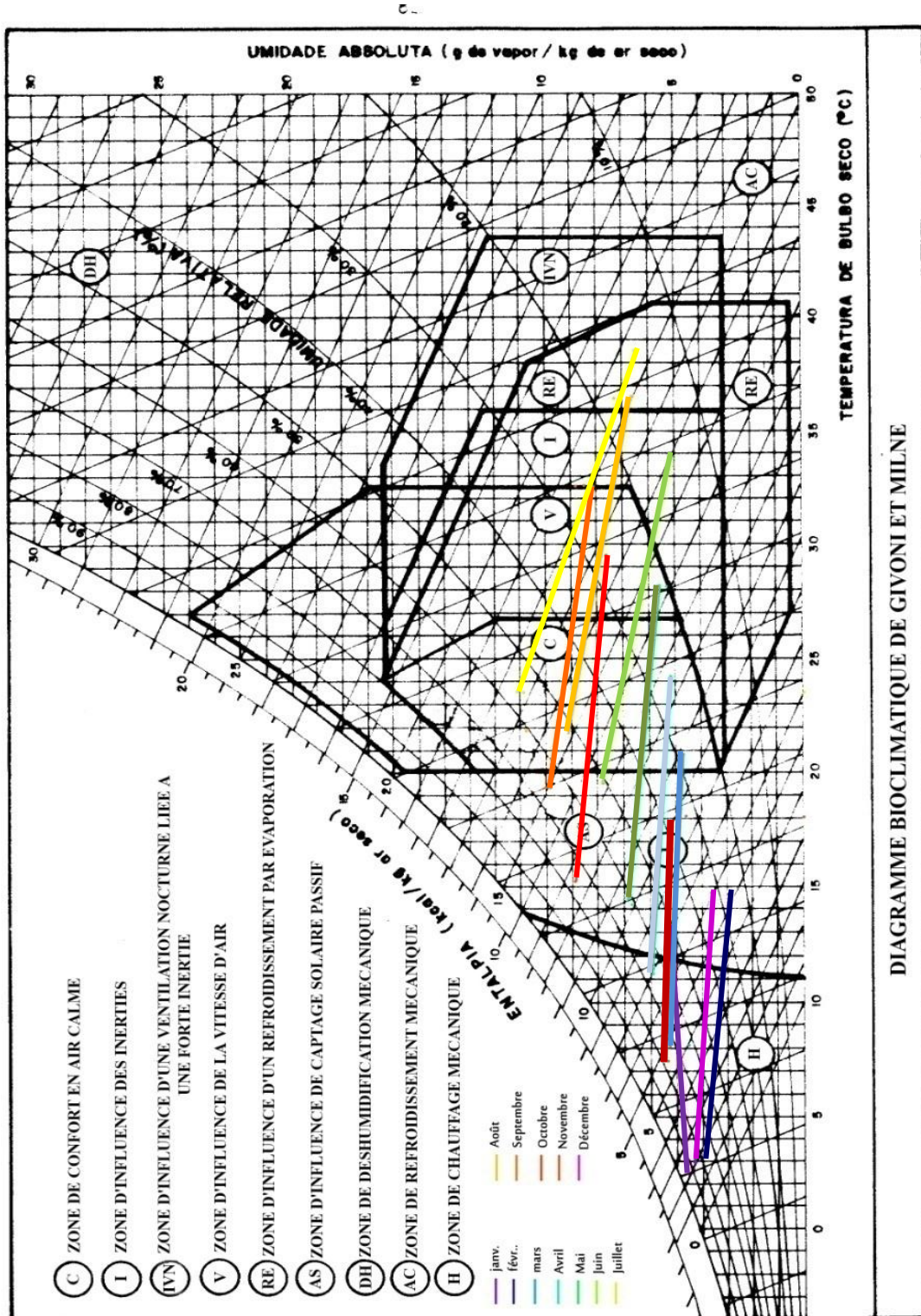


Figure III.7 L'application du diagramme de Givoni sur la ville de Laghouat (Source : auteur)

III- Présentation du cas d'étude: La maison ksourienne

III-1 site : localisation

L'architecture ksourienne est le produit d'une culture de masse nourrie de la quotidienneté, de l'environnement et du génie local et non pas une production d'élite. Cet habitat exprime les contraintes environnementales et les valeurs des civilisations locales. Car raisonner, exclusivement, en termes d'écosystèmes et de contraintes environnementales, c'est succomber à la séduction du discours rationnel qui sépare le corps et l'esprit en deux entités distinctes (ÉCHALLIER J.-C,1967).

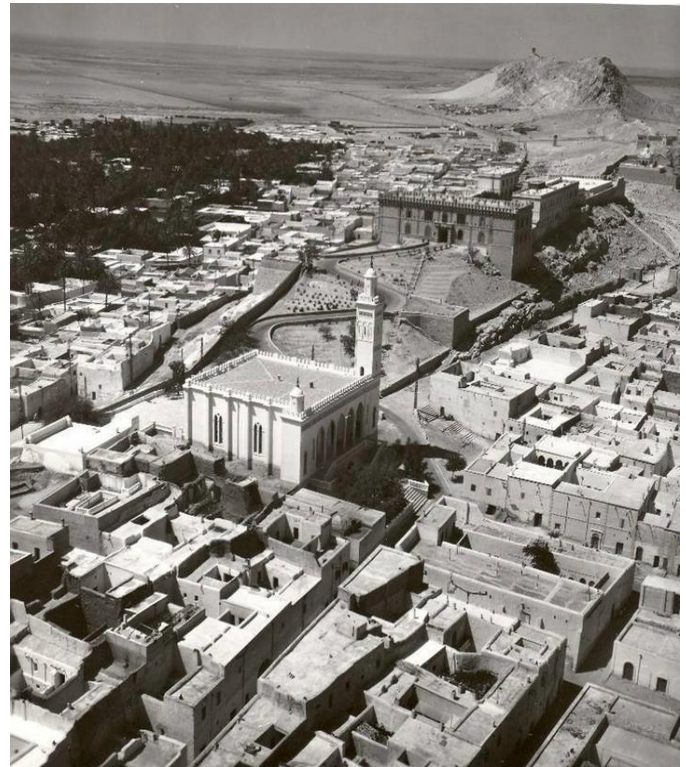


Figure III.8: vue aérienne du Ksar de la ville de Laghouat (Source: google earth)

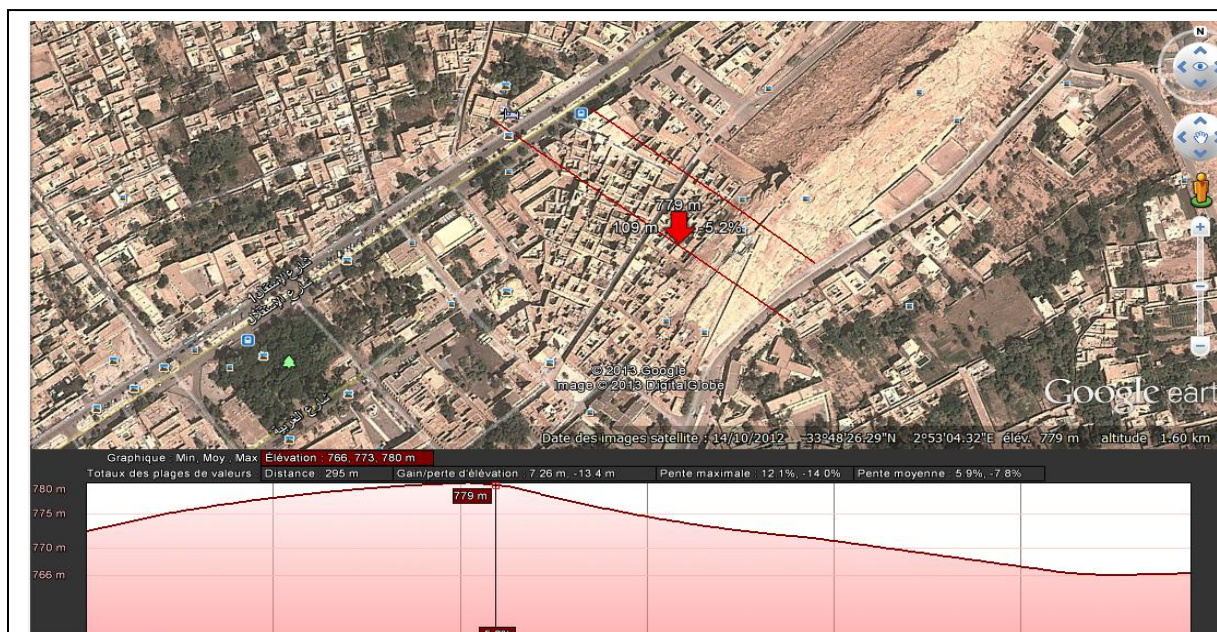


Figure III.9: Situation du Ksar de la ville de Laghouat (Source: google earth)

Dans ce cadre , l'étude s'est fixée l'objectif de présenter une lecture réelle du comportement thermique d'une maison située au ksar de la ville de Laghouat , selon ses qualités thermo-

physiques, en testant le rôle et l'impact de son inertie sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique.

1. Descriptif de la maison ksourienne :

Un échantillon représentatif a servi de support à l'analyse détaillée du comportement thermique de la construction dans son contexte local. La distinction de cet échantillon est motivée par plusieurs paramètres qui vont être mentionnés au fur et à mesure dans ce qui suit.

Notre cas d'étude est situé à Laghouat dans un climat de type présaharien, l'hiver très froid et l'été très chaud , la maison s'insère dans un noyau historique dense (ksar),implanté sur la colline Tizigrarine au coté Nord -est de la ville, Figure III.10-. Elle est en R+1, construite en terre crue -toub-, dont l'épaisseur de la paroi extérieure est de 50 cm . Les façades sont aveugles et toutes les pièces sont aérées et éclairées par le haouche -patio- (introvertie) "*Naturellement la pénétration d'air, de lumière et d'ensoleillement se fait à travers les cours intérieures considérées comme régulateur thermique*". (**Raverau A,1982**).



Figure III.10: Situation du cas d'étude par rapport au Ksar de la ville de Laghouat (Source: auteur)

III-2 l'ensoleillement et l'orientation

Tous les espaces dans l'habitation sont orientés au centre qui est l'élément d'orientation et d'organisateur de l'espace, c'est le premier critère d'orientation. Aussi, l'orientation par rapport au soleil, et suivant la consultation des relevés de l'habitation et du fait de son organisation introvertie, on constate que l'habitation s'organise verticalement vers le ciel, c'est

le deuxième critère d'orientation. C'est au rythme de ces modes d'orientation que l'habitation se structure.

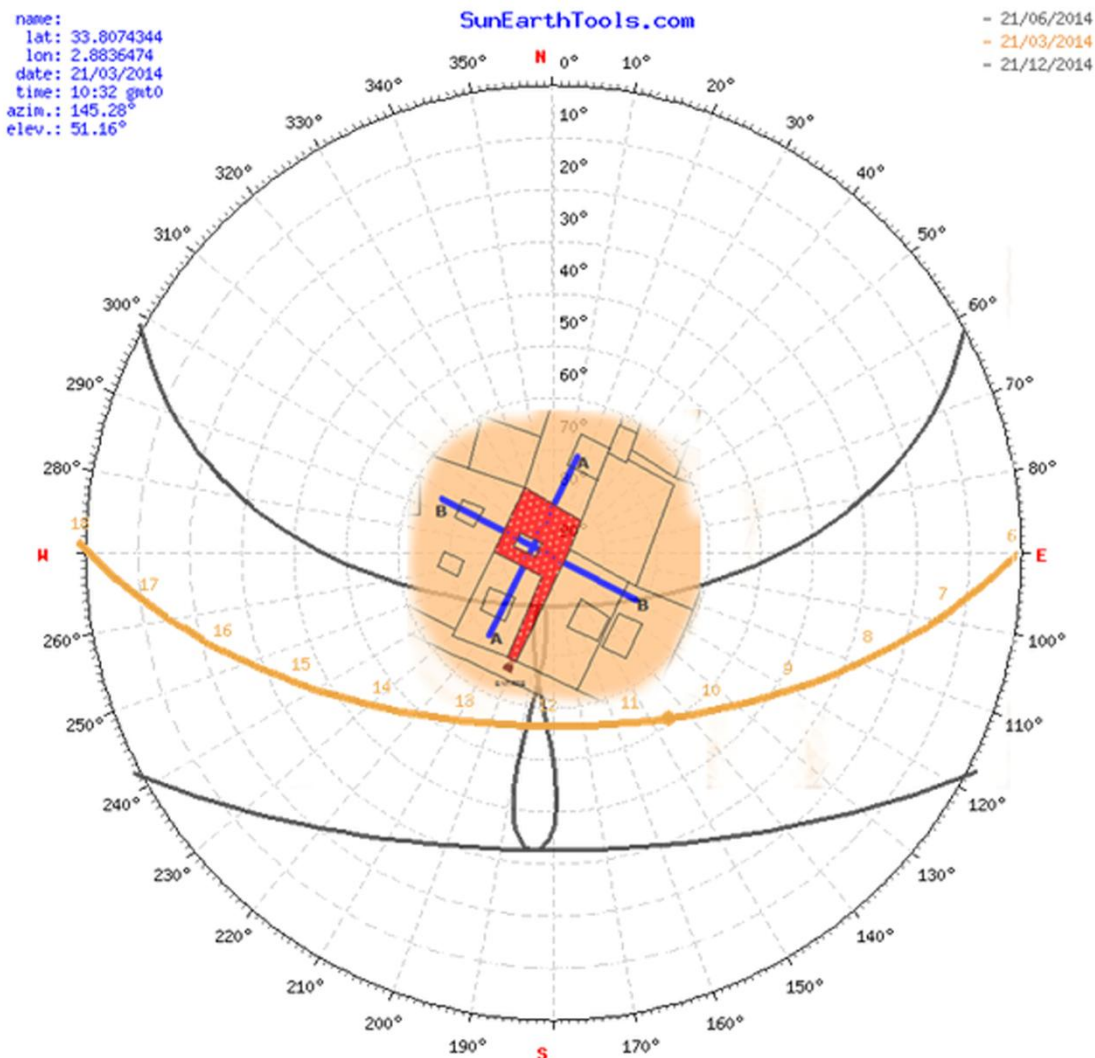


Figure III.11: Orientation de la maison ksourienne et trajectoire solaire (Source: auteur)

La maison ksourienne se présente sous une forme générale carré (en rouge sur la figure III.11 ci-dessus), deux axes principaux indiquent son orientation :

- l'axe A-A : indiquant une orientation (Nord-est, Sud-ouest), c'est le grand axe.
- l'axe B-B : indiquant une orientation (Nord-ouest, Sud-est), c'est le petit axe.

D'une architecture vernaculaire ksourienne , les façades de la maison sont aveugles, nues et sobres .

Il existe un obstacle extérieur formé par la construction des maisons voisines mitoyennes de hauteurs R+ 1 ,qui a pour effet de bloquer les rayons solaires directs.

III-3 Composition de la maison :organisation spatial

La structure spatiale de la maison est déterminée par des espaces qui sont des éléments invariants: leur présence, l'articulation, leur relation et l'orientation sont conservée quelque soit les contraintes. Tous les espaces de la maison s'organisent autour d'une cour centrale - patio - ,qui s'élève sur deux niveaux (rez-de-chaussée + un étage) .

a)- Au rez-de-chaussée :

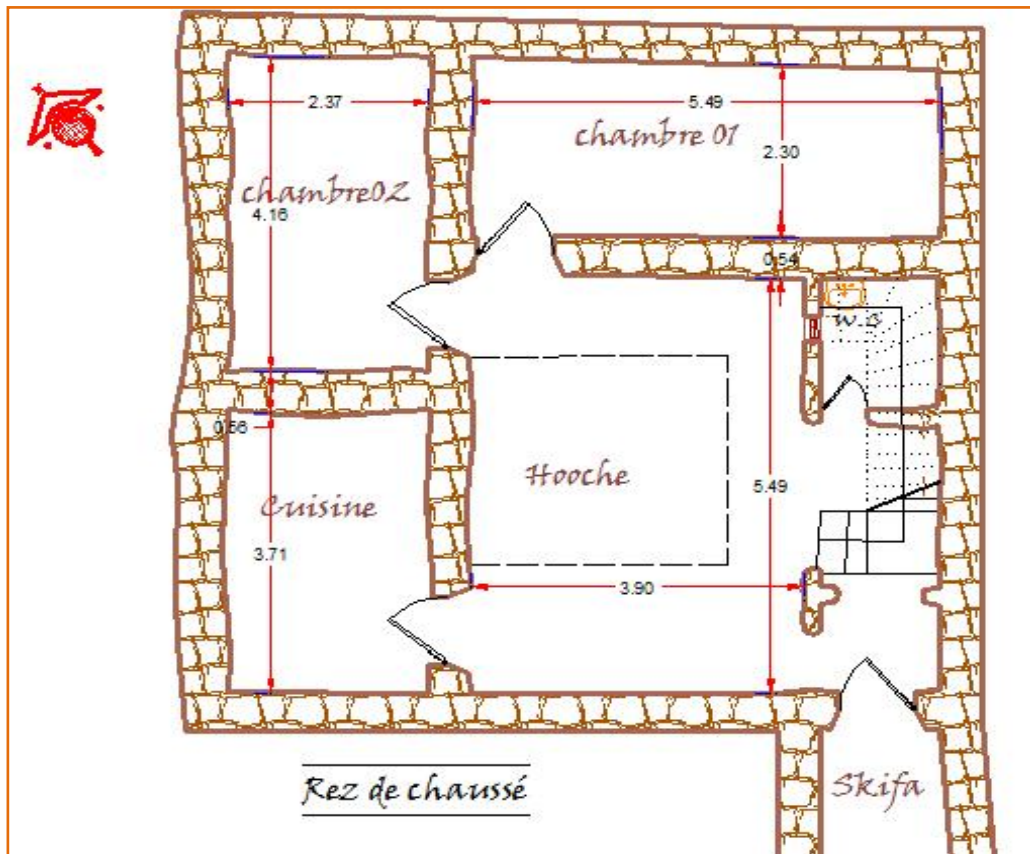


Figure III.12: plan de rez de chaussé de la Maison du cas d'étude (Source: auteur)



Figure III.13: revêtement du Sol
(Source: auteur)



Figure III.14: revêtement du plafond
(Source: auteur)



Figure III.15: Cage d'escalier du cas d'étude
(Source: auteur)



Figure III.16: Impasse comme espace privé
(Source: auteur)



Figure III.17: Vue sur patio
(Source: auteur)



Figure III.18: revêtement des murs
(Source: auteur)

b)- A l'étage :

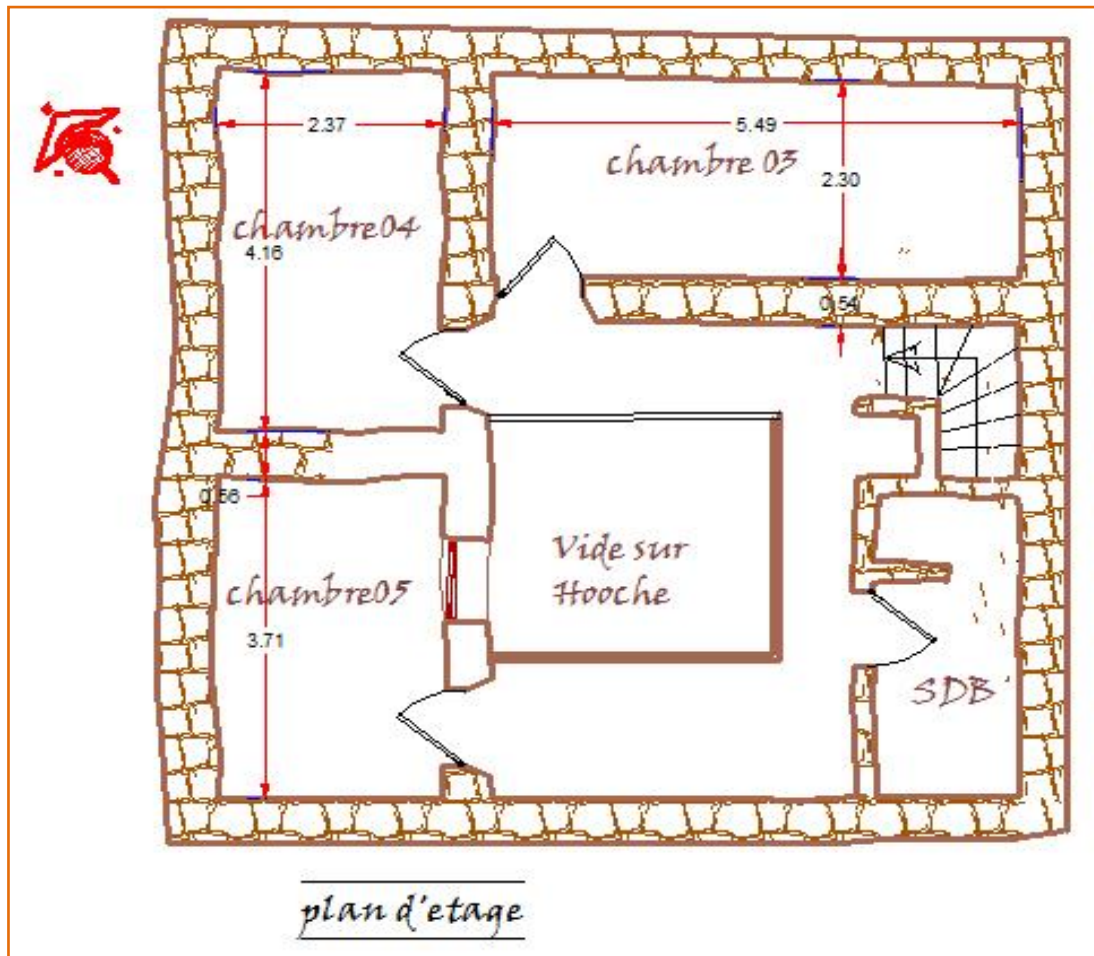


Figure III.19: plan d'étage de la Maison du cas d'étude (Source: auteur)



Figure III.20: vue des chambres supérieur
(Source: auteur)

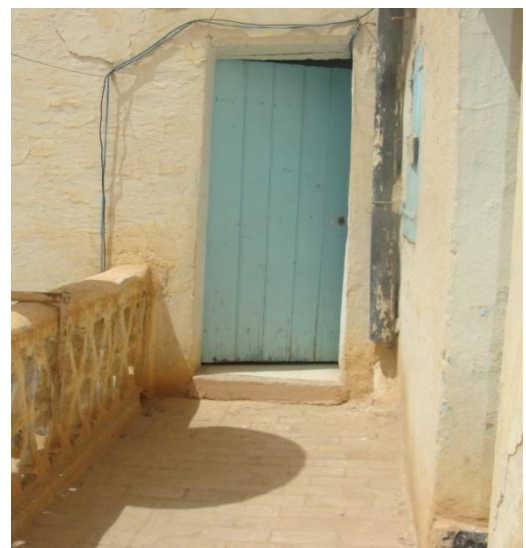


Figure III.21: revêtement du sol
(Source: auteur)

III-4 Système constructif et énergétique du cas d'étude

- La structure de la maison est réalisée en système de murs porteurs en Toub d'épaisseur variable de 30 à 50 cm , en général les performances thermiques et acoustiques sont connues pour être bonnes, et ce grâce à la masse des murs qui offre un confort thermique pour les occupants et les protège des écarts de température entre la saison chaude et froide, le jour et la nuit.
- Le mortier traditionnel est à base d'argile contribue à accroître l'inertie du mur et ainsi le confort thermique et acoustique . Ce mortier joue cependant un faible rôle dans le maintien de la stabilité de l'ouvrage.
- Les planchers : Ils sont l'armature du plafond qui est constituée de troncs de palmiers, recouverts ensuite de plusieurs couches de roseaux entrecroisés, posés par la suite et recouverts d'une couche de terre battue de 25 à 30 cm et étalée sur toute la surface. La couche de finition est constituée de mortier de chaux ,qui contribuait aussi à la régulation de la température .

IV-Diagnostic énergétique du cas d'études

IV-1 Analyse du cas d'étude :Maison ksourienne dans son état initial



Le but de la campagne de mesures est d'examiner le comportement thermique des espaces de la maison ksourienne pendant les deux périodes estivale (été 2013), et hivernale (hiver 2013) à travers la prise de mesures et l'évaluation des données paramétriques de l'ambiance thermique enregistrées à l'intérieur des chambres , du patio , de la skifa et de la rue .

IV. 1-1 . Description du système de mesure :

L'acquisition des données a été réalisée avec utilisation d'un certain nombre de matériel. La campagne de mesure est menée avec plusieurs appareils : thermomètre digital avec un anémomètre pour les mesures du vent ,du modèle: TESTO 615 et un hygromètre digital du modèle: TESTO 415 Les capacités et les détails de fiabilité de ce dernier sont représentés dans le tableau II.1.De ce fait, un étalonnage de précision est envisagé entre ces différents instruments, pour éviter le décalage qui peut se présenter entre les valeurs enregistrées, et par la suite, de les prendre en considération plus tard dans les valeurs des résultats.

Tableau II. 1: les instruments de mesure utilise dans l'investigation

[Source : auteur 2014]

Les instruments de Mesures		Description
<p>TESTO 615 Anémomètre</p>		<p>Permet de mesurer la Température de l'air et la vitesse de vent : Temp (° C)/ vitesse de vent (m/s)</p>
<p>TESTO 415 Thermo-hygromètre</p>		<p>Permet de mesurer la Température de l'air et 'humidité ambiante : Temp (° C)/ HR (%)</p>

IV-1-2 Méthode de calcul point à point :

Les mesures ont été effectuées durant deux périodes retenues pour l'investigation, estivale et hivernale. Donc , les relevés de température et d'humidité se sont déroulés pendant des mois parmi les plus critiques de chaque période. Le mois de juin en été et le mois de décembre en hiver, pour une durée de quatre jours successifs chacun : (juin 2013, décembre 2013).

Durant les jours d'investigation les mesures des différents paramètres ont été prises en quatre points . Ces points représentent le centre de la chambre 01 testée (point1) à une hauteur de 0.6 m (niveau de lit) (Figure III.21), et de la même hauteur de 1.50m au centre du patio ,la Skifa et la rue (points 2 , 3 et 4), (Figure III.23). Les occupants sont tous des

adultes, donc il n'y avait pas de risque objectif d'éventuelles manipulations qui puissent fausser les lectures.

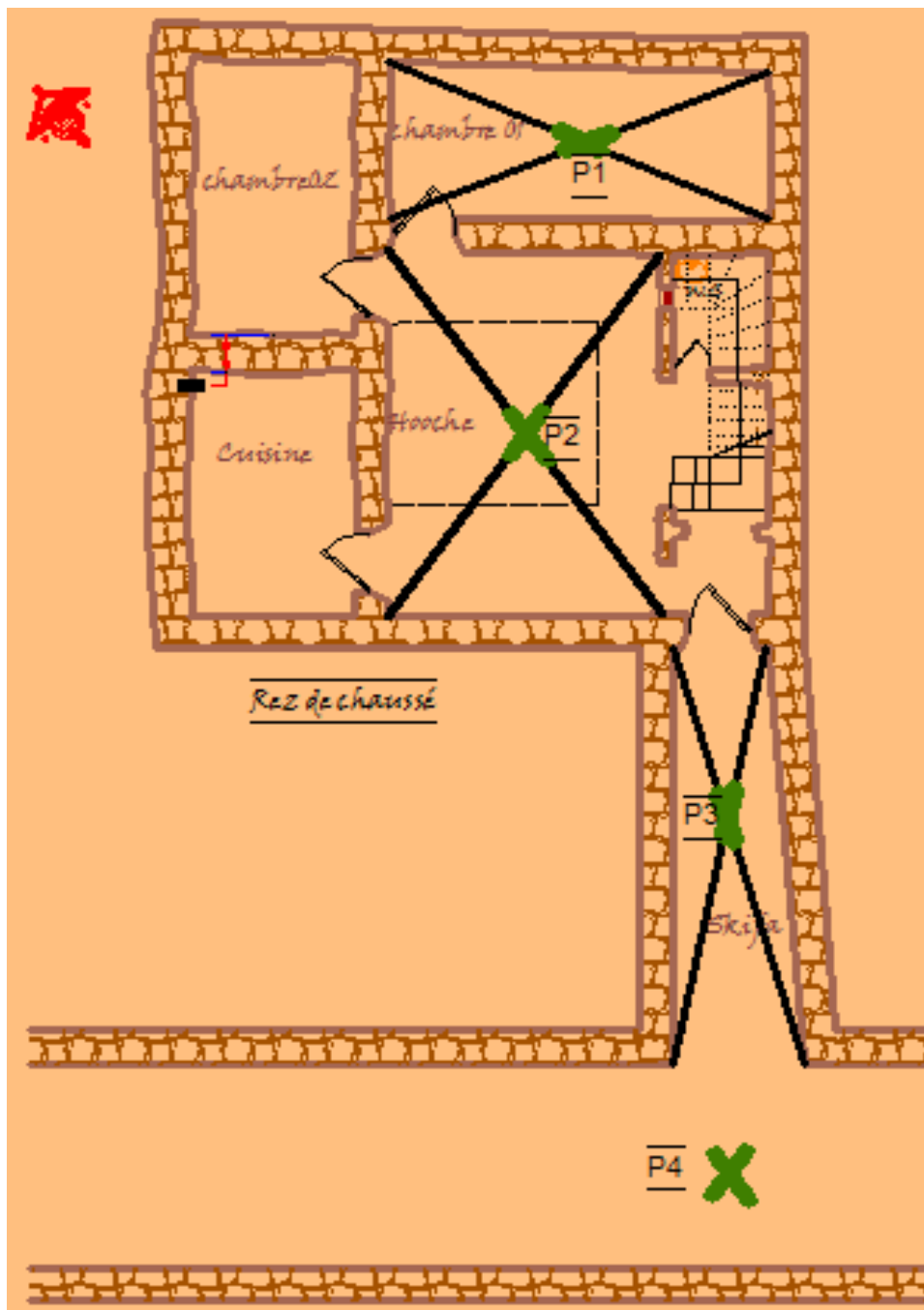


Figure III.22: Points de prise de température et d'humidité dans les pièces testées sur le plan planimétrique (Source: auteur)

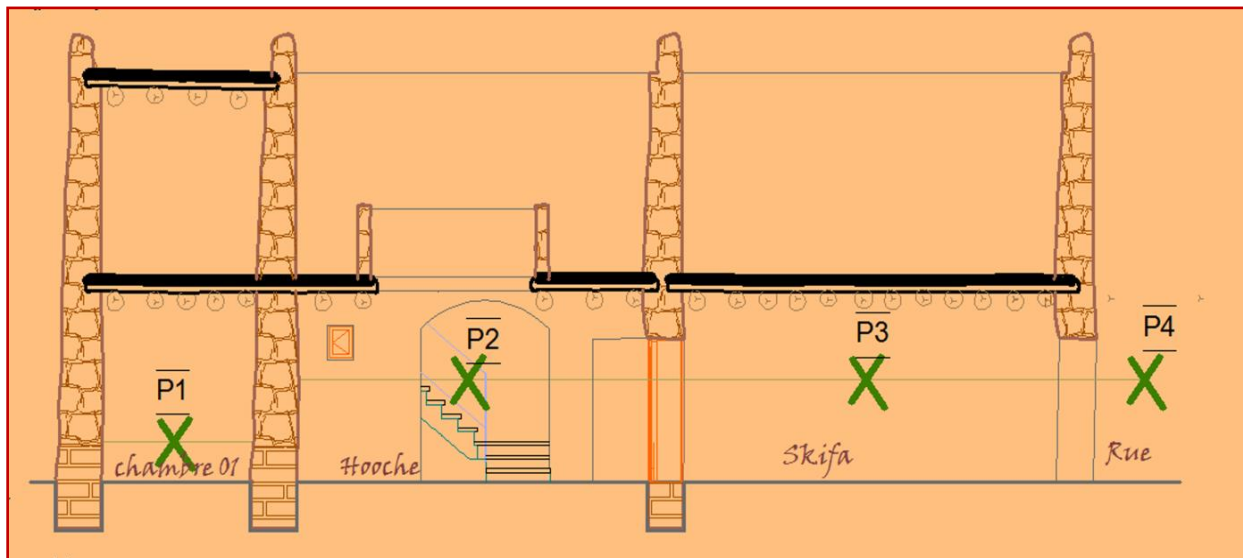


Figure III.23: Points de prise de température et d'humidité dans les pièces testées sur le plan altimétrique (Source: auteur)

IV-1-3 Mesure des températures intérieures

Signalons que la maison d'intervention n'a pas subi de grandes modifications, de distraction ou de reconstruction complète, elle est en bon état et est habitée. Les quelques travaux subits concernent surtout la réhabilitation. Comme la construction de douches ou de salle de bain, le revêtement du sol, et la suppression des cheminées qui étaient dans chaque pièce de la maison tout en conservant certaines pour l'esthétique.

Les résultats obtenus lors de la prise de mesures durant les deux périodes, estivale (juin) et hivernale (décembre) sont les températures, l'humidités, et la vitesse du vent à l'intérieur et à l'extérieur de la maison ksourienne ainsi que ceux communiqués par la station météo de Laghouat ont fait l'objet d'analyse et de comparaison, se présentent comme suit :

a- La température de l'air (21 Juin 2013)

A savoir que la période de l'investigation s'est caractérisée par une vague de chaleur et de canicule, marquant une forte hausse de température à plus de $36,1^{\circ}\text{C}$.

Comparée à la moyenne de la rue et la moyenne météo, la moyenne intérieure des températures de l'air (chambre, patio, skifa) suivent le même profil, qui présente les meilleures valeurs durant la journée et l'après midi (Figure III.24).

Elle oscille entre une valeur minimale de $27,1^{\circ}\text{C}$ à 5h et une valeur maximale de $29,8^{\circ}\text{C}$ à 21h, soit une amplitude de $2,7^{\circ}\text{C}$. Alors que la température de la rue atteint son maximum de 34°C à 15h et son minimum de $26,2^{\circ}\text{C}$ à 5 h, soit une amplitude de $7,8^{\circ}\text{C}$. La courbe de sa

variation se situe entre la courbe de la température intérieure et celle de la météo. Enfin la courbe de variation de la température météo enregistre les plus hautes valeurs durant cette période, où elle varie entre un maximum de 36.1°C à 15h et un minimum de 23.4°C à 3h, soit une amplitude de 12,7°C.

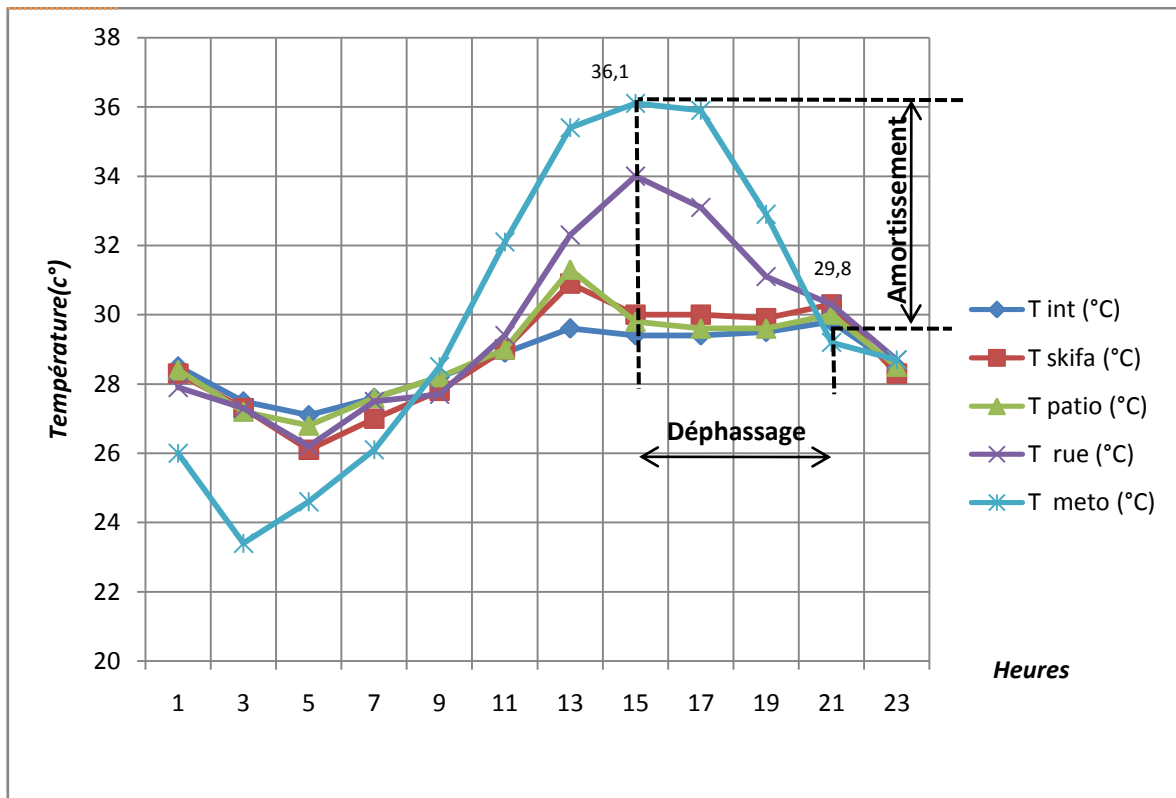


Figure III.24 :les résultats de la température de l'air de la journée du 21 juin 2013 (Source: auteur) (2014)

On remarque une diminution légère de la température de l'air intérieur dans les différents points de mesure (p1, p2, p3) durant les périodes de (21 :00h à 9 :00h), due à la ventilation nocturne ; Pendant la nuit, le sol et les façades de la cour dissipent rapidement la chaleur absorbée durant la journée par radiation vers le ciel froid (rayonnement terrestre) ; avec l'effet d'éliminer les gains de chaleur internes accumulés pendant le jour (par effet de cheminée à tirage naturel-patio-). En permettant à l'air plus frais de la nuit de circuler à travers la maison .

Au début de la journée, le soleil est encore bas, ainsi la cour reste fraîche puisqu'il ne réchauffe que les parties hautes des parois de la cour. A midi, lorsque le soleil est très haut (au zénith), le sol reçoit les rayons directs et les transmet par réflexion aux parois environnantes, ce qui augmente la température de l'air dans la cour. Simultanément, dans les pièces périphériques, le plafond diffuse, par l'effet de l'inertie, la fraîcheur maintenue depuis

la nuit vers le bas des pièces. Dans l'après-midi, le sol revient au fur et à mesure à l'ombre et un arrosage permet de rafraichir l'ambiance dans la cour en attendant la tombée de la nuit (Muhannad HAJ HUSSEIN,2012).

A propos de la maison ksourienne Abdou. S affirme que « *Les percements facilitent la ventilation et le rafraîchissement de la structure le soir, ce qui justifie sa meilleure performance à partir de 18.00h* ». (ABDOU. Saliha,2004).

L'inertie thermique le jour en amortissant la fluctuation de température extérieure, et en la déphasant dans le temps. L'amplitude enregistrée entre la température extérieure et celle de l'intérieur est de 6,3°C après 06h de temps de déphasage (Figure III.24)

De plus, sous l'effet de la ventilation nocturne, selon Givoni, (1983), la structure emmagasine la fraîcheur, qu'elle restitue à l'environnement le jour suivant.

Les résultats obtenus montrent l'effet de l'inertie thermique des matériaux en terre aussi la conception des maisons ksourienne prend en considération des dispositifs pour une ventilation naturelle, qui sollicitée pour la lutter contre la surchauffe d'été dans ce type de maisons et améliorer l'ambiance thermique de ses espaces.

b- L'humidité relative de l'air (21 Juin 2013)

D'une vue générale de l'histogrammes de la Figure III.24 montrent que l'humidité relative à l'intérieur de la chambre (P1) marque une stabilité uniforme durant toute la journée ;à une moyenne de 24,1% avec une légères fluctuations ; A partir de 10h00 à 25% (moment des tâches ménagères, sol aspergé d'eau) jusqu'à atteindre un minimum de 21,6% à 17h00 . Et c'est à partir de 18h00, que le taux d'humidité relative dans la pièce augmente à nouveau pour atteindre leur maximum de 26.9% à 6h00.Un écart enregistré , il est de 5.3% .

Le taux d'humidité reste uniforme à l'intérieur de la pièce des maison ksourienne . Au moment où l'espace reçoit le maximum des gains solaires de 11h à 14h , elle possède une bonne qualité hygroscopique, ce qui lui permet d'absorber la moindre humidité dans les constructions. Cela a pour effet d'augmenter le pouvoir d'évaporation de l'air et de contribuer au confort thermique ;

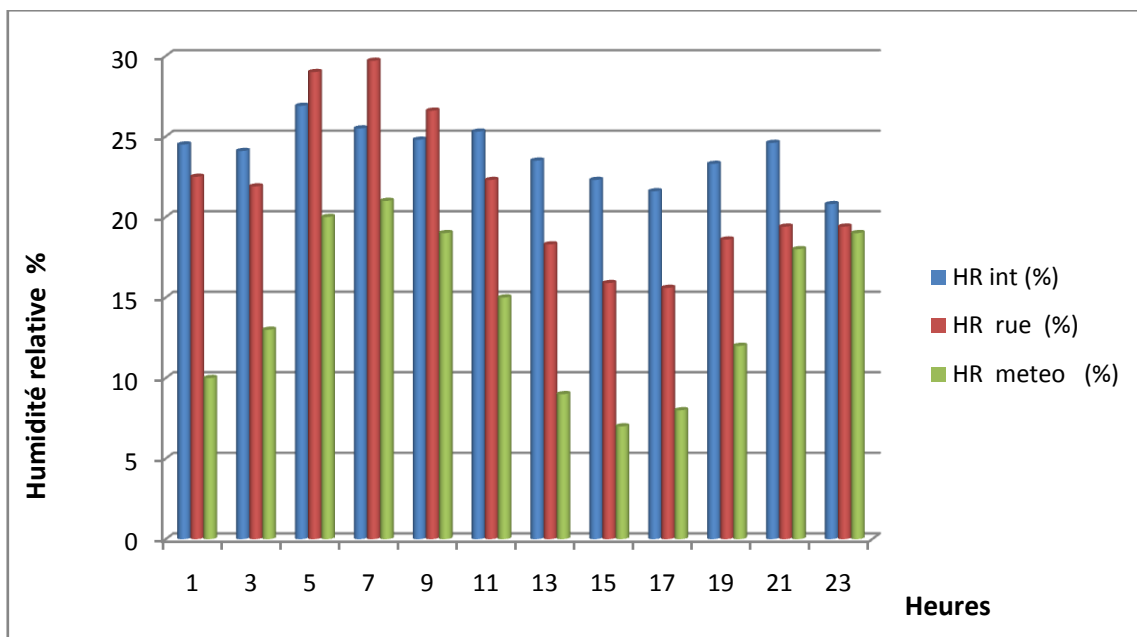


Figure III.25 : Variation de l'humidité relative moyenne intérieure et extérieure de la journée du 21 juin 2013
(Source: auteur) (2014)

Ainsi, l'humidité relative enregistrée à l'intérieur de la maison ksourienne est supérieure à celle de l'extérieur et de la météo témoignant d'un apport supplémentaire en humidité provenant de la paroi avec l'adobe (Toub) utilisée qui permet le maintien de l'équilibre hygrométrique, en évitant les variations de l'humidité relative de l'air ambiant. En plus de ses propriétés thermiques, l'adobe avec ses propriétés hygrométriques de l'absorption et la désorption de la vapeur d'eau contenue dans l'ambiance, permet de réguler les conditions intérieures. Assurant donc le confort hygrométrique intérieur.

Dans les murs en Toub, durant la saison chaude, l'eau est captée par évaporation. Un phénomène qui accroît sensiblement le confort par une baisse de la température intérieure de la maison.

c- Les températures intérieures et la zone de confort (21 Juin 2013)

La figure III.26 ci-après montre les températures mesurées dans les différents espaces de la maison ksourienne. Pour cela, les températures mesurées dans ce cas seront situées dans une zone de confort établie d'après la température neutre de Humphrey lors de l'analyse bioclimatique de la ville de Laghouat. Cette zone est comprise entre la limite supérieure de **28.29°C** et la limite inférieure de **24.29°C** pour la période estivale (Voir annexe II)

Nous constatons que l'investigation sur la situation thermique dans l'habitat ksourien montre, que les valeurs des températures intérieures (de la chambre 01 skifa et patio) sont généralement plus proches de la limite supérieure de la zone de confort déjà déduite pour le

mois de juin (mois de la campagne de mesure) avec un écart maximal de 2,11°C à 14 h00, tout en étant inférieures à la température extérieure de la station météo enregistrée à la même heure (de 9h00 à 21h00), En d'autre terme, la maison bénéficie des ombres portées par les masques urbains que représentent les maisons voisines, ainsi le patio offrant un masque solaire efficace du point de vue thermique(zone tampon) .

Par conséquent, nous pouvons déduire que l'espace le plus confortable reste celui de la chambre 01 , car c'est à l'intérieur de cette dernière que sont enregistrés les meilleurs résultats.

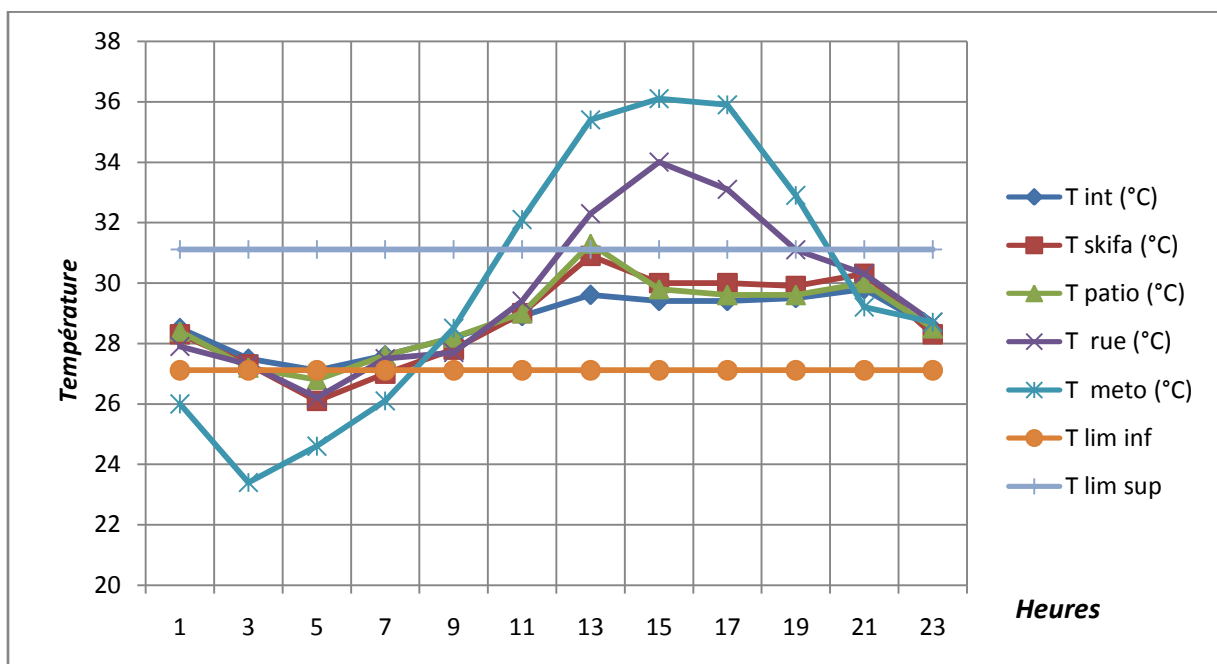


Figure III.26: Comparaison des températures moyennes intérieures de la maison ksourienne avec les limites de confort (Source: auteur)

Ce qui se traduit par l'effet de l'inertie quotidienne et par celui de l'inertie séquentielle. L'inertie quotidienne marque le déphasage et l'amortissement de l'onde thermique. D'où l'atténuation quotidienne des températures maximales, mais l'augmentation des minimales suite à la dissipation de la chaleur par la structure interne vers l'intérieur durant la nuit. On déduit donc qu'en été l'inertie réduit l'écart entre les températures maximales et minimales intérieures. Elle écrase les températures maximales surtout le jour vu que le climat de Laghouat est caractérisé par des températures moyennes et maximales élevées. En revanche l'inertie pendant la nuit relève légèrement les températures minimales.

a. La température de l'air (21 Décembre 2013) :

La journée du (21/12/2013) est caractérisée par un vent faible de vitesse moyenne 4,3 m/s de direction Nord-est, et un ciel clair .La température diurne varie de 7,4°C à 10,2 °C.et la température nocturne de 9,1 °C à 7,1°C . avec une amplitude de (3,1°C).

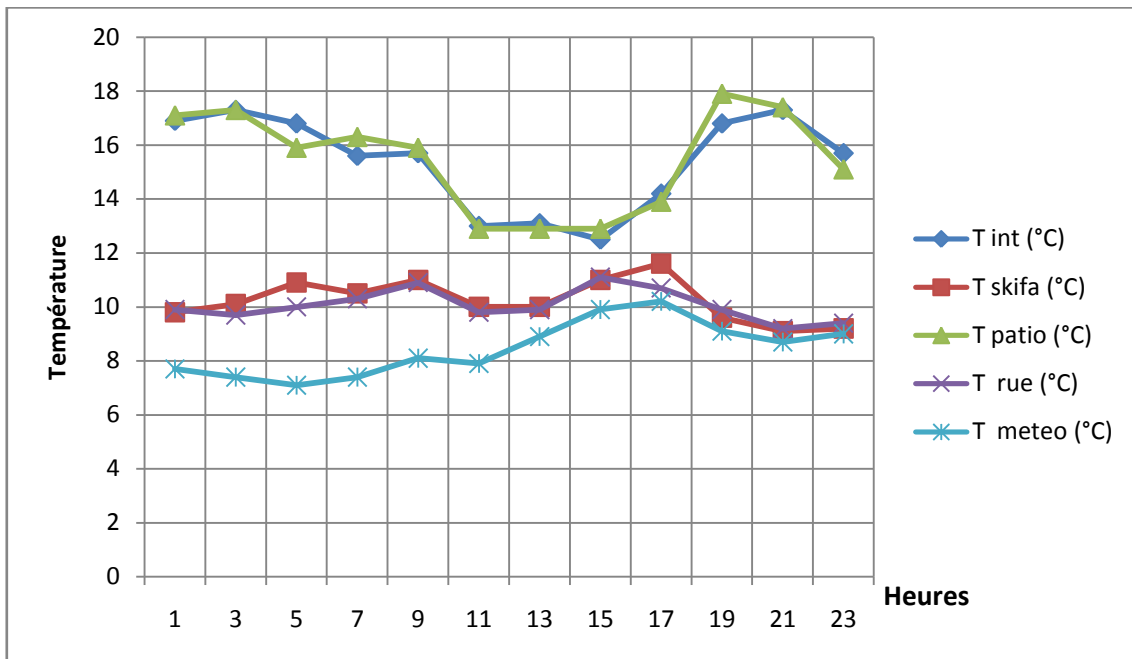


Figure III.27:les résultats de la température de l'air de la journée du 21 Décembre 2013 (Source: auteur)

D'après la lecture du diagramme de la Figure - III-27-, La moyenne de la température ambiante dans la chambre 01 est plus élevée comparée à celle de l'extérieur au niveau la rue ou celle de la météo. Elle ne chute qu'à 9h en conséquence de l'ouverture de la fenêtre pour la ventilation matinale et les tâches ménagères.

A partir de 16.00 heures jusqu'à 20.00 heures la courbe de température intérieure évolue lentement où elle varie entre 14,2°C et 17,7 °C avec une amplitude de 3.5°C , cette augmentation est due aux effets du taux d'occupation de l'espace qui constitue une source de gain d'énergie . D'autre part, les valeurs élevées de ces écarts sont enregistrées dans le cas d'une journée ensoleillée, sous l'effet de l'inertie thermique de la paroi en terre crue , ce qui est expliqué par le fait que sous l'effet du rayonnement le jour, la paroi se met à stocker la chaleur par le biais de l'inertie d'absorption du mur. La température à l'intérieur enregistre une baisse pendant 07 heures (de 9h jusqu'à 16 h le soir). Mais au delà il se produit un gain après la dissipation de la chaleur . Par ailleurs , la toiture protège aussi du froid en retardant sa pénétration à l'intérieur par le biais du vide laissé entre le comble et le plafond.

On constate aussi que les profils des températures de l'air enregistrées à l'intérieur du patio retracent les mêmes allures avec celles des températures enregistrées dans la chambre 01. suivant ainsi le parcours d'évolution des gains solaires durant la journée, période où l'espace patio reçoit le maximum de radiations solaires , étant couvert durant la période hivernale avec une toiture en polyane (installée temporairement par le propriétaire) ce qui élimine l'effet de cheminée et renforce le gain d'énergie (effet de serre) .

b- L'humidité relative de l'air (21 Décembre 2013)

L'analyse de l' histogramme de l'humidité ci-dessous (figure III.28), laisse apparaître que les valeurs de l'humidité relative extérieures enregistrées par les services météorologiques sont supérieures le jour comme la nuit à celles de la rue ou celles de l'intérieur. L'humidité au niveau de la rue est d'un important écart de 15 % entre un maximum de 65% à 22h et un minimum de 54,7 % à midi, et celui de la météo de 17 % entre 87 et 75 %.

L'abaissement des valeurs de l'humidité de la rue par rapport à celles prélevées par la station météorologique s'explique par l'effet du micro climat (l'effet de la canalisation du vent au niveau de la rue, chassant l'humidité extérieure absorbée par les parois)

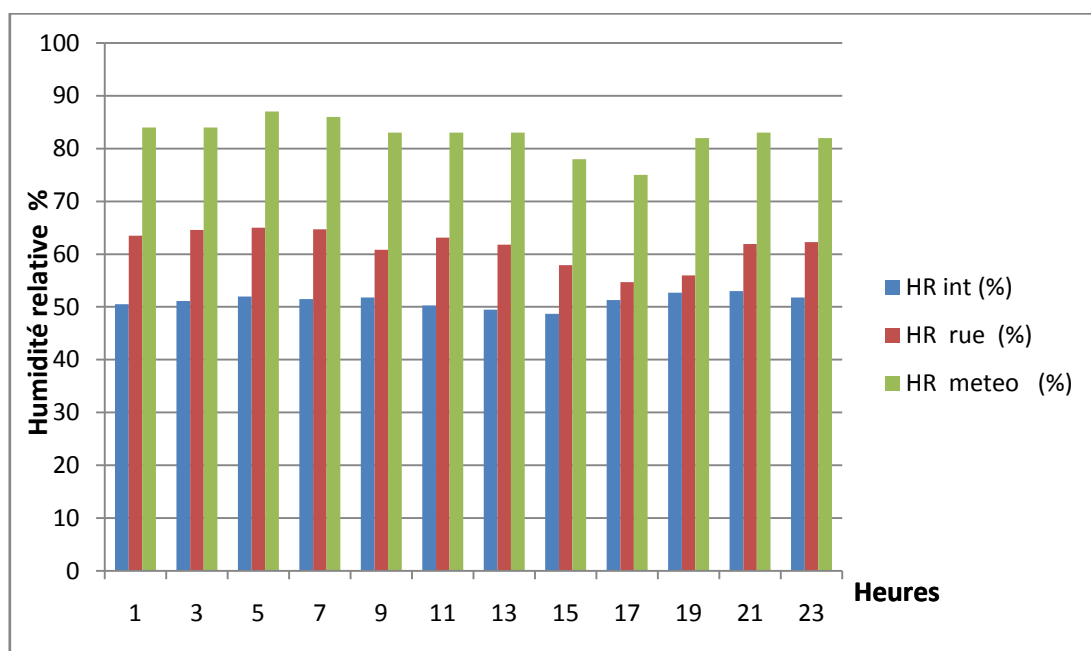


Figure III.28:les résultats de la température de l'air de la journée du 21 Décembre 2013 (Source: auteur)

L'humidité relative ambiante présente une stabilité avec un écart seulement de 4.3% entre sa valeur maximale et sa valeur minimale comparée à celle de l'extérieur (météo) . L'effet de l'inertie hydrique du Toub intervient dans le maintien de l'équilibre hygrométrique en limitant les variations de l'humidité. En plus de ses propriétés thermiques, le Toub, avec ses propriétés diffusives, de l'absorption et la désorption de la vapeur d'eau, permet de réguler les conditions internes .

c - Les températures intérieures et la zone de confort (21 Décembre 2013)

L'investigation sur la situation thermique dans l'habitat ksourienne ,montre que les températures mesurées dans la chambre et du patio se situent généralement dans les limites de confort thermique déterminées pour Décembre (mois de la campagne). Mais, les températures intérieures sont en-deca les limites du confort inférieur en décembre entre 10h et 18h, (figure III.29). Toutefois , on peut estimer que pendant la journée 70% des maisons ksouriennes en terre crue en une qualité thermique confortable en hiver .

Bien que les températures mesurées dans la ruelle et la Skifa soient en dehors des limites du confort thermique, on peut considérer que ces deux espaces jouent un rôle de tampon entre l'extérieur et l'intérieur .

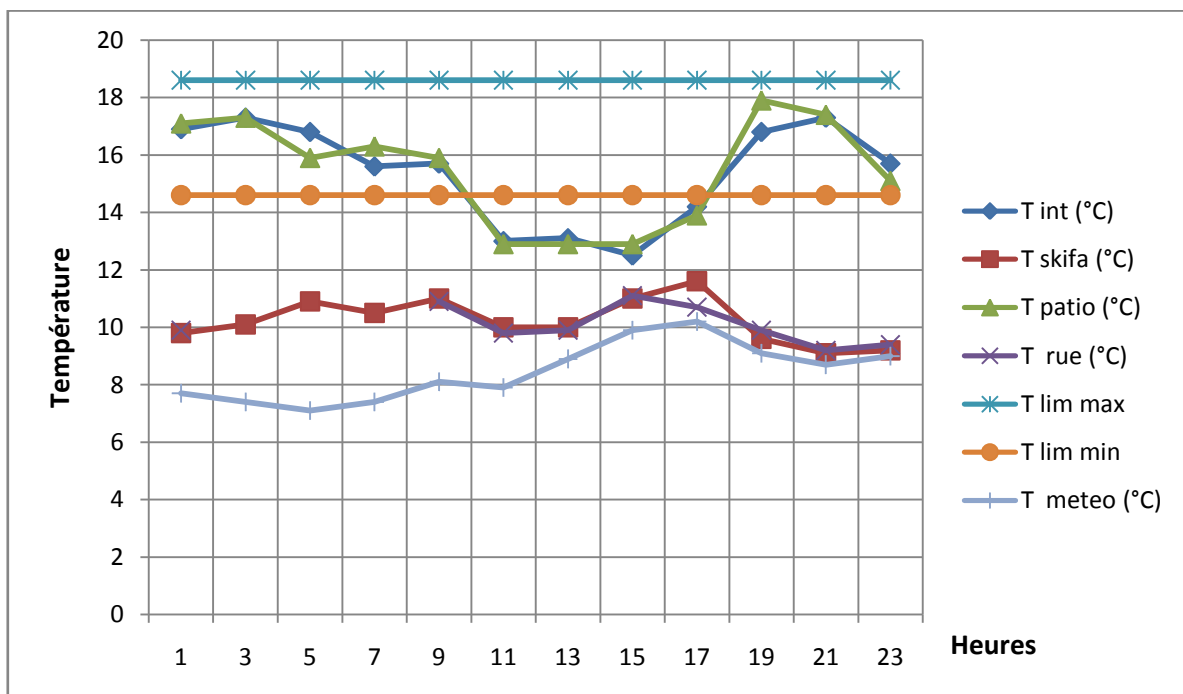


Figure III.29: Comparaison des températures moyennes intérieures de la maison ksourienne avec les limites de confort (Source: auteur) (2014)

IV-1-4 Synthèse des résultats de la campagne de mesures

Dans l'objectif d'évaluer la qualité des ambiances dans les maisons ksouriennes observées dans la ville de Laghouat et d'identifier les stratégies bioclimatiques recommandées pour améliorer cette qualité, nous représentons sur la charte psychrométrique de Givoni la moyenne des températures et des humidités relatives mesurées dans notre cas d'étude en fonction de l'usage des espaces, Figure III.30.

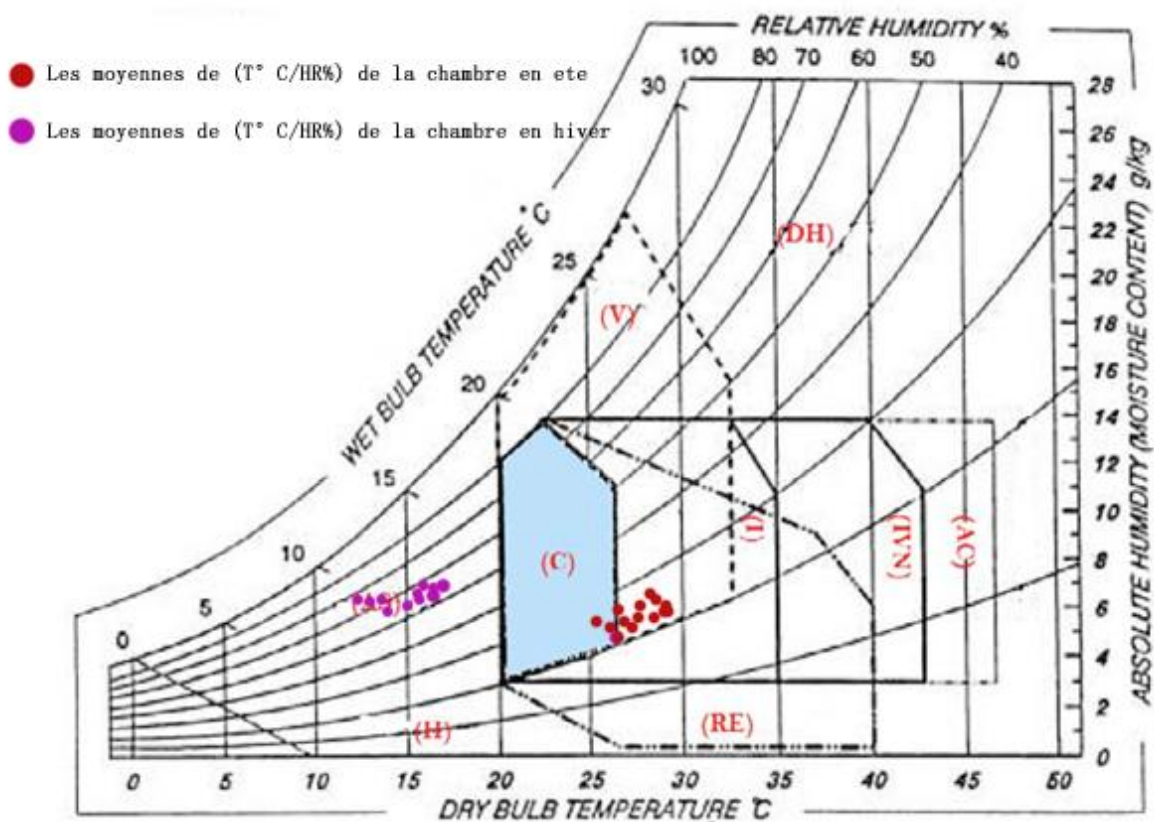


Figure III.30: Diagramme psychrométrique de Givoni et la représentation des moyennes de (T°C/HR%) en été 21 Juin et en Hiver 21 décembre instantanée mesurées dans la maison ksourienne. (Source: auteur)

Toutes ces données nous permettent d'avoir une appréciation **quantitative** sur les différents paramètres qui influent sur le comportement des usagers des maisons ksouriennes.

En effet ces résultats numériques reflètent en temps réel la performance des matériaux locaux dans un contexte compacte (ksar). Cependant une approche purement quantitative ne

serait à elle seule suffisante, pour les besoins de notre recherche, c'est pourquoi d'autres outils comme le questionnaire et l'observation sont nécessaires pour compléter les résultats actuellement en notre possession. Ces outils nous permettent d'avoir une appréciation sur l'aspect **qualitatif** de la question.

V- Questionnaire

Dans le but de parvenir à l'objectif poursuivi, l'étude de l'interaction entre les habitants du ksar et leurs espaces intérieurs , une pré-enquête a été menée auprès d'un échantillon ciblé de ces habitants .

Les questionnaires constituent un élément important de l'étude in situ. Ils sont distribués aux habitants du ksar au moment des relevés des mesures ,et leur permettent d'évaluer l'état thermique personnel ainsi que la qualité de l'environnement intérieur de leur maison , sur des échelles prédéfinies. Afin de faciliter la conception d'un questionnaire , il est suggéré d'effectuer les étapes suivantes : étudier les sources d'information existantes, écrire la liste des objectifs de l'enquête et enfin établir le plan d'analyse (**Bilocq F , 1999**)

Après avoir cerné les points importants pour l'enquête, nous avons mis au point un questionnaire de quatre pages. Ce questionnaire est rempli une seule fois par les habitants du Ksar indépendamment des mesures physiques, un exemplaire est présenté en annexeIII

Les réponses recueillies par cette enquête servent à qualifier l'environnement thermique des espaces intérieurs de la maison ksourienne du point de vue des occupants.

V-1 Synthèse et interprétation des résultats du questionnaire

De façon inattendue, les réponses au questionnaire des habitants de la maison en terre crue comme matériau de construction , n'ont pas nécessairement donné des résultats aussi probants que ceux auxquels on s'attendait, ceci est dû essentiellement aux mauvaises techniques de réhabilitation de la construction et à l'utilisation des matériaux moins isolants dans l'exécution de cette opération .

Le questionnaire nous a permis notamment de recueillir plusieurs informations, ces informations concernent :

- les appréciations subjectives des usagers par rapport à la qualité et la quantité de l'ambiance thermique .
- l'utilisation systématique des énergies actives avec prépondérance des équipements de chauffage sur les équipements de climatisation

V-1-1 Les caractéristiques des habitats

V-1-1 .1 La durée de résidence dans l'habitat

Quant à la durée de résidence dans l'habitat, nous observons sur la figure III.31 ci-après que la majorité des familles de notre échantillon, soit 44,4%, vivent dans leurs habitations depuis moins de 5 ans. Ce sont de nouveaux occupants, généralement des locataires avec des expériences environnementales encore restreintes à l'égard de leur habitat.

La catégorie suivante (33,3% des sujets) soit la deuxième importante ,représente les anciens résidents qui utilisent leur habitat depuis plus de 15 ans ;théoriquement, cette longue période peut influencer considérablement le niveau d'acclimatation des sujets à leur habitat ainsi que leur expérience environnementale.

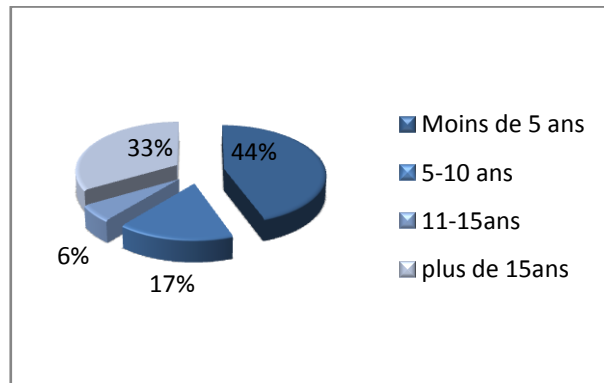


Figure III.31.: Durée de résidence dans l'habitat.
(Source: auteur)

V-1-1.2 Modifications d'habitat

Dans la figure III.32 ci-contre , nous observons que la majorité des répondants au questionnaire, ont modifiés leurs habitats, soit 88.8% de l'échantillon , à cause du vieillissement des matériaux de construction et la dégradation de leur habitat .

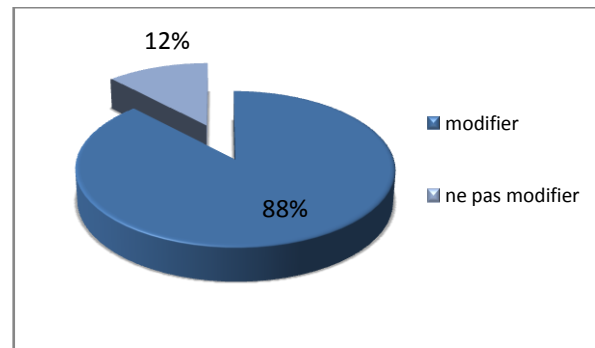


Figure III.32.: Pourcentage de modifecatin de l'habitat
(Source: auteur)

V-1-2 Les caractéristiques des ambiances intérieures

V-1-2.1 Satisfaction de la situation thermique à l'intérieur de l'habitat

L'investigation sur la satisfaction thermique des habitants dans notre cas d'études de cas , nous a montré que la situation thermique dominante par apport aux habitants du ksar ciblés soit environ 72%, est confortable . Par contre, les habitants qui sentent l'inconfort ne représentent que 17% des questionnaires distribués dans le ksar , du à la dégradation de la construction avec des risques d'effondrement de leur habitat et l'instabilité de la construction (phénomène infiltration d'eau de pluie , d'humidité ...) , figure III.33

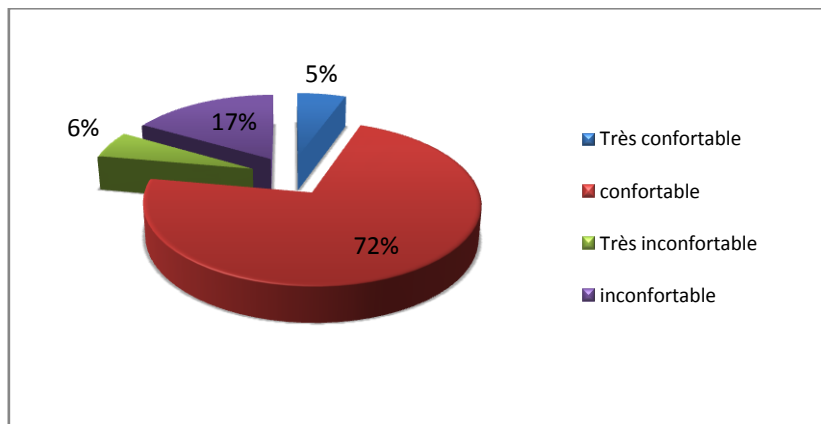


Figure III.33: Satisfaction de la situation thermique des habitants de ksar (Source: auteur)

V-1-2.2 Les facteurs les plus défavorables du confort thermique (température, humidité, courants d'air, autres)

Au début de cette partie concernant l'ambiance intérieure, dans le questionnaire, nous avons cherché la signification et l'importance des matériaux locaux sur le comportement des usagers d'après le graphe ci-après, nous constatons que le facteur le plus défavorable est la température en été et les courants d'air en hiver.

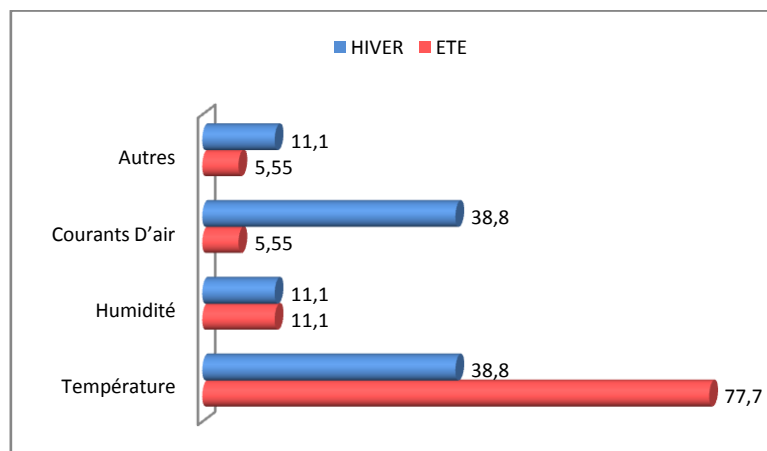


Figure III.34: Les facteurs les plus défavorables du confort thermique (Source: auteur)

V-1-2.3 Usage de l'espace

Le graphe III.35 ci-après représente les utilisations les plus fréquentes des espaces intérieurs de la maison ksourienne. En été, respectivement 38.8% des habitants du Ksar utilisent leur espace chambre pour séjourner en famille, par contre 50% des habitants sont plus attachés au espace terrasse la nuit, afin de profiter de la fraîcheur nocturne.

Concernant la période hivernale nous observons que l'espace chambre est principalement utilisé comme lieu d'habitation, soit 60 % de l'échantillon .

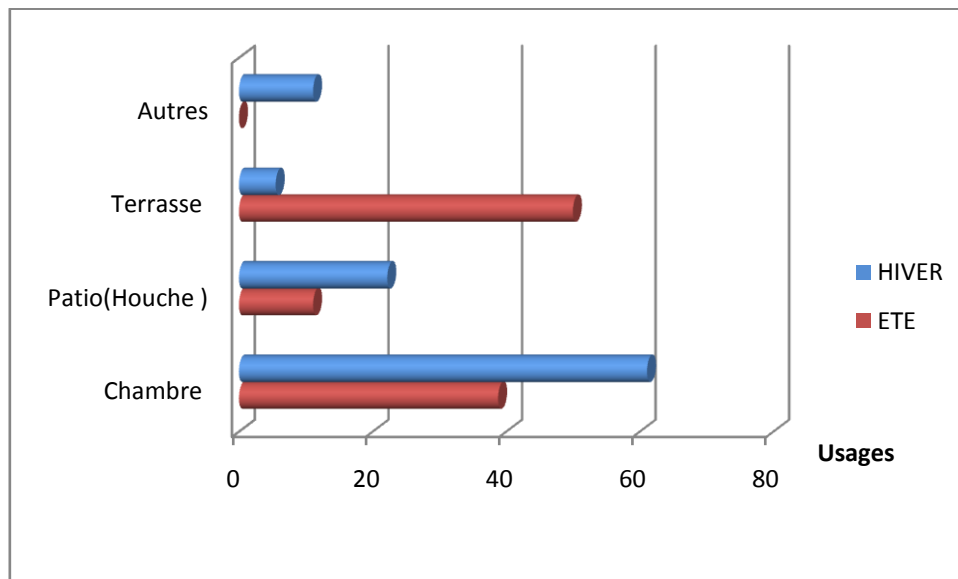


Figure III.35: Les facteurs les plus défavorables du confort thermique (Source: auteur)

V-1-2.4 Conditions environnementales et énergétiques

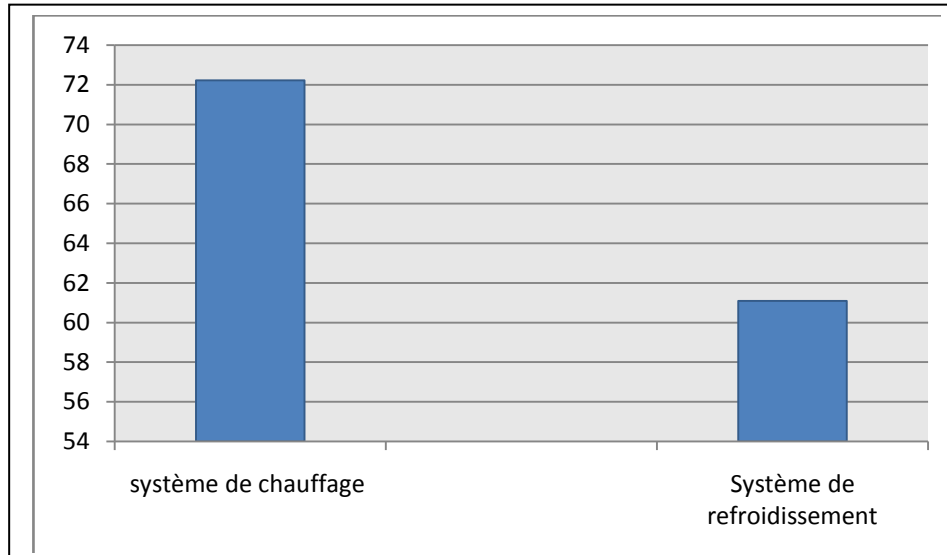


Figure III.36: utilisation du système de chauffage pendant l'hiver et système de refroidissement pendant l'été dans les maison ksouriennes (Source: auteur)

A. Système de chauffage

Environ 72% des habitants au ksar utilise un système de chauffage dans leur maison pendant l'hiver, du fait des conditions climatiques froides et rigoureuses qui caractérisent les

mois d'hiver dans cette ville , c'est le fait le plus remarquable sur le plan des consommations énergétiques (gaz de ville) dans le ksar.

B. Système de refroidissement

Par ailleurs , en été, vu les conditions climatiques caniculaires , le recours aux systèmes de refroidissement est aussi important par rapport à la consommation énergétique globale durant cette période , ceci concerne environ 61.1% des habitants interrogés.

Conclusion

Ce chapitre a été consacré à l'étude des comportements des ambiances internes d'une maison ksourienne en terre crue , à travers une investigation réalisée sur terrain. Il développe principalement deux grandes parties:

- Une partie représentative et descriptive du cas d'étude, débutée par une présentation de l'environnement de notre cas étude, à savoir le climat de la ville de Laghouat ainsi que l'état de la maison ksourienne en question , et le processus de déroulement de la campagne de mesure.
- La deuxième partie est consacrée à l'analyse des résultats de l'investigation effectuée durant les deux périodes estivale et hivernale ,et un questionnaire renseigné in situ .

Les résultats de l'enquête ont montré l'existence d'un confort thermique acceptable pour les occupants des maisons en terre qui sont en bon état et n'ont pas subies l' invasion des nouveaux matériaux. Les systèmes de chauffage et de climatisation quand ils existent, ne sont pas utilisés tout le temps à cause de la satisfaction des usagées de l'ambiance thermique ; L'inertie peut être donc considérée en tant que procédé passif dans l'amélioration des conditions intérieures dans un climat chaud et sec en été , froid rigoureux en hiver , comme celui de Laghouat . Par conséquent elle contribue dans la réduction de la consommation énergétique. Elle permet l'utilisation rationnelle du chauffage en hiver et un besoin très relative et circonstanciel de la climatisation en été. Ce qui ne pas le cas pour les occupants des maisons qui ont subis des modifications non conformes aux spécificités de la construction ksourienne .

CHAPITRE IV -

Simulation numérique du cas choisi par ENERGYPLUS

I. Introduction

L'enveloppe du bâtiment est l'élément le plus crucial à prendre en considération, lors d'une conception architecturale liée à des préoccupations environnementales et de recherche de confort thermique.

La simulation numérique est devenue un outil fiable et très important dans l'analyse thermique, et un des outils analytiques pratiques dans la conception et la planification des différents projets , A. Chatelet et AL affirment que « pour l'architecte, la simulation doit permettre de valider rapidement des options fondamentales, d'explorer et de commencer à optimiser certains choix...pour un meilleur confort et des charges de fonctionnement moindre ». (CHATELET. A, FERNANDEZ. P et LAVIGNE. P , 1998) Le logiciel qui sera utilisé est assez complet et très performant. Bien sûr le but de cette recherche n'étant pas la conception, mais la vérification d'un dispositif déjà existant.

Le programme de la simulation thermique est utilisé dans cette recherche en tant qu'élément complémentaire de la partie investigation , pour prévoir le comportement thermique des maisons ksourienne en terre crue ; le but de ce travail est , premièrement, de compléter la partie investigation (l'état initial) ainsi pour aboutir à une confrontation des résultats mesurés avec ceux obtenus par simulation ; deuxièmement, il concerne l'amélioration des composantes de l'enveloppe de la maison ksourienne

II. Présentation du logiciel

II. 1. Description du logiciel :

EnergyPlus™ est un programme de simulation thermique et énergétique des bâtiments développé par le DOE (Department of Energy, États-Unis) permettant de réaliser des études de demande et de consommation énergétique (<http://exportation-a-energyplus.cype.fr>)

Le choix de ce programme découle de ses potentialités pour la simulation dynamique, qui prend en considération les différents types de transferts thermiques à travers l'enveloppe du bâtiment, les gains de chaleur par rayonnement solaire, les températures, les humidités, et la ventilation naturelle, qui sont des paramètres prédictifs de confort.

EnergyPlus™ peut aussi être utilisé pour générer automatiquement des rapports afin de permettre aux utilisateurs de vérifier le respect des températures de confort du bâtiment.

II. 1. 1. Avantages du logiciel EnergyPlus :

- Facilités des saisies
- Ergonomie
- Différentes simulations possibles (énergétique, éclairage, optimisation thermique, étude d'ombrage ,ect ...)

- Importation et exportation 3D possibles

II. 1. 2. Inconvénients du logiciel EnergyPlus :

Le temps nécessaire pour le calcul des demandes par le moteur EnergyPlus peut être long, car les exigences thermiques sont étudiées pour toutes les heures de l'année et pour chaque espace du bâtiment .

II. 2. Objectifs de la simulation :

Le but de cette recherche n'étant pas la conception, mais la vérification d'un dispositif déjà existant. Aussi , Cette étude consiste à déterminer les performance thermique des maisons ksourienne en terre crue dans les deux périodes : estivale et hivernale , sous un climat semi aride (Laghouat). Démontrer la stratification thermique sur le confort interne , et l'effet de l'inertie thermique de la terre crue . Ceci permettra, après comparaison des résultats, de savoir s'il est possible d'apporter des solutions aux problèmes rencontrés ou du moins améliorer l'état actuel des choses .

II. 3. Déroulement de la simulation :

A partir des données architecturales et des propriétés thermo physiques du matériau, une analyse du comportement thermique des échantillons est effectuée à l'aide du logiciel «EnergyPlus version 8.0.0»

La structure globale du travail de simulation est basée sur les étapes suivantes :

1. La première étape : concerne l'introduction des données climatiques de la région de Laghouat ($33^{\circ}46'$) ; les valeurs horaires des températures et des humidités relatives pour les périodes d'été et d'hiver . Ensuite la description détaillée de la maison et son environnement immédiat ainsi que les scénarios d'appropriation de l'espace .
2. La deuxième étape porte sur le traitement des données après programmation.
3. La troisième et dernière étape ,c'est la lecture des résultats de la simulation par le biais du logiciel Excel.

III. La simulation numérique

III-1 Cas d'étude initial de la maison ksourienne

La partie simulation étant un élément complémentaire da la partie investigation , donc le modèle simulé est le même cas étudié dans le chapitre précédant.

La maison ksourienne de l'ancien tissu de la ville de Laghouat , dont le modèle 3D est illustré sur la (Figure IV.1)

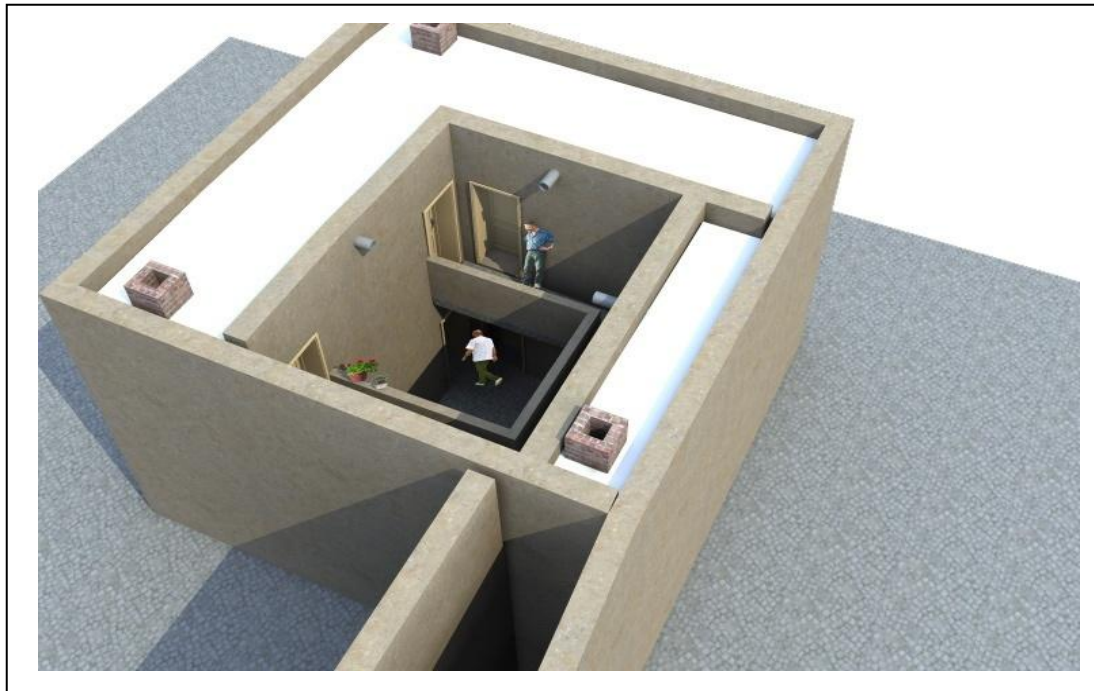


Figure IV.1: le model cas d'étude réalisé par ARCHICAD (source : auteur).

Le modèle est réparti en 2 groupes de zones, dans chaque groupe sont représenté les différents espaces à simuler :

1. Zone Patio: (Houche)
2. Zone Bâtie : (espaces chambres)

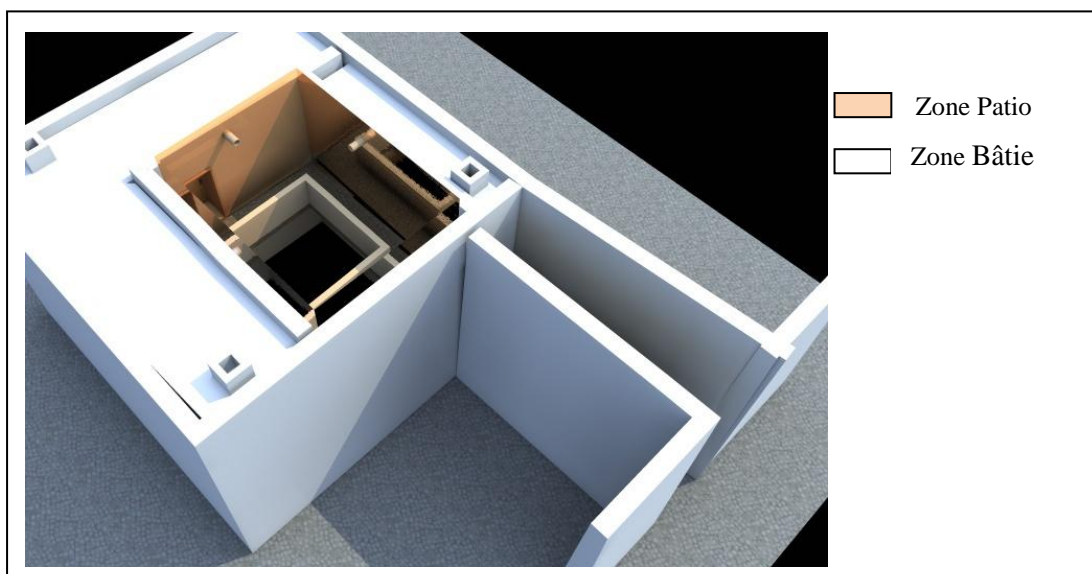


Figure IV.2: les différentes zones de model 3D (source : auteur).

III.1.1. Application des données dans le programme " EnergyPlus"

III.1.1.1. Les paramètres de simulation :

Les paramètres de simulation contiennent des informations principales concernant le positionnement du projet par rapport à son environnement immédiat , et de déterminer la marge du temps de calcul pour chaque heure . Ces données sont utiles pour décrire les aspects opérationnels du bâtiment. (Figure IV.3)

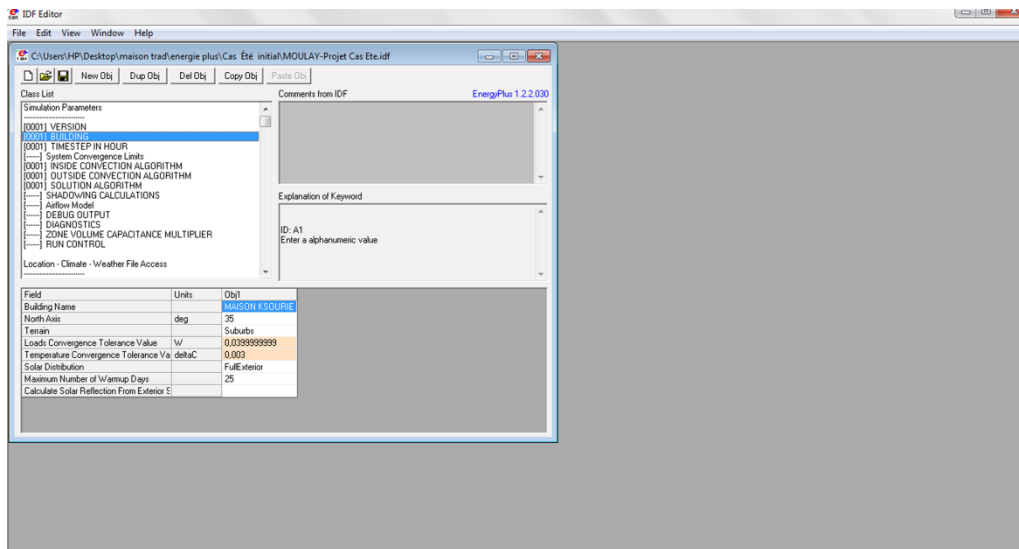


Figure IV.3: Interface de saisie du logiciel EnergyPlus (source : auteur).

III.1.1. 2. Localisation et données climatologiques :

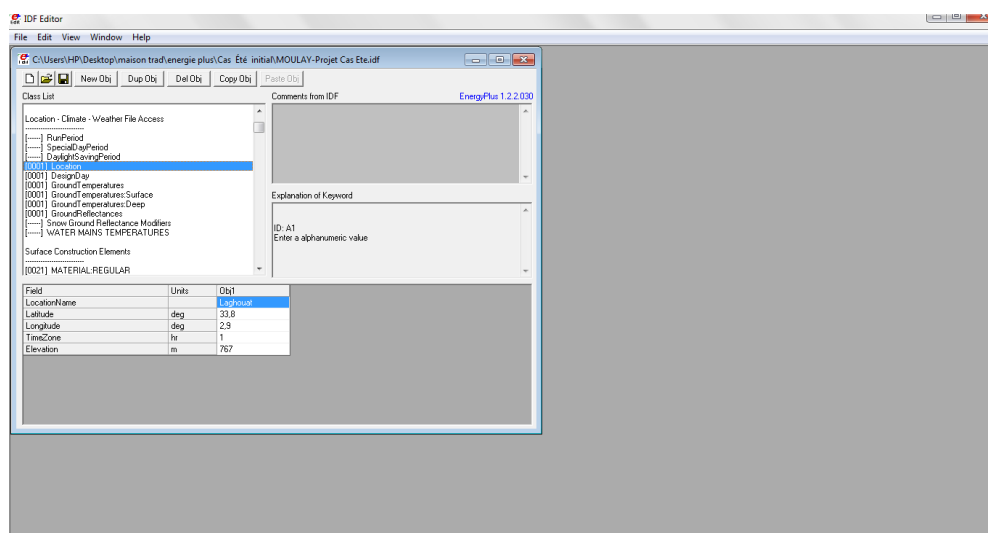


Figure IV.4: Interface de saisie du logiciel EnergyPlus (source : auteur).

Pour une simulation précise de l'ambiance interne, on a d'abord commencé par l'insertion des coordonnées géographiques ainsi que les données météorologiques de la ville de Laghouat relatives à la température et l'humidité de l'air extérieur, la vitesse et la direction

des vents, pour chaque mois (Figure IV.4). Les données climatiques utilisées proviennent des services de la météorologie de Laghouat .

III.1.1. 3. Éléments de constructions :

Pendant le développement du modèle 3D graphique, des éléments de construction ont été assignés aux murs, aux planchers et aux plafonds. (Figure IV.5)

Dans l'application « surface construction elements » , il est préconisé l'introduction des données relatives aux éléments de construction . Les constructions définissent la composition et les propriétés thermo-physiques des matériaux utilisés, qui sont appliqués également aux fenêtres et à leurs armatures, définissant leurs propriétés thermo-physiques, et la transmission solaire. (Tableau IV. 1 / Tableau IV..2)

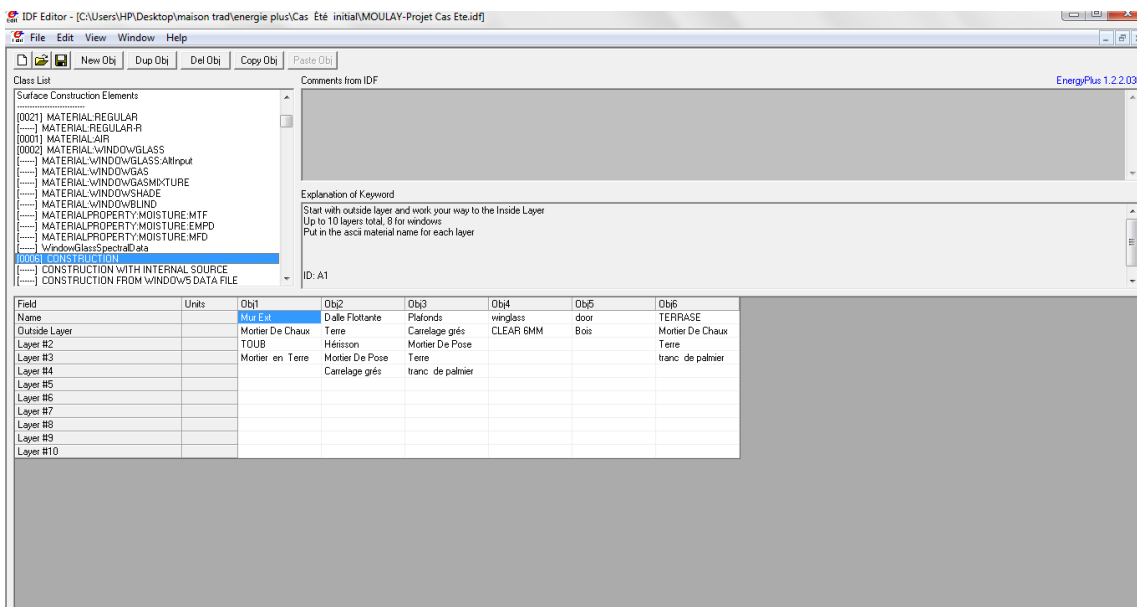


Figure IV.5: les différents éléments de bâtiment (source : auteur).

Tableau IV. 1 : les caractéristiques thermo-physiques des matériaux utilisés

[Source : D.T.R. C 3-2,1998 ; réadapté par l'auteur 2014]

Nom	Epaisseur (m)	Conductivité λ (W/m² °K)	Masse volumique ρ (kg/m3)	Capacité thermique c (J/Kg. °C)
Mortier en terre	0,04	0,32	1500	828
Tronc de palmier	0,1	0,13	600	2700
TOUB	0,5	1,1	1500	1512
Couche de terre	0,6	1,4	1300	828
Mortier de chaux	0,04	0,87	1800	1080
Mortier de pose	0,01	1,4	2200	300

Bois	0,035	0,13	600	2700
Carrelage grés	0,015	1,2	2000	260

	λ (W/m ² °C)	Vapour diffusion factor	transmission solaire	Solar Reflectance		Light transmittance	Light reflectance		Emissivity	
				Ext	Int		Ext	Int	Ext	Int
Vitrage	1	9999	0,9	0,031	0,031	0,9	0,05	0,05	0,84	0,84

Ces matériaux sont utilisés pour composer les constructions appliquées aux différents éléments du bâtiment .

Tableau IV. 2 : composition des éléments de construction utilisés

[Source : auteur 2014]

construction	composition	Epaisseur (mm)	Epaisseur totale (mm)
Mur extérieur	Mortier De Chaux (enduit extérieur)	40	580
	Bloc de Toub	500	
	Mortier en Terre (enduit intérieur)	40	
Mur intérieur	Mortier en Terre (enduit intérieur)	40	580
	Bloc de Toub	600	
	Mortier en Terre (enduit intérieur)	40	
Plateforme	Terre	600	775
	Hérisson	150	
	Mortier De Pose	10	
	Carrelage grés	15	
Plancher toit	Mortier De Chaux	40	240
	Terre	100	
	Tronc de palmier	100	
Plancher intermédiaire	Carrelage grés	15	735
	Mortier De Pose	10	
	Terre	600	
	Tronc de palmier	100	
porte	bois	35	35
Cadres en bois	bois	13	13
Vitrage fenêtre	Vitrage simple	3	3

III.1.1. 4. Discription des zones thermiques /géométrique :

Modéliser le plus précisément possible à l'aide d'EnergyPlus la conception de notre cas d'étude sous forme de coordonnées (x,y,z) et les zones qu'il englobe ;

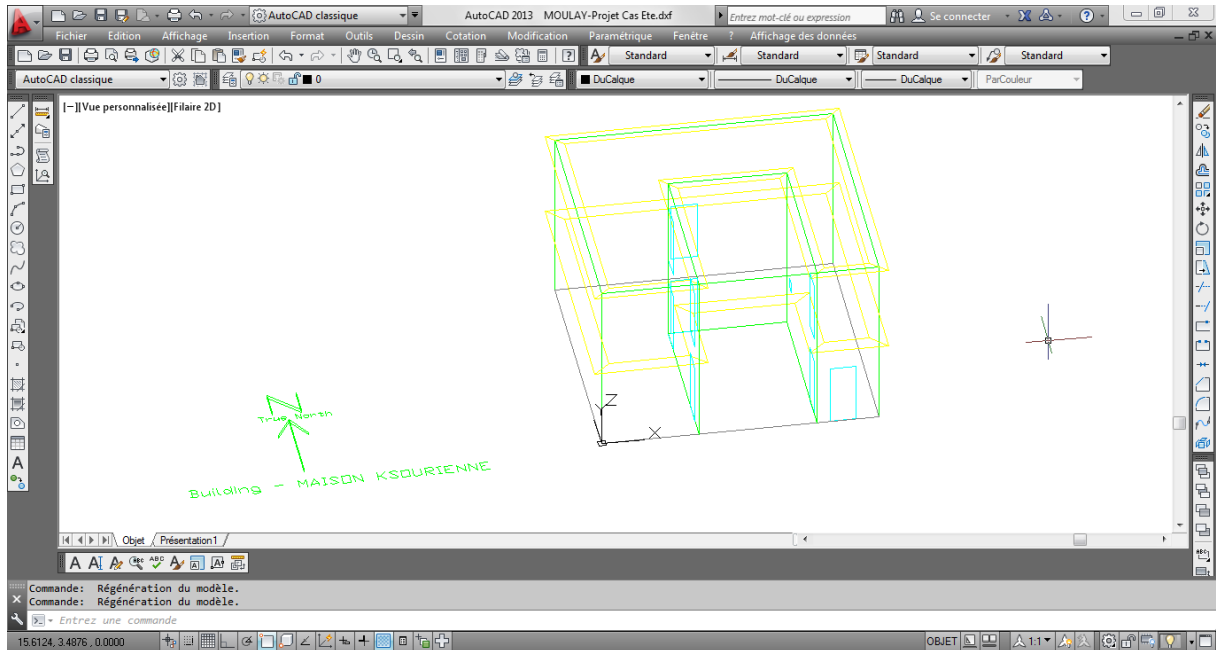


Figure IV.6: le model cas d'étude réalisé par NERGY PLUS (source : auteur).

III.1.1.5. Les conditions internes :

Des conditions internes sont prises en compte pour décrire les gains d'énergie qui viennent d'une zone. Celles-ci incluent des gains d'infiltration, de ventilation et d'éclairage.

- Enfin il y a lieu de valider les résultats de la simulation avec les données enregistrées.

III.1.2. Analyse et interprétation des résultats:

Il s'agit de déterminer le rôle de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique issu des simulations par des critères utiles , traduisant les conditions d'ambiances intérieures. Il est nécessaire de noter que ces données correspondent à la situation où la maison ksourienne en terre crue est soumise à des sollicitations extérieures réelles , avec un système de renouvellement d'air naturel .

Aussi, dans le but de rechercher les caractéristiques de la paroi performante, une évaluation a été développée en changeant les caractéristiques du matériau initial (Toub),et en introduisant une terre améliorée .

III.1.2.1. Période estivale: Comparaison entre les températures intérieures mesurées et celles simulées par EnergyPlus :

Afin de confronter les résultats des simulations aux résultats expérimentaux, les comparaisons portent sur les variations thermiques pendant les heures d'occupation aux niveaux de l'espace vécu (la chambre) .

Le comportement thermique de la chambre étudiée a été simulé pendant la journée du 21 Juin 2014.

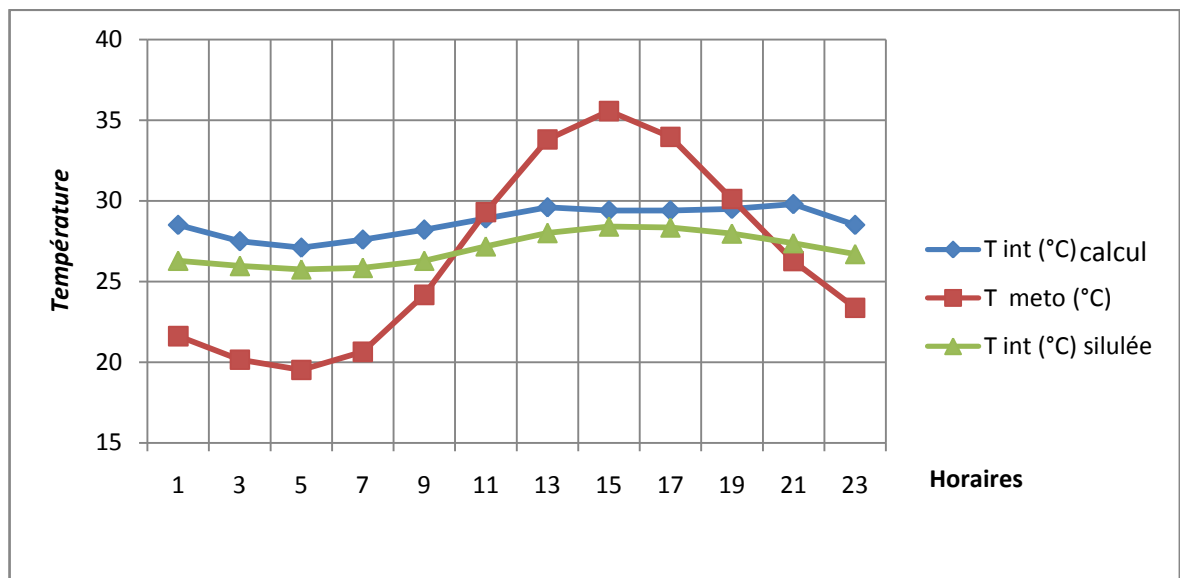


Figure IV.7: Comparaison des températures intérieures mesurées et simulées pour la maison ksourienne [Période estivale, journée du 21-06-2014]. (source : auteur).

La figure VI-7 montre une concordance entre la courbe des températures intérieures mesurées et celles simulées. Les résultats de la comparaison présentent une évolution similaire entre la courbe des températures d'air mesurées, et celle calculée par le programme « Energyplus », avec un écart maximal de 2,42°C enregistré à 21h00, alors qu'il est faible aux autres points. Cet écart peut être qualifié d'admissible. Ceci revient au comportement des usagers . La vitesse du vent dans la simulation est considérée constante pendant toute la journée, mais en réalité celle-ci est variable et parfois très variable entre le jour et la nuit, L'écart observé entre les deux courbes revient également à la température de l'air extérieure utilisée dans le calcul, qui est celle de la station météorologique locale , le microclimat du site, a certainement ses particularités (climat aride de type saharien) .

III.1.2.2. Période hivernale: Comparaison entre les températures intérieures mesurées et celles simulées par EnergyPlus :

Les courbes de la figure IV.8 révèlent presque une convenance entre la température simulée et la température moyenne intérieure issue des séries de mesures dans la chambre objet de l'investigation . L'écart maximal entre les deux températures est de 3.15°C, enregistré à minuit. Ceci affirme l'efficacité et l'utilité des mesures in situ .

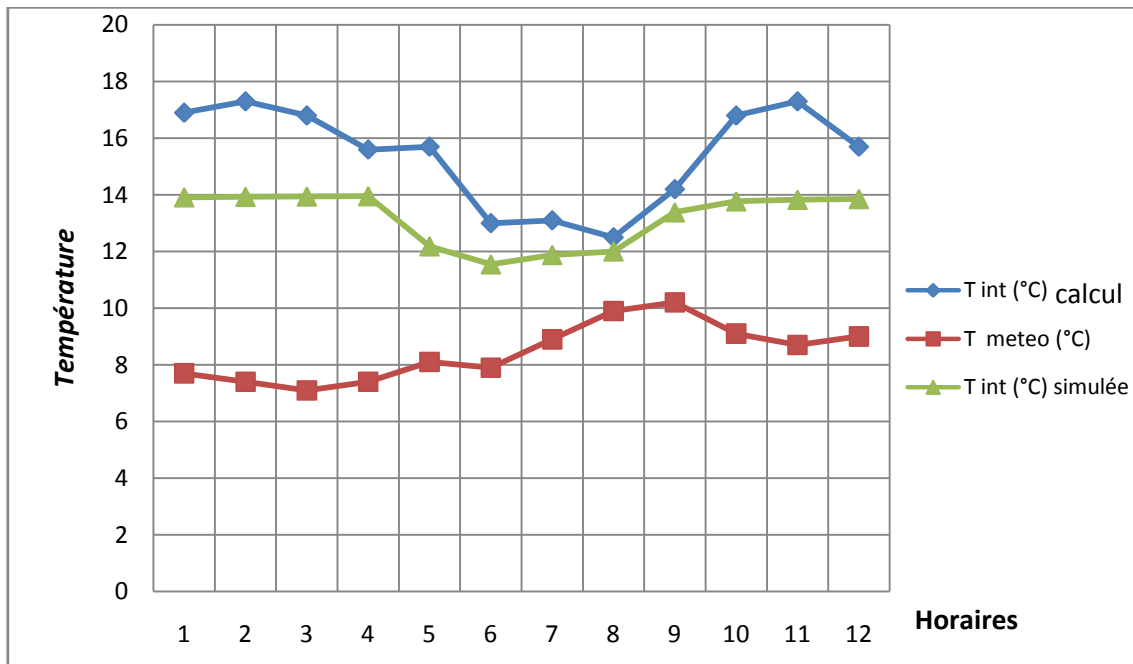


Figure IV.8: Comparaison des températures intérieures mesurées et simulées pour la maison ksourienne [Période hivernale , journée du 21-12-2013]. (source : auteur).

La température ambiante intérieure est surtout liée à la bonne qualité thermique du matériau utilisé . Donc on peut réaffirmer le rôle de l'inertie thermique dans le maintien de l'équilibre hygrothermique intérieur, rejoignant par ça plusieurs résultats de simulation

III-2 Cas d'étude amélioré de la maison ksourienne

Les dommages subis par les maisons en terre crue ont pour principales origines des processus de vieillissement et de dégradation dus à l'humidité. Cet état de fait amène aux questions essentielles du renouveau et du réemploi du matériau en terre crue et de la lutte contre sa dévalorisation de son rôle pour, le respect de l'environnement, l'écologie et le maintien de la diversité culturelle. Il est aussi nécessaire de concevoir une stratégie d'action

plus ambitieuse et plus innovante, qui associe les formes particulières d'expression culturelles et sociales dans la perspective d'un développement local durable .

Cette étude permet d'utiliser le matériau en terre crue améliorée , afin d'augmenter les performances mécaniques . le choix s'est porté sur les matériaux locaux susceptibles de répondre à la demande de stabilisation. Le matériau le plus approprié est le liant minéral : la chaux aérienne avec un taux moyen de stabilisation, à savoir 5% (AIT KADI S , 2012) .Les Performances thermo-physique du matériau choisi sont portés dans le tableau suivant .

Tableau IV. 3 : les caractéristiques thermo-physiques de la terre crue améliorée

[Source : AIT KADI Salima ; Performances thermiques du matériau terre pour un habitat durable]

Matériaux locaux	Densité (kg/m ³)	Conductivité λ (en W/m.°C)	Capacité thermique (Wh/m ² .°C)	Diffusivité ($\times 10^{-7}$ m ² /s)	Effusivité (J/m ² .S.°C)	Chaleurs spécifiques (kJ/kg. °C)
Terre crue amélioré	2500	0,9	0,555	2,5	1025	1426

III.2.1 Analyse et interprétation des résultats

III.2.1.1. La journée du 21/12/2013

Les simulations réalisées aboutissent à l'identification des composantes de la terre crue idéale qui démontre une performance positive des températures intérieures . Ainsi, le résultat induit une augmentation des gains de chaleur impliquant une diminution de la consommation énergétique reliée au chauffage tout en maintenant le confort des occupants.

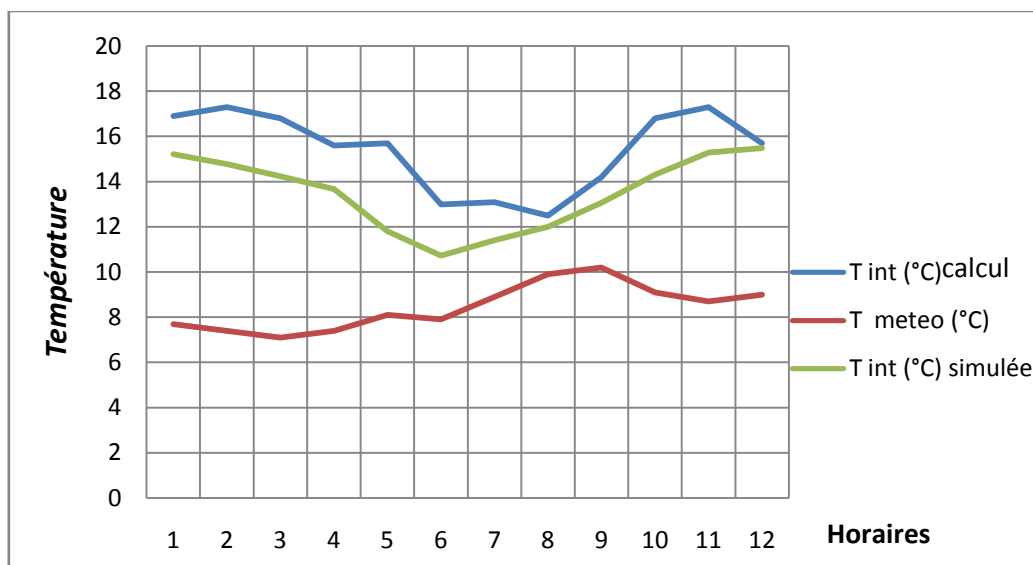


Figure IV.9: Comparaison des températures intérieures mesurées et simulée Cas amélioré pour la maison ksourienne [Période hivernale , journée du 21-12-2013]. (source : auteur) .

III.2.1.2. La journée du 21 juin 2013

la courbe des températures de la maison ksourienne montre l'effet positif de l'inertie de la paroi vu que sa valeur reste inférieure à celle de la température extérieure, en plus au début de la soirée elle se stabilise avant de diminuer à cause de la ventilation transversale nocturne

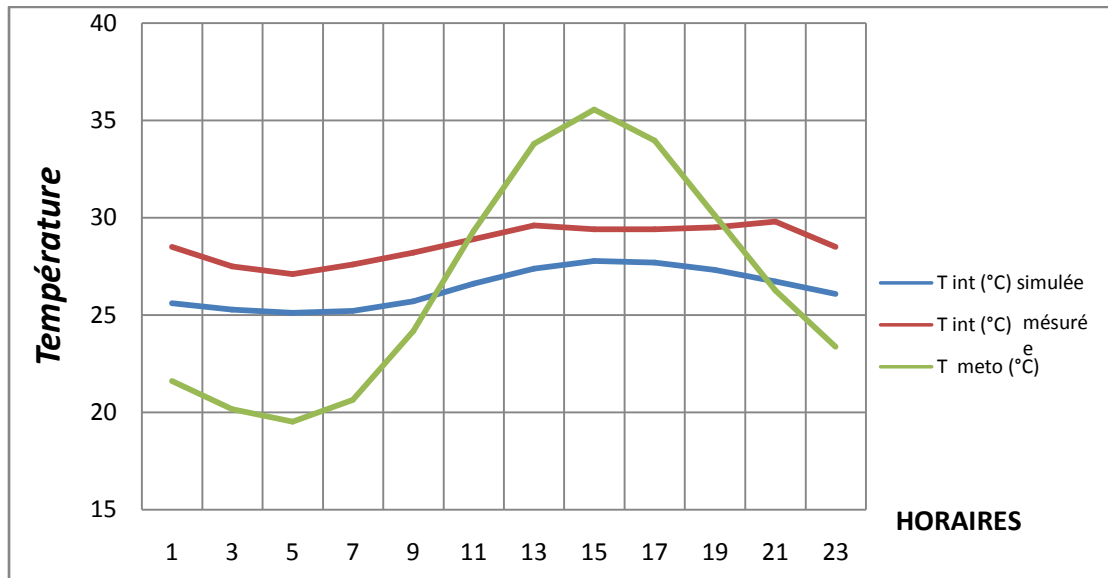


Figure IV.10: Comparaison des températures intérieures mesurées et simulées Cas amélioré pour la maison ksourienne [Période estivale , journée du 21-06-2013]. (source : auteur).

IV . Comparaison des résultats (campagne mesures et simulés)

La validation des résultats de simulation avec des données expérimentales démontre une corrélation dans tous les cas avec une erreur de $\pm 5\%$, donc on peut dire que ces résultats valident l'interprétation des mesures enregistrer sur le terrain , puisque l'écart ne dépasse pas les 3.25%. En plus , les résultats montrent une amélioration de la performance de la paroi dans le maintient de l'équilibre hygrothermique , alors ces résultats valident aussi le rôle de l'inertie thermique dans le confort intérieur ,d'une part, avec le maintient de la stabilité des températures internes et d'autre part , par l'équilibre hygrothermique de l'air ambiant dans la pièce testée(chambre vécu) .

Alors en été comme en hiver, la simulation valide les résultats de l'investigation sur le rôle de l'inertie thermique dans l'assurance du confort hygrothermique. Soutenant encore par ça l'avis de plusieurs chercheurs comme celui (d'Izard , 1993) sur le rôle de la forte inertie .

V. Conclusion :

Ce chapitre peut être considéré comme une étape complémentaire ajoutée au travail bibliographique et d'investigation pratique. Il ressort que l'effet du matériau Toub est perceptible dans la création du confort hygrothermique intérieur.

Afin de déterminer l'efficacité thermique du matériaux Toub durant les deux périodes estivale et hivernale, on procède, à une simulation à l'aide du programme informatique (**EnergyPlus**), afin d'évaluer la performance thermique des séjours étudiés, ainsi que la possibilité d'améliorer leur performance suivant les différents propriétés physiques possibles .

Les résultats de la simulation ont prouvé que l'implantation de cette enveloppe influe sur le degré de besoin énergétique pour satisfaire le confort minimal intérieur, été comme hiver.

Le matériau le plus favorable demeure le Toub en offrant des réponses très positives en terme d'inertie et de régulation thermique grâce à ses qualités intrinsèques .

Cette simulation permet de montrer que l'inertie thermique des matériaux locaux Toub influe sur le confort hygrothermique, l'été comme l'hiver, ainsi que sur la consommation énergétique d'une maison ksourienne . Et que la température intérieure est influencée par les composantes de la paroi de la maison .

CONCLUSION GENERALE

Le développement croissant des exigences de confort dans les bâtiments et les besoins qui en découlent , a conduit à des solutions consommatrices d'énergies ce qui est contradictoires avec la nouvelle notion relative à la nécessité d'un développement durable .

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

L'architecture de terre se propose comme l'une des solutions les plus prometteuses du fait qu'elle ne génère pas d'émission de CO₂ lors de sa production, de plus, le matériau est local , biodégradable et réutilisable (recyclable).

Hormis l'intérêt pour l'environnement, l'avantage économique constitue probablement l'aspect le plus important que représente la revalorisation de l'architecture de terre. Les faibles coûts de réalisation en terre peuvent agir comme un levier social pour améliorer considérablement les conditions de vie des habitants. La variété des procédés de production, fait que leurs revalorisation ouvre de nouvelles issues pour absorber le chômage, elle assimile aussi bien une main d'œuvre peu qualifié, que des cadres de haut niveau de formation. L'expérience de Mayotte montre les opportunités créées par ce marché pour l'emploi, aujourd'hui avec 19 briqueteries villageoises installées sur une île, quelque dix mille personnes vivent de cette filière terre [[http://www.craterre.archi.fr.](http://www.craterre.archi.fr)] (1/7 ème de la population totale), cette revalorisation de l'architecture en terre a donc pour effet indirect la stabilisation des populations rurales en équilibrant les migrations vers les villes et redynamiser l'économie sans grands investissements au préalable .

Ainsi les briques de terre crue peuvent être considérées comme le compromis idéal entre trois exigences : un cout raisonnable, un faible impact sur l'environnement et des caractéristiques thermiques avantageuses .

A travers cette étude, nous avons mené une réflexion sur le comportement hygrothermiques dans les maisons ksouriennes en dégagant le rôle éventuel des matériaux locaux et leur performance thermique sur l'ambiance et la qualité du confort intérieur des maisons ksourienne ; le travail a été réalisé en deux parties :

Dans la première partie de ce mémoire , une approche théorique a permis de dégager la spécificité de ce type d'architecture , à savoir les constructions en terre , qui contrairement aux autres constructions , possède des exigences spécifiques .

La deuxième partie a été consacré à une étude d'investigation qui visait deux objectifs majeurs :

Dans un premier temps, pour atteindre cet objectif, une méthode expérimentale proposée a été développée pour étudier la performance thermique des maisons ksouriennes en terre crue et vérifier l'impact réel du climat de la ville. Cette étude a porté sur la période la plus défavorable de l'année .

Dans un second temps, une simulation numérique grâce au logiciel **ENERGYPLUS** a démontré qu'avec la paroi en terre crue "Toub" , il est possible d'arriver à des résultats meilleurs grâce ses propriétés thermiques .

La terre régule naturellement le climat dans la maison : ses propriétés de régulation de l'humidité et d'accumulation de la chaleur qui sont emmagasinées puis restituées selon les besoins . Ainsi ,les murs de terre stockent la chaleur et la rendent à nouveau de sorte que les fluctuations de température sont minimisées. Par ailleurs , Ils absorbent l'humidité par temps humide et la rendent quand l'air est sec.

La dernière étape de notre travail consiste l'application de toutes les orientations réunies dans les chapitres précédents , dans une tentative de développement d'un projet durable en zone aride. à travers cette recherche, pour allier une architecture bioclimatique à un matériau possédant des propriétés thermo-physiques comme la terre crue "Toub" , ainsi qu'une architecture soucieuse des coutumes locales qui permet d'assurer un certain confort thermique aux occupants.

L'investigation sur le comportement thermique de la maison ksourienne révèle que la nature du matériaux local "Toub" . assure le confort intérieur hygrothermique hivernal comme estival. Les capacités de l'inertie assurent les facultés d'isolation de l'extérieur d'une part contre le froid d'hiver, et d'autre part contre la chaleur d'été. Autrement dit ,la maison ksourien en terre crue est une réponse à deux besoins distincts, en évitant les surchauffes et en limitant les déperditions de la chaleur. Elle procure aussi l'équilibre hygrométrique, où la terre crue avec ses propriétés de l'absorption et la désorption de la vapeur d'eau contenue dans l'ambiance, permet de réguler les conditions intérieures .

Donc , il est possible de dire que dans son état présent, les paroi en terre crue composant l'enveloppe de maisons ksouriens est le meilleur moyen pour offrir un confort hygrothermique naturel de qualité , à même de garantir une ambiance thermique pour les usagées ainsi qu'un environnement favorable. De ce fait, notre hypothèse principale se voit donc confirmées, à savoir que :

La construction des maisons ksourienne en terre crue du ksar ZGAG HADJAJ répond à des exigences d'ordre architectural qui permettent de réaliser des conditions de confort hygrothermique qualitative et quantitativ acceptables l'essentiel de l'année .

Finalement, les résultats présentés répondent à l'objectif principal de cette recherche et sont appuyés par une investigation in situ renforcée par une modélisation numérique mentionnée précédemment.

Axes pour futures recherches :

Les champs d'investigation concernant les effets de la terre crue "Toub" sur l'ambiance intérieure sont aussi vastes que variés. De nombreux domaines d'application liés à l'urbanisme et aux bâtiments restent à développer. D'ailleurs il est nécessaire de multiplier les tentatives pour sauvegarder des savoir-faire qui se perdent, revaloriser le premier matériau de construction de l'histoire, moderniser son image et faire reconnaître ses nombreux atouts pour les bâtiments de demain.

Cette recherche a eu pour trait l'étude le comportement thermique des maisons ksouriennes en terre crue , les résultats et observations obtenus ont permis d'aboutir à de nombreuses conclusions et de recommandations, mais cela dit, cette modeste contribution ne saurai à elle seule apporter toutes les réponses inhérentes au problèmes posés, il serait donc intéressant que ce travail soit complété par d'autres recherches en traitant le sujet sous un autre angle, par exemple , en s'intéressant à d'autres paramètres tels que :

- L'amélioration des performances mécaniques de la terre crue pour augmenter sa durée de vie tout en garder ses propriétés hygrothermiques.
- L'effet et impact d'implantation des maisons ksourienne en terme de conception urbanistique

Afin de valoriser la recherche scientifique et ses applications ,les pouvoirs publics avec la collaboration des compétences concernées et intéressées ,doit introduire progressivement la question d'intégration et d'exploitation des énergies passives dans les nouvelles constructions , notamment en élaborant un cahier des charges type spécifique à chaque région qui doit prendre en compte aussi les techniques de construction qui permettent des économies d'énergie pour le chauffage et la climatisation .

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Livres :

ALEXANDROFF .G et J .M, " Architecture et climat soleil et énergies naturelles dans l'habitat"; édition architectures Berger- Levrault, Paris1982, P. 216.

BILOCQ . F, " Conception et évaluation de questionnaire", in " Enquêtes et sondages, modèles, applications, nouvelles approches ", Brossier et Dussaix éditeurs scientifiques, Dunod, France.1999

CHATELET .A, FERNANDEZ .Pet LAVIGNE . P "l'architecture climatique : une contribution au développement durable" EDISUD tome 2 :concepts et dispositifs ; EDITION EDISUD Aix en Provence France, 1998 p.15, p19 ,p133

CNERIB, "Conception de logements économiques à base de produits localement disponible", CNERIB, Alger, 2000, P 01

COIGNET. J, " Réhabilitation : arts de bâtir traditionnel connaissances et techniques ", Aix-en-Provence, Ed. EDISUD, 1987, P. 21.

CRATerre, "Traité de construction en terre" , Ed. PARENTHESSES, 1995, P. 16-17.

CRATerre, Marrakech 87," habitat en terre", Grenoble, 1987, P. 26 et 34

DELBECQUE .C, "Approche contemporaine de la construction en terre, Histoire de la construction en terre "21 octobre 2011

DETHIER .J, " Des architectures de terre ou l'avenir d'une tradition millénaire", Ed. CGP, paris, 1982

ESTIENNE. Pet GODARD. A, "Climatologie" , Paris: Edition Armand Colin, 1970, p11

GIVONI. B. " L'Homme, L'Architecture et le Climat ". Edition, Le Moniteur, paris ,1978 ,p39 , p.229 , p 330.

HOUBEN .H et GUILLAUT .H , " traité de construction en terre, Ed. Parenthèse " , Marseille, 1989. V1, P. 52

IZARD,J-L. KAÇALA,O. " Le diagramme bioclimatique " Envirobat-Méditerranée , laboratoire abc, Esna- Marseille, 2008 téléchargé le 21 Mai 2012 à partir du site <http://www.marseille.archi.fr/~izard/>.2008

IZARD.j.L. " Archi Bio ". éditions : parenthèses Paris. 1979 p.8

LAVIGNE . P : " Architecture climatique une contribution au développement durable Tome2 : concepts et dispositifs " EDISUD Aix en Provence France 1998 p 10.

LIEBARD Alain , DE HERDE Andre – "Guide de l'architecture bioclimatique-tomme 3 : construire en climat chaud"- édition LEARNET « Observ'ER », Paris 2003 p.1

MINISTERE DE L'HABITAT : "Recommandations Architecturales " ENAG éditions, Alger 1993, p 9.

ODUL .P, " *Des architectures de terre en Algérie, projet earth construction technologies appropriate to developing countries,* Belgique, 1983.

PHILIPPE .P." *élément d'analyse urbaine.*" Editions Parenthèses , 1980

PIGNAL .Bruno, "*Terre crue : Techniques de construction et de restauration*" , Ed. EYROLLES, 2005, P. 9.

Raverau A. "*La Casbah d'Alger et le site créa la ville*" éd. Suidabad, Paris. (1989) 282p.

Articles et publications :

ABDOU.S et BOUMAZA.M " *Investigation sur l'intégration climatique dans la maison traditionnelle du ksar de Ouargla*", Revue science & technologie, revue semestrielle de l'université Mentouri Constantine. N°21 2004.

CHENG.V, NG.E & GIVONLB: « *Effect of envelope color and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate* » Solar Energy 2005.

ÉCHALLIER J.-C., " *Sur quelques détails d'architecture du Sahara* ", in Le saharien, n° 42 et 44, Paris, 1966-67

Journée du CUEPE « *Habitat, confort et énergie* » , Genève le 22 mai 20

LEVY . A " *la troisième ville* " in revue urbanisme sep/oct. 1997

MOKHTARI .A , BRAHIMI .Ket BENZIADA .R "*Architecture et Confort Thermique dans les Zones Arides, Application au Cas de la Ville de Béchar*"', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 11, N°2, pp. 307 – 315, 2008

SIDLER Olivier, directeur de la Sté ENERTECH, "*L'inertie thermique en climat méditerranéen. Confort et consommations d'énergie*" , Montpellier : Colloque le 15/05/2003

THELIER. F et al, "*Les outils d'évaluation du confort thermique* ", Journée SFT/ CSTB, 04/02/2003, Nantes

TIXIER . N. " *De la notion de confort à la notion d'ambiance* " in revue du laboratoire cresson de l'école d'architecture de Grenoble et CNRS Ambiances architecturales et urbaines, France. 2007

Les thèses:

ABDOU. S, "*Investigation sur l'intégration climatique dans l'habitation traditionnelle en régions arides et semi arides d'Algérie: Cas du Ksar de Ouargla et de la médina de Constantine* ", Thèse de doctorat Université de Constantine, 2004, p144.

BOUDJELLAL . L " *rôle de l'oasis dans la creation de l'îlot de fraîcheur dans les zones chaudes et arides « Cas de l'oasis de chetma -Biskra -Algérie* »" Thèse de magister U:Cons 2009

ENDRAVADAN. M. " *Régulation des systèmes de chauffage et de climatisation basée sur la sensation thermique humaine. Impact sur la consommation d'énergie dans les bâtiments* " . Thèse Energétique. Toulouse: Université de Paul Sabatier - Toulouse III, 2006, 161 p.

HAI HUSSEIN. M "sur la qualité des ambiances hygrothermiques et lumineuses des habitats palestiniens. ", Thèse de doctorat Université de BORDEAUX 1, 2012

NICOL.F "Thermal comfort, a handbook for field studies toward an adaptive model." London:University of East London, 1993. Cite in Collard, Philippe. « Approche multicritère de l'évaluation de la qualité des ambiances intérieures : application aux bâtiments tertiaires ». Thèse Génie Civil et Sciences de l'Habitat. Chambéry: Université de Savoie, 2001, 215 p.

OULD-HENNIA, A « Choix climatiques et construction, zones arides et semi-arides : la maison à cour de Boussaâda ». Thèse de doctorat, école polytechnique Fédérale de Lausanne, suisse, 2003, p180

TITTELEIN.P" Environnements de simulation adaptés à l'étude du comportement énergétique des bâtiments basse consommation " , université de Savoie, 2008, p 220

Les liens: Sites Internet :

[En ligne] <http://www.maison-solaire.fr/Bioclimatique.htm> (page consultée le 23-12-2013)

[En ligne]. <http://exportation-a-energyplus.cype.fr/> (page consulter le 01-06 -2014)

[En ligne]. <http://pgj.pagesperso-orange.fr/latlong.htm#Algeria> (page consulter le 13 -01 -2014)

ARGILEO: [en ligne]. http://www.argileo.fr/btc_qualite_de_vie.html (page consulter le 03 AOUT 2013)

Bioclimatisme [En ligne]. [http ://www.greenspace.b/bioclimatime.html](http://www.greenspace.b/bioclimatime.html) (page consulter le 3 -6 - 2013)

MATECOLO:[enligne]<http://www.matecolo.fr/materiaux-ecologiqueslandes/163.html?e9cc5fa6883da589b40b80d9eaac3486=c160cb29b868d8c58be07942202810e5html> (page consulter le 11 MARS 2012)

The demonstration component of the Joule-Thermie programme.European commission thermie. [en ligne] <http://erg.ucd.ie/ttp.html>

Annexes

Annexe I:

Données météorologiques de la ville de Laghouat pour la période de 2004-2013

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
T moy min	1,58	3,11	6,41	9,91	14,79	19,52	23,79	23,04	18,09	12,86	6,13	2,90
T moy max	14,76	15,92	20,53	24,48	29,36	35,56	39,67	38,84	32,01	26,38	19,10	14,87
T moy	7,89	9,47	13,58	17,00	22,31	27,10	32,23	30,00	24,94	19,40	12,38	8,66
Hr moy	58,56	52,44	40,22	41,22	36,22	34,00	25,56	27,67	41,67	51,00	57,22	60,22
Précipitations moy (mm)	5,57	6,73	14,98	16,46	11,49	10,31	6,36	11,74	26,55	26,34	9,57	7,32
Vent moy	2,87	3,74	4,02	4,53	4,11	3,81	3,38	3,21	2,99	2,52	2,71	5,50
Insolation moy (h)	247	195	263	213	315	338	360	385	99	119	176	152

Analyse bioclimatique de Laghouat :

2.1. METHODE DE MAHONEY

Tableau 1 :

Location	SUD Algérien
Longitude	2° 56 O
Latitude	33°46' NORD
Altitude	790m

Température de l'air en °C:

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
T moy min	1,58	3,11	6,41	9,91	14,79	19,52	23,79	23,04	18,09	12,86	6,13	2,90
T moy max	14,76	15,92	20,53	24,48	29,36	35,56	39,67	38,84	32,01	26,38	19,10	14,87
T moy	7,89	9,47	13,58	17,00	22,31	27,10	32,23	30,00	24,94	19,40	12,38	8,66

$AMT = T_{max} + T_{min} / 2$

$AMR = T_{max} - T_{min}$

Humidité relative en %:

T max	39,67
T min	1,58
AMT	20,62
AMR	38,09

Hr moy	58,56	52,44	40,22	41,22	36,22	34,00	25,56	27,67	41,67	51,00	57,22	60,22
Groupe d'humidité	3	3	2	2	2	2	1	1	2	3	3	3

Groupe d'humidité: 1	Si Hr < 30%
2	30-50%
3	50-70%
4	> 70%

Précipitations et vents:

Précipitations moy (mm)	5,57	6,73	14,98	16,46	11,49	10,31	6,36	11,74	26,55	26,34	9,57	7,32
Vent moy	2,87	3,74	4,02	4,53	4,11	3,81	3,38	3,21	2,99	2,52	2,71	5,50

Limites de Confort :

Groupe d'humidité	AMT > 20°C		AMT 15-20°C		AMT < 15°C	
	Jour	Nuit	Jour	Nuit	Jour	Nuit
1	26-34	17-25	23-32	14-23	21-30	12-21
2	25-31	17-24	22-30	14-22	20-27	12-20
3	23-29	17-23	21-28	14-21	19-26	12-19
4	22-27	17-21	20-25	14-20	18-24	12-18

Nocturne

Tableau 2 : Diagnostic de températures en °C

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	AMT
T moy max	14,76	15,92	20,53	24,48	29,36	35,56	39,67	38,84	32,01	26,38	19,10	14,87	20,62
Confort Diurne	Max	29	29	31	31	31	31	34	34	31	29	29	29
	Min	23	23	25	25	25	25	26	26	25	23	23	23
Stresse thermique, jour	C	C	C	C	O	H	H	H	H	O	C	C	C
T moy min	1,58	3,11	6,41	9,91	14,79	19,52	23,79	23,04	18,09	12,86	6,13	2,90	
Confort Nocturne	Max	23	23	24	24	24	24	25	25	24	23	23	23
	Min	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Stresse thermique, nuit	C	C	C	C	C	O	O	O	O	C	C	C	C

C: Cold (froid)

O: Comfort (confort)

H: Hot (chaud)

Indicateurs :

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
humide	H1 (ventilation essentielle)													
	H2 (Ventilation désirable)													
	H3 (Protection pluie)													
Arde	A1 (Inertie thermique)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	12
	A2 (Dormir dehors)						√	√	√	√				04
	A3 (Prob. Saison froide)	√	√	√	√							√	√	06

Définition de l'indicateur	indicateur	Inconfort thermique		Hauteur des précipitations	Groupe d'humidité	Différence mensuelle de température
		jour	nuit			
Mouvement de l'air essentiel	H1	C	-	-	4	-
		C			2-3	<10°C
Mouvement de l'air désirable	H2	/	-	-	4	-
Protection contre la pluie	H3	-	-	>200 mm	-	-
Capacité thermique nécessaire	A1	-	-	-	1-2-3	>10°C
Sommeil extérieur désirable	A2	-	C	-	1-2	-
		C	/	-	1-2	>10°C
Protection contre le froid	A3	F	-	-	-	-

Tableau 3 :

Totaux indicateurs						
Humide			Aride			
H1	H2	H3	A1	A2	A3	
0	0	0	12	4	6	
Plan de masse						
			0-10			Bâtiments orientés suivant un axe longitudinal est-ouest afin de diminuer l'exposition au soleil.
			11 ou 12	5-12	0-4	
Espacement entre bâtiments						
11-12						Grands espacements pour favoriser la pénétration du vent
2-10						Comme ci-dessus mais avec protection contre vent chaud/froid
0-1						√ Plans compacts
Circulation de l'air						
3-12						Bâtiments à simple orientation. Dispositions permettant une circulation d'air permanente.
1 ou 2	2-12		0-5			Bâtiments à double orientation permettant une circulation d'air intermittente.
			6-12			
0	0-1					√ Circulation d'air inutile
Dimension des ouvertures						
			0 ou 1		0	Grandes, 40 à 80% des façades nord et sud. Moyennes, 25 à 40 % de la surface des murs
			2-5			Intermédiaires, 20 à 35 % de la surface des murs.
			6-10			
			11 ou 12		0-3	√ Petites, 15 à 25% de la surface des murs.
						4-12

<i>Position des ouvertures</i>							
11-12							Ouvertures dans les murs nord et sud, à hauteur d'homme du côté exposé au vent.
2-10							Comme ci-dessus, mais y compris ouvertures pratiquées dans les murs intérieurs.
<i>Protection des ouvertures</i>							
				0-2		√	Se protéger de l'ensoleillement direct
		2-12					Prévoir une protection contre la pluie
<i>Murs et planchers</i>							
			0-2				Constructions légères, faible inertie thermique
			3-12			√	Construction massive, décalage horaire supérieur à 08 heures
<i>Toiture</i>							
10-12			0-2				Construction légères, couvertures à revêtements réfléchissants et vide d'air.
			3-12			√	Légère et bien isolée
0-9			0-5				Construction massive, décalage horaire supérieur à 08 heures
			6-12				
<i>Espaces extérieurs</i>							
				1-12		√	Emplacement pour le sommeil en plein air
		1-12					Drainage approprié des eaux de pluie

**Application de la méthode de STEEV SZOCOLAY sur le climat De La Ville De Laghouat :
Diagramme psychométrique de la ville de Laghouat :**

Détermination des zones de confort pour la ville de Laghouat selon la méthode de Steev SZOCOLAY.

1-Détermination de la température neutre :

- a) Établir la température moyenne annuelle :

$$T_m = \Sigma t_m / 12$$

$$T_m = 226,8 / 12 = 18,9^\circ\text{C}$$

- b) La température neutre sera :

$$T_n = 17,6 + (0,31 \times T_m) = 23,27^\circ\text{C}$$

$$T_n = 23,45^\circ\text{C}$$

- c) Limites de la zone de confort:

Porter sur le graphe le point neutre à l'intersection de T_n et la ligne représentant 50 % d'humidité relative.

Les points 1 et 2 correspondront à celle de 12 g/kg.

$$T_1 = T_n + (A_{hn} - 12) \times 0,025 \times (T_n - 14) - 2$$

$$T_1 = 19,95^\circ\text{C}$$

a) Calcul de la température neutre Tn d'après la formule de Humphrey:

En raison des études sur le terrain, il a été proposé que la température de confort soit une fonction de la température extérieure, et peut être prévu par des équations de la forme suivante (Humphreys 1978, Auliciens et De Dear 1986, Nicol et Raja, 1995) :

$$T_{comf} = a \cdot T_{a,out} + b \dots \dots \dots (1)$$

Où $T_{a,out}$ est la température d'air extérieure moyenne.

Ainsi, après De Dear et Brager, (2002), ont proposé l'expression suivante :

$$T_{comf} = 0.31 T_{a,out} + 17.8 \dots \dots \dots (2)$$

Tandis que Humphreys 1978, Humphreys et Nicol 2000 et Nicol 2002 ont proposé une expression presque similaire⁴ :

$$T_{comf} = 0.534 T_{a,out} + 11.9 \dots \dots \dots (3)$$

$T_{a,out}$: la température extérieure moyenne du mois en question en °C.

Les températures limites de confort T_c :

$$T_c = T_n \pm 2 K.$$

$$T_c = T_n + 2K = 28.6^\circ C \text{ c'est la limite supérieure du confort.}$$

$$T_c = T_n - 2K = 24.6^\circ C \text{ c'est la limite inférieure du confort.}$$

1. Calcul de la température neutre Tn d'après la formule de Humphrey:

$$T_n = 11.9 + 0.534 T_0$$

Où T_n : la température neutre en °C

T_0 : la température extérieure moyenne du mois en question en °C.

Pour le mois de juin $T_0 = 32,23^\circ C$ **$T_n = 29,11^\circ C$**

Pour le mois de décembre $T_0 = 8,66^\circ C$ **$T_n = 16.6^\circ C$**

2. Les températures limites de confort T_c :

➤ Pour le mois de juin : $T_c = T_n \pm 2 K.$

$$T_c = T_n + 2K = 31,11^\circ C \text{ c'est la limite supérieure du confort.}$$

$$T_c = T_n - 2K = 27.11^\circ C \text{ c'est la limite inférieure du confort.}$$

➤ Pour le mois de décembre :

$$\text{La limite supérieure du confort } T_c = T_n + 2K = 18.6^\circ C$$

$$\text{La limite inférieure du confort. } T_c = T_n - 2K = 14.6^\circ$$

⁴ Niki Assimakopoulou M. « Développement et évaluation des systèmes et stratégies de contrôle de régulation d'un vitrage électrochromique pour des applications de bâtiment », thèse de doctorat, Lyon 2004.p 243

Annexe II:

Résultats des mesures :

Tableaux détaillés des Relevés des températures et des humidités relatives de la maison ksourienne en période été (21/06/2013)

Tableau- Températures d'air internes et externes ,mesurées en période été

Horaires	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
T int (°C)	28,5	27,5	27,1	27,6	28,2	28,9	29,6	29,4	29,4	29,5	29,8	28,5
T skifa (°C)	28,3	27,3	26,1	27	27,8	29	30,9	30	30	29,9	30,3	28,3
T patio (°C)	28,4	27,2	26,8	27,6	28,2	29	31,3	29,8	29,6	29,6	30	28,5
T rue (°C)	27,9	27,3	26,2	27,5	27,7	29,4	32,3	34	33,1	31,1	30,3	28,7
T meto (°C)	26	23,4	24,6	26,1	28,5	32,1	35,4	36,1	35,9	32,9	29,2	28,7

Horaires	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
HR int (%)	24,5	24,1	26,9	25,5	24,8	25,3	23,5	22,3	21,6	23,3	24,6	22,8
HR skifa (%)	22	21,8	27,5	27,9	23,2	24,4	22,8	20,1	18,5	19,7	20,9	19,4
HRpatio (%)	23	22,1	26,8	27	24	21,4	20,8	22	21,9	22,9	23,2	21,2
HR rue (%)	22,5	21,9	29	29,7	26,6	22,3	18,3	15,9	15,6	18,6	19,4	19,4
HR meteo (%)	10	13	20	21	19	15	9	7	8	12	18	19

Tableau- Humidité intérieure moyenne, mesurées en période été

Tableaux détaillés des Relevés des températures et des humidités relatives de la maison ksourienne en période été (22/06/2013)

Tableau- Températures d'air internes et externes ,mesurées en période été

Horaires	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
T int (°C)	28,6	27,0	25,1	27,4	26,8	28,9	29,1	29,4	29,2	29,1	28,9	28,7
T skifa (°C)	27,2	26,1	24,1	25,4	25,7	28,4	29,2	30,6	31,1	29,3	28,5	28,2
T patio (°C)	27,8	26,7	24,8	26,6	26,8	30,3	30,8	30,7	29,8	29,1	28,8	28,7
T rue (°C)	26,3	25,9	24,0	24,4	25,3	29,4	31,3	33,4	33,2	29,6	29,0	28,0

Tableau- Humidité intérieure moyenne, mesurées en période été

Tableaux détaillés des Relevés des températures et des humidités relatives de la maison ksourienne en période été (23/06/2013)

Tableau- Températures d'air internes et externes ,mesurées en période été

Horaires	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
T int (°C)	29,0	27,4	27,2	27,6	28,1	28,9	29,1	29,2	29,5	29,5	29,3	29,2
T skifa (°C)	28,9	26,8	26,4	27,8	27,8	28,6	29,4	29,4	29,6	29,9	29,5	29,4
T patio (°C)	29,1	27,7	27,4	27,6	28,0	29	29,4	29,4	29,7	29,6	29,6	29,3
T rue (°C)	28,5	26,5	26,3	26,9	27,7	28,3	30,0	29,3	30,2	31,1	31,1	29,4
	26	23,4	24,6	26,1	28,5	32,1	35,4	36,1	35,9	32,9	29,2	28,7

Tableau- Humidité intérieure moyenne, mesurées en période été

Horaires	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
HR int (%)	25,9	26,8	23,9	22,7	24,9	24,2	23,1	22,8	22,3	24,5	24,5	23
HR skifa (%)	23	22,9	27,7	28,2	24,7	24,8	25,4	21,8	19,9	20,7	21,9	22,7
HRpatio (%)	24,8	22,5	26,8	27,7	24,2	21,6	20,5	22,3	21,7	22,3	25,7	22,8
HR rue (%)	25,7	21,9	29,9	23,7	28,6	20,3	15,3	16,9	16,8	18,9	18,5	20,6

Tableaux détaillés des Relevés des températures et des humidités relatives de la maison ksourienne en période été (24/06/2013)

Tableau- Températures d'air internes et externes ,mesurées en période été

Horaires	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
T int (°C)	28,7	27,1	27,5	27,7	28,6	29,0	29,3	29,7	29,4	29,1	28,8	28,4
T skifa (°C)	27,7	26,5	25,8	26,4	27,0	27,9	28,5	29,2	30,4	29,9	28,3	28,1
T patio (°C)	28,1	27,0	26,7	27,9	28,6	30,7	31,1	30,8	30,2	30,1	29,6	29,2
T rue (°C)	27,9	26,3	26,0	27,2	28,7	31,4	33,6	35,3	34,6	32,1	29,1	28,5

Tableau- Humidité intérieure moyenne, mesurées en période été

Horaires	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
HR int (%)	23,7	24,6	26,1	25,3	25,1	24,5	22,4	22,4	21,2	23,9	24,7	22,4
HR skifa (%)	23,8	21,2	27,0	27,5	23,0	24,2	23,8	21,6	18,9	19,7	21,6	22,8
HRpatio (%)	22,7	25,9	26,3	26,8	25,4	23,5	21,9	22,7	22,8	23	23,8	21,3
HR rue (%)	29,4	28,4	27,8	26,5	25,9	21,3	19,3	23,7	24,9	22,9	24,6	27,6

Tableaux détaillés des Relevés des températures et des humidités relatives de la maison ksourienne en période hivernal (21/12/2013)

Tableau- Températures d'air internes et externes, mesurées en période hivernale

Horaires	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
T int (°C)	16,9	17,3	16,8	15,6	15,7	13	13,1	12,5	14,2	16,8	17,3	15,7
T skifa (°C)	9,8	10,1	10,9	10,5	11	10	10	11	11,6	9,6	9,1	9,2
T patio (°C)	17,1	17,3	15,9	16,3	15,9	12,9	12,9	12,9	13,9	17,9	17,4	15,1
T rue (°C)	9,9	9,7	10	10,3	10,9	9,8	9,9	11,1	10,7	9,9	9,2	9,4
T meteo (°C)	7,7	7,4	7,1	7,4	8,1	7,9	8,9	9,9	10,2	9,1	8,7	9

Tableau- Humidité relative moyenne intérieure et extérieure: mesurées en hiver

Horaires	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
HR int (%)	50,5	51,1	52	51,5	51,8	50,3	49,5	48,7	51,3	52,7	53	51,8
HR rue (%)	63,5	64,6	65	64,7	60,8	63,1	61,8	57,9	54,7	56	61,9	62,3
HR meteo (%)	84	84	87	86	83	83	83	78	75	82	83	82

Tableaux détaillés des Relevés des températures et des humidités relatives de la maison ksourienne (22/12/2013)

Tableau- Températures d'air internes et externes, mesurées en période hivernale

Horaires	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
T int (°C)	16,3	16,8	16,3	15,8	15,7	14,5	13,7	13,5	14,0	16,1	16,9	15,9
T skifa (°C)	9,7	9,9	10,9	11,1	11	10,7	10,8	11,2	10,6	9,2	8,9	9,4
T patio (°C)	15,9	16,3	15,4	16,6	15,2	13,5	13,5	12,5	14,6	17,4	17,9	15,7
T rue (°C)	9,5	9,3	9,9	10,4	10,7	11,2	10,6	11,1	10,9	10,5	9,3	9,1

Tableau- Humidité relative moyenne intérieure et extérieure: mesurées en hiver

Horaires	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
HR int (%)	50,8	50,7	51,6	51,1	52	51,1	49,9	49,1	50,3	53	52,7	51,5
HR rue (%)	63,0	63,6	64,2	64	60,9	63,6	61,2	58,7	54,2	55,7	61,3	62,8
HR meteo (%)	83	81	85	81	86	81	81	74	73	79	80	81

Tableaux détaillés des Relevés des températures et des humidités relatives de la maison ksourienne (23/12/2013)

Tableau- Températures d'air internes et externes, mesurées en période hivernale

Horaires	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
T int (°C)	16,6	16,2	16,1	16,6	17	15,4	16,3	16,5	17,6	16,9	17,0	16,9
T skifa (°C)	10	9,8	10,1	10,8	11,2	10,3	10,1	10,8	11	10,6	9,7	9
T patio (°C)	17,0	17,1	16,9	16,1	14,9	12,1	12,4	13,8	14,3	17,5	16	14,6
T rue (°C)	9,4	9,9	10,7	10,1	10,5	9,9	10,3	11	10,2	10	9,1	9,2

Tableau- Humidité relative moyenne intérieure et extérieure: mesurées en hiver

Horaires	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
HR int (%)	49,9	50,6	51,3	51,5	52	50,9	50	49,7	50,1	52,3	52,8	51,4
HR rue (%)	63,5	64,6	65	64,7	60,8	63,1	61,8	57,9	54,7	56	61,9	62,3
HR meteo (%)	84	84	87	86	83	83	83	78	75	82	83	82

Tableaux détaillés des Relevés des températures et des humidités relatives de la maison ksourienne (21/12/2013)

Tableau- Températures d'air internes et externes, mesurées en période hivernale

Horaires	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
T int (°C)	16,8	17,0	16,9	15,5	15,1	13,8	13,7	14,5	14,2	16,3	17,0	16,2
T skifa (°C)	9,9	10,3	11,2	10,9	11,2	10,4	10,2	11,4	11,3	9,9	9,0	9,5
T patio (°C)	16,8	17,3	15,4	16,1	16,5	12,6	12,7	13,2	14,2	17,4	17,0	15,9
T rue (°C)	9,4	9,8	10,2	10,3	11	9,6	10,1	11,2	10,7	9,9	9,2	9,4

Tableau- Humidité relative moyenne intérieure et extérieure: mesurées en hiver

Horaires	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
HR int (%)	50,5	51,1	52	51,5	51,8	50,3	49,5	48,7	51,3	52,7	53	51,8
HR rue (%)	64,1	64,4	64,7	64,9	61,2	62,8	62,7	59,9	58	58,3	61,9	62,9
HR meteo (%)	87	86	87	90	89	87	84	78	79	83	87	84

Période estivale : Comparaison entre les températures intérieures mesurées et celles simulées par EnergyPlus

Horaires	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
T int (°C) simulée	26,28	25,96	25,75	25,84	26,29	27,18	28	28,41	28,35	27,97	27,38	26,7
T int (°C)	28,5	27,5	27,1	27,6	28,2	28,9	29,6	29,4	29,4	29,5	29,8	28,5
T météo (°C)	21,61	20,16	19,52	20,64	24,17	29,3	33,8	35,56	33,96	30,11	26,26	23,37

Période hivernale: Comparaison entre les températures intérieures mesurées et celles simulées par EnergyPlus

Horaires	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
T int (°C)	16,9	17,3	16,8	15,6	15,7	13	13,1	12,5	14,2	16,8	17,3	15,7
T météo (°C)	7,7	7,4	7,1	7,4	8,1	7,9	8,9	9,9	10,2	9,1	8,7	9
T int simulée (°C)	13,75	13,78	13,81	13,83	11,22	11,42	11,76	11,90	11,37	11,78	13,17	13,67

**ANNEXE III : Le questionnaire
"Enquête sur le confort thermique"**

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Amar Telidji -LAGHOUAT-



Faculté de Technologie
Département de l'architecture

SUJET : Performances thermiques des maisons ksouriennes en terre crue et terre améliorée en zone aride , cas d'étude Laghouat

Nous les étudiants en post graduation en architecture , vous sollicitons pour la réussite de cette action de proximité , il vous suffit de :

- Répondre aux questions en cochant () la bonne réponse , et Merci de nous consacrer de votre temps à cette recherche.

Sexe :

Masculin

Féminin

Age :

Niveau d'éducation

- Enseignement primaire
- Enseignement moyen
- Enseignement secondaire
- formation professionnelle
- Enseignement supérieur

Vous habitez votre logement depuis :

- moins de 5ans 11-15ans
 5-10ans plus de 15ans

Vous êtes:

- Propriétaire Locataire

Avez vous effectué des modifications dans votre maisons par rapport a sa conception initiale :

- Oui Non

Si oui , lesquelles :

Comment qualifiez-vous votre niveau de sensibilité à la chaleur:

- Extrêmement sensible 3 plutôt sensible 2
 sensibilité normale 1 peu sensible 0

Comment qualifiez-vous votre niveau de sensibilité au froid :

- Extrêmement sensible 3 plutôt sensible 2
 sensibilité normale 1 peu sensible 0

Este-vous satisfait de la situation thermique dans votre maisons:

- Très confortable confortable Très inconfortable inconfortable

**Quel est le (ou les) facteur(s) le(s) plus défavorable(s) pour votre confort ?
(Classez, si vous avez plusieurs réponses)**

	ETE	HIVER
Température		
Humidité		

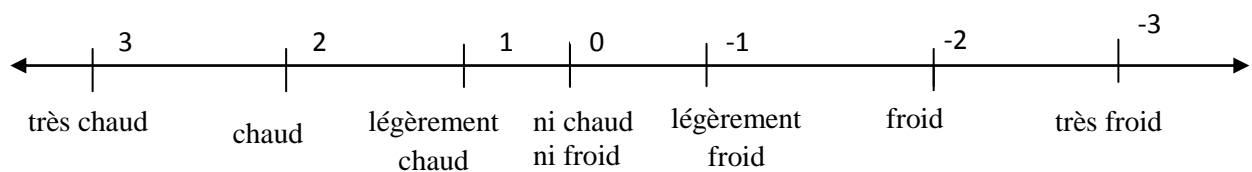
Courants D'air		
Autres		

Pour plus de confort Indiquez, pour quelle fréquence utilisez-vous les espaces suivants dans un ordre décroissant

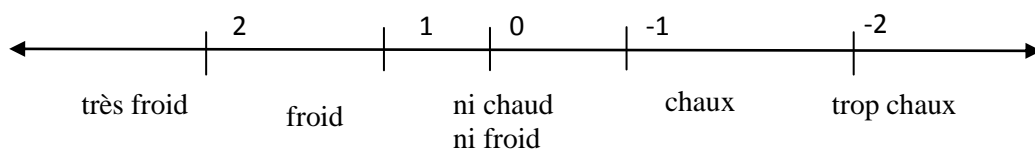
	ETE	HIVER
Chambre		
Patio(Houche)		
Terrasse		
Autres		

Nous vous demandons de décrire l'ambiance de votre maison à travers les points suivants :

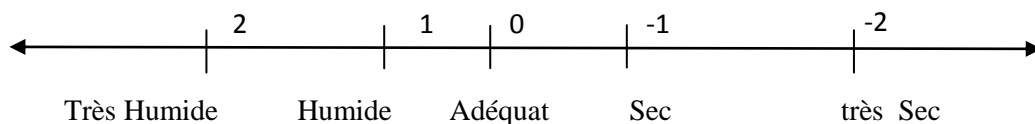
1-Température en été (entourez le chiffre correspondant)



2 - Température en hiver (entourez le chiffre correspondant)



3 -Humidité



Quel est votre avis sur le confort thermique à l'intérieur de votre maison :

	Très confortable	confortable	Inconfortable	Très Inconfortable
En été, le matin				
En été, L'après midi				
En été, le soir				

En hiver, le matin				
En hiver, L'après midi				
En hiver, le soir				

Avez vous besoin d'un système de chauffage pendant l'hiver dans votre maison :

Oui

Non

Si oui , votre consommation mensuelle pour ce chauffage est combien :

.....

Avez vous besoin d'un système de refroidissement pendant l'été dans votre maison :

Oui

Non

Si oui , votre consommation mensuelle pour le refroidissement est combien :

.....

- fin de questionnaire -

je vous remercie pour votre participation

