



Maison Traditionnelle Tlemcenienne : Modélisation et Simulation du Confort Thermique.

Wafa GHAFfour¹, Mohammed Nabil Ouissi²,

^{1,2}Département d'Architecture, Faculté de Technologie, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Algérie

¹sel.waf@hotmail.fr, ²ouissi_n@yahoo.fr

Résumé : L'intérêt de notre travail se focalisera sur l'identification des différentes typologies constructives de la maison de l'Oukil, fruit du savoir-faire de la période mérinide, trouvant sa consécration dans le sanctuaire de Sidi Boumèdiène, nous avons entrepris une simulation numérique par le logiciel Fluent pour l'évaluation du confort thermique afin d'étudier l'influence des composantes environnementales telles que la température, le degré d'humidité, les vents, et les matériaux utilisés.

L'utilisation de la simulation informatique nous permet d'évaluer les performances thermiques d'une construction tout en agissant à volonté sur les éléments de la construction.

Le confort thermique, pour cette maison, se résume à travers les techniques et propriétés des matériaux de construction, à savoir l'inertie thermique, la résistance thermique, la conductivité thermique..., à travers une typologie centrée autour du patio, jouant le rôle de puits d'air et de lumière, en une ventilation continue à travers les petites ouvertures assurant des températures douces et une bonne qualité de l'air.

Les résultats nous indiquent que les températures intérieures sont toujours inférieures à celles de l'extérieur. Elles varient selon le type et l'inertie des matériaux qui constituent l'enveloppe de la maison, selon l'orientation aussi et selon le type d'espace qu'il soit ouvert ou fermé.

Mots clés :

Confort thermique, matériaux, inertie thermique, simulation numérique, Fluent.

1. Introduction

L'Algérie a partagé avec les autres pays du bassin méditerranéen des similitudes sur le plan architectural et constructif, avec une typologie des constructions à patio, ce dernier se présente comme un régulateur thermique, en l'associant avec la forte inertie thermique des matériaux utilisés [1], afin de contribuer à la sensation de confort.

L'évaluation par simulation est plus flexible dans la mesure où elle permet d'évaluer les performances thermiques d'une construction tout en agissant à volonté sur les éléments de la construction [2].

L'objet de la présente évaluation des performances thermique de la maison s'inscrit dans un objectif bien précis, à savoir l'évaluation des matériaux et techniques données dans le contexte de leur réalisation.

2. Outils architecturaux

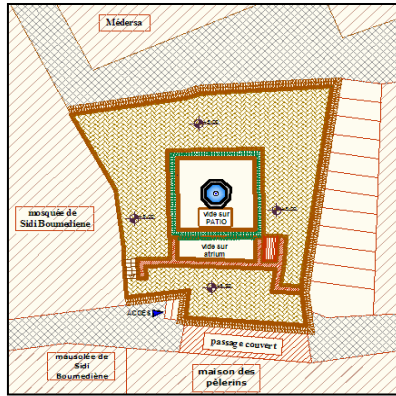
2.1. Implantation

La maison se situe au cœur du site historique du sanctuaire de Sidi Boumediene, elle porte le nom de « Dar l'Oukil », avec une configuration d'un tissu très dense dans un terrain en forte pente, délimité comme suit : Côté Nord, la maison des pèlerins.

Côté Sud, la medersa.

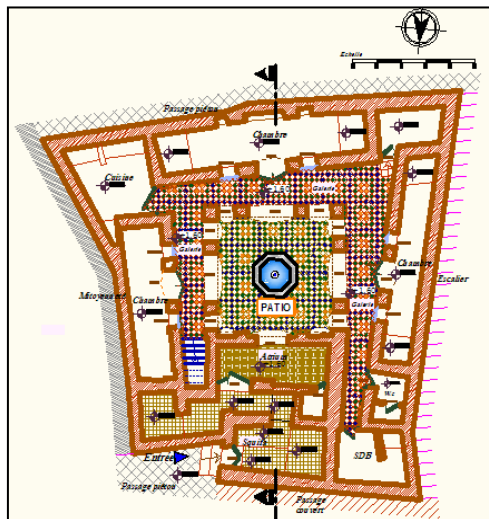
Côté Est, la mosquée de Sidi Boumèdiène.

Côté Ouest, le quartier d'El Eubbâd.



2.2. Présentation Architecturale

L'architecture de la maison se développe depuis l'intérieur : autour du patio se trouvent quatre galeries. Chaque galerie comporte trois arcades donnant sur un vaste espace central découvert, au centre duquel se situe un bassin d'eau.



2.3. Composantes Structurelles et Typologies Constructives

Les sondages effectués par le BET [5], ont permis de déceler les appareillages constituant la maçonnerie en briques, en pierres et en pisé qui assurent une bonne inertie [4], avec un enduit de chaux et des planches à voutains en brique et profilés métalliques ainsi que des revêtements en terre cuite et en céramique. Le principe de gestion du rayonnement solaire consiste à limiter ses effets et optimiser le système de refroidissement.

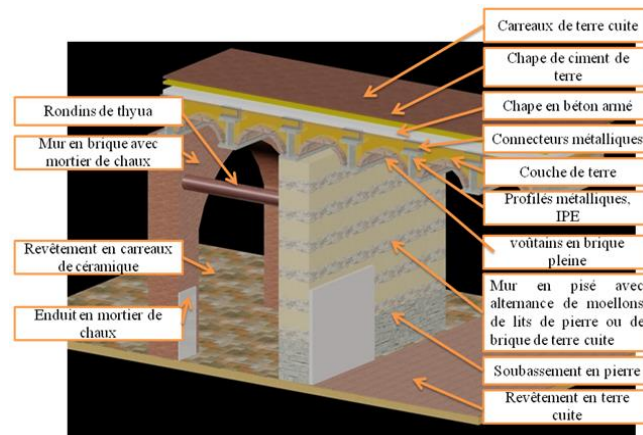


Fig. 4 Typologie constructive de la maison de L'Oukil.

3. Simulation informatique du confort thermique par le logiciel Fluent

Pour notre travail, nous aurons recours au code CFD Fluent, commercialisé par Fluent Incorporated. Nous disposons de la version 6.3.

3.1. Résumé des Données Climatiques de Tlemcen

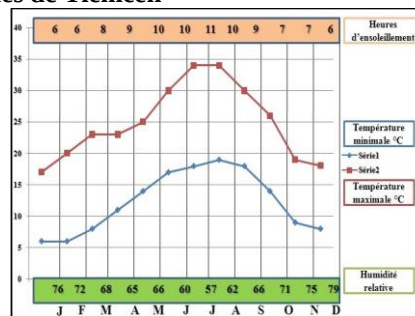


Fig. 5 Diagramme des températures mensuelles moyennes et d'humidité relative de Tlemcen.

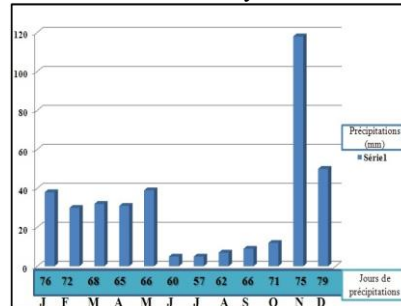


Fig. 6 Diagramme des précipitations de Tlemcen.

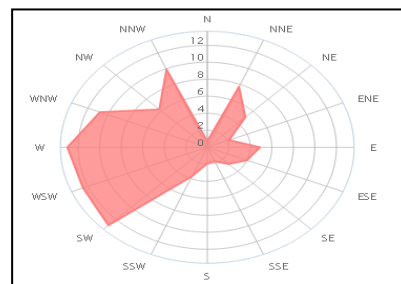


Fig. 7 Vents dominants annuels.

3.2. Contexte de Simulation

Pour l'architecte, l'analyse thermique par la simulation, se fait dans une perspective d'intégration des paramètres physiques des matériaux et climatiques, au processus d'amélioration des performances thermiques

des bâtiments [2], afin d'explorer et d'optimiser les paramètres aboutissant à un meilleur confort. Cette analyse lui permet donc d'établir une évaluation et un contrôle thermique des bâtiments [3].

3.3. Zone de Confort

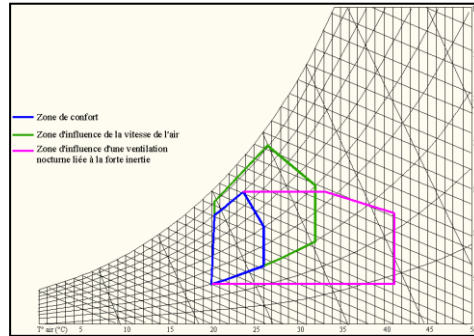


Fig. 8 Diagramme psychrométrique et températures mensuelles

1) *Recommandations du Diagramme Psychrométrique,*

- ✓ Possibilité d'ouvrir le soir pour bénéficier de la température nocturne.
- ✓ Possibilité de fermer le jour (portes et fenêtres).
- ✓ Ventilation des toits et isolation des planchers pour réduire les apports d'été.
- ✓ L'effet de masse peut répondre au confort thermique sauf pour la période allant de Juin au mi septembre.

✓ La ventilation naturelle élargit la zone de confort, de manière à englober la période de Juin à Juillet.

Pour Tlemcen, le captage solaire pendant l'hiver est recommandé, ceci sera atteint par une bonne pénétration du rayonnement solaire à travers le patio, le choix rigoureux des matériaux, des toitures bien isolés pour limiter les déperditions. Pendant la saison chaude, les besoins de refroidissement sont importants à travers un rafraîchissement de l'air par l'inertie thermique des murs et des planchers dans le but de retarder la transmission de la température des surfaces extérieures vers les surfaces intérieures, et de recourir à une ventilation naturelle efficace.

3.4. Ventilation Naturelle

La ventilation naturelle consiste à assurer un mouvement de l'air, elle se produit grâce au phénomène de convection, l'air extérieur plus froid rentre par le bas de l'ouverture et l'air intérieur plus chaud sort par le haut, au niveau du patio, l'air est évacué par tirage thermique.

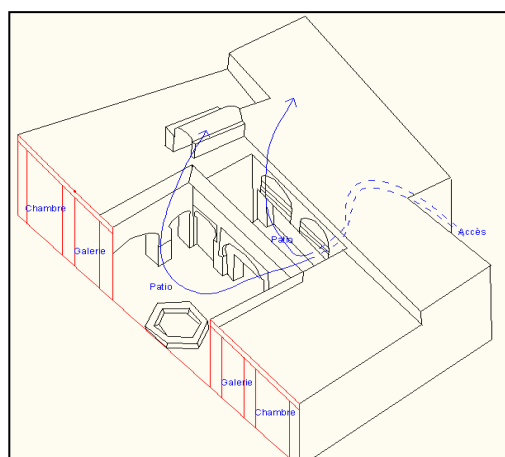


Fig. 9 Ventilation à travers le patio.

3.5. Modélisation du Cas d'Etude

Le confort thermique est étudié sur la base d'un graphe indiquant les fluctuations de température le long de la maison passant par le patio entouré des deux chambres.

Nous allons l'appliquer à la journée la plus chaude enregistrée pour le confort d'été, le graphe des températures affiche la courbe de températures internes de toutes les zones thermiques visibles.

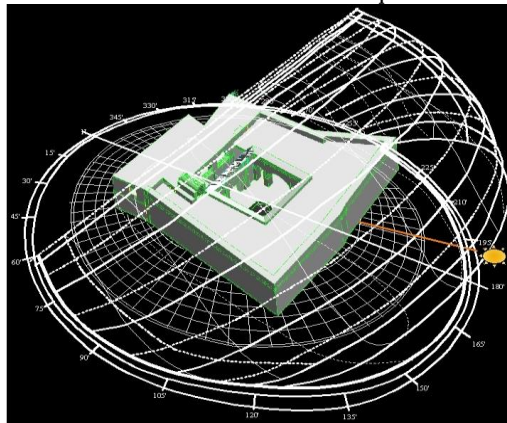


Fig.10 Modélisation du cas d'étude

3.5.1. Création de la Géométrie dans Gambit

Commande de création de la géométrie 2D, par point et ligne.

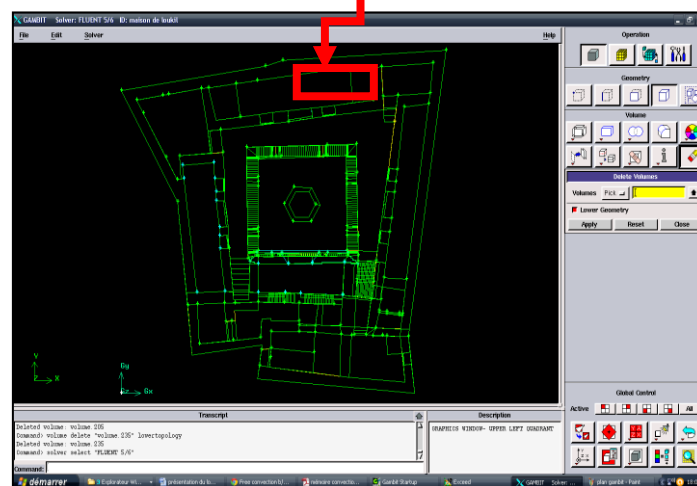


Fig.11 Modélisation de la géométrie, vue en plan

Commande de création de la géométrie 3D, par arête, face et volume.

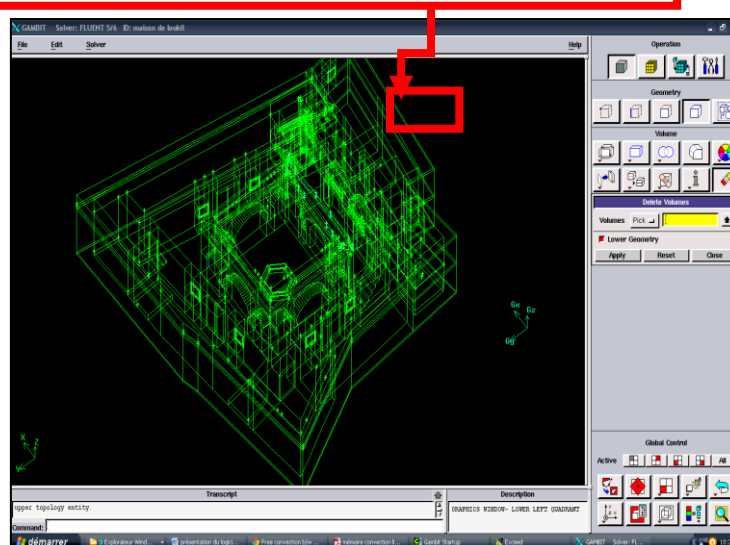


Fig.12 Modélisation de la géométrie, vue en perspective.

3.5.2. Maillage de la Géométrie dans Gambit

Des mailles tétraédriques, pyramidales, pour mailler une forme prismatique, dans le but de réduire le nombre de cellules.

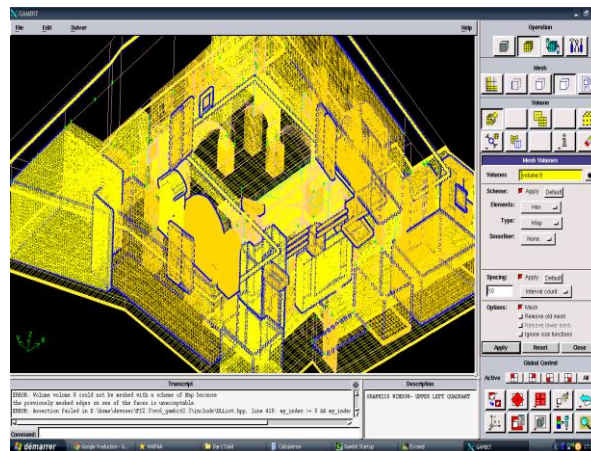


Fig.13 Maillage de la maison

3.5.3. Détermination des conditions Limites dans Gambit

Des mailles (hybrides) mixtes, pour les formes complexes et dans les zones intermédiaires, ce type comporte un grand nombre de cellules.

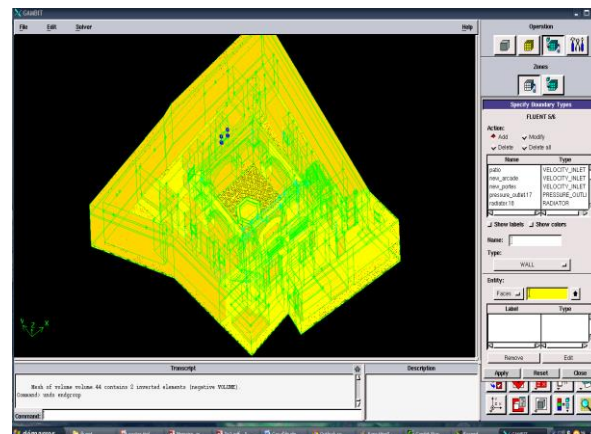


Fig.14 Conditions aux limites

3.5.4. Définition du Problème sous le Logiciel FLUENT

A. Définition des conditions aux limites dans GAMBIT

« Convection libre avec un rayonnement solaire »

- Identifier l'entrée et le sortie de l'air pour la ventilation naturelle dans les différents espaces.
- Identifier le reste par wall parce qu'il s'agit des murs.
- Séparation des volumes solides, tels que les murs, portes, fenêtres, dalles, escalier, etc.....et des volumes liquides, l'air et l'eau de la fontaine.

B. Export de la géométrie vers Fluent.

- La formulation implicite: mouvement de
- l'air de la ventilation naturelle.
- Le modèle de l'énergie; transfert de chaleur.
- Le gain de chaleur solaire.

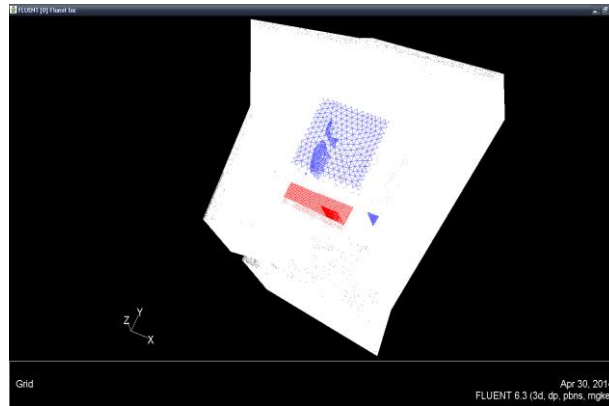


Fig.15 Géométrie dans Fluent

C. Définition des matériaux

Programmer des matériaux en spécifiant leur densité, chaleur spécifique et conductivité thermique.

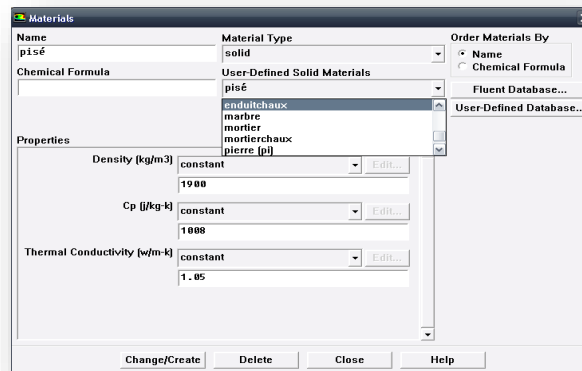


Fig.16 Définition des matériaux

D. Conditions opératoires

- Définition de la pression atmosphérique.
- Définition de la température extérieure.

E. Conditions aux limites

- La vitesse de l'entrée de l'air (velocity inlet) est limitée à 0.2m/s.
- Le coefficient de transfert thermique (5-25 W/m²K parce qu'il s'agit d'une convection libre.
- Attachant chaque élément avec le matériau qui lui convient, qu'il soit solide ou liquide.

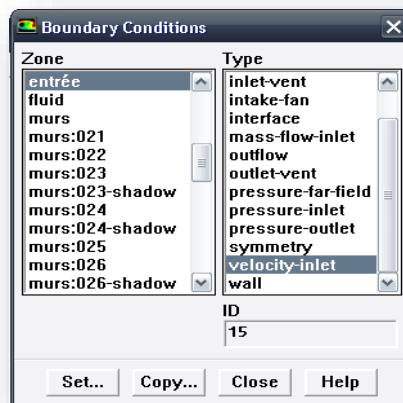


Fig.17 Définition des matériaux

3.5.5. Caractéristiques de Quelques Matériaux

Matériau	Densité (kg/m ³)	Conductivité thermique λ (W/m.k)	Chaleur spécifique (J/kg.k)
matériaux en contact direct avec l'ambiance intérieure			
sol			
Carreaux de terre cuite	2000	1.300	840
Carreaux de céramique	1900	0.309	656.9
Marbre	2750	2.900	840
murs			
Enduit de chaux	1550	0.700	864
Enduit terre et Pisé	2000	1.200	1008
Enduit plâtre intérieur	1150	0.570	1008
matériaux structurels (souvent derrière/en dessous d'un matériau de surface)			
sol			
Chape de terre	1460	1.280	800
Bois	710	0.14	2301
Briques pleines (cuites)	1850	1.000	1000
Brique standard 20 cm	650	0.390	1008
Acier	8.000	45	381
Mortier	2000	1.150	840
Béton armé	2150	1.650	1008
murs			
Pierre	1895	1.400	1000
Pisé (1900kg/m ³)	1900	1.050	1008
Brique cuite avec mortier de chaux	1900	1.150	1004
Mortier de chaux	1600	0.700	850

Tableau 1 : caractéristiques thermiques des matériaux utilisés

3.6. Simulation du Confort pour la Journée la plus Chaude Relevée.

3.6.1. Confort thermique, graphe des températures :

Le confort thermique est étudié sur la base d'un graphe indiquant les fluctuations de température suivant un plan choisi. Nous allons l'appliquer à la journée la plus chaude enregistrée pour le confort d'été. Les contours des températures et de la ventilation passant par le plan A et B (Fig. 15), le graphe des températures affiche la courbe de températures internes de toutes les zones thermiques visibles dans l'espace simulé. L'axe de la zone évaluée est donné en abscisse, en bas du graphe alors que les températures sont indiquées dans l'axe des ordonnées à gauche.



Fig.18 Choix des surfaces étudiées

3.6.2. Simulation du confort thermique

Un climat chaud peut rapidement devenir inconfortable pour les habitants, essentiellement vers midi. C'est pour cette raison qu'une bonne ventilation doit être assurée, de sorte à maintenir une température intérieure en dessous de la température extérieure. La ventilation maintient le mouvement de l'air dans l'environnement et permet des températures plus fraîches pour les habitants.

Dans notre cas, pour la journée la plus chaude, la courbe de température fluctue entre la température minimale de 19°C à et la température maximale de 35°C à l'ombre. Pour une telle amplitude journalière de 16°C, le profil des températures à l'intérieur des espaces affiche des courbes avec une fluctuation de température variant de 3°C à 6°C.

3.7. Résultats de la simulation:

✓ Simulation du confort d'été pour la journée la plus chaude relevée: En illustration, nous nous sommes limités aux allures du profil de la température et de la ventilation.

Pour la journée la plus chaude, on enregistre une courbe de température qui accuse une variation de température de 16°C, la ventilation nocturne permet d'atténuer ces températures, et les faire parvenir, pour les chambres présentant des fenêtres pour l'aération.

3.7.1. Contours de vitesse de l'air

✓ **Profil de vitesse A:** au plan A (voir Fig. 16), les contours de la ventilation de l'air sont représentés par la figure suivante.

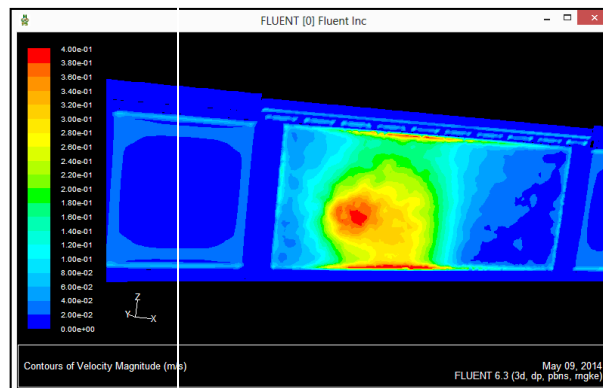


Fig.19 Contours de vitesse de l'air au plan A.

Nous pouvons remarquer d'après les contours de vitesse de l'air que la ventilation naturelle se procure dans la chambre centrale, elle est intense face à la fenêtre prise ouverte et se dégrade de part et d'autre. Dans les espaces est et ouest la vitesse de l'air est négligeable, cela est dû à l'espace qui est pris fermé.

✓ **Profil de vitesse B:** pour le plan B (voir Fig. 17), les contours de la ventilation de l'air sont illustrés par la figure suivante.

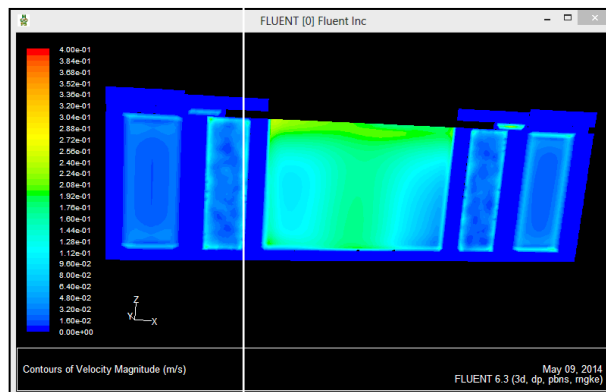


Fig.20 Contours de vitesse de l'air au plan B.

Le contour de la vitesse de l'air passant par le plan B, nous a permis de voir l'évolution du débit d'air à travers la patio, la ventilation se présente intense dans cette zone ensuite l'air frais est amené vers les galeries qui sont à l'abri pour être distribué dans les différentes chambres.

3.7.2. Contours des températures intérieures

✓ Profil de température A

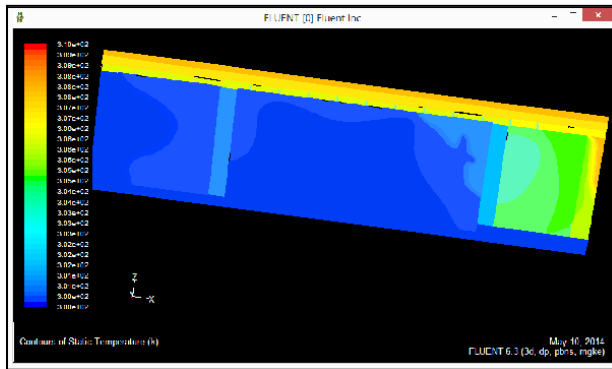


Fig.21 Contours des températures intérieures au plan A.

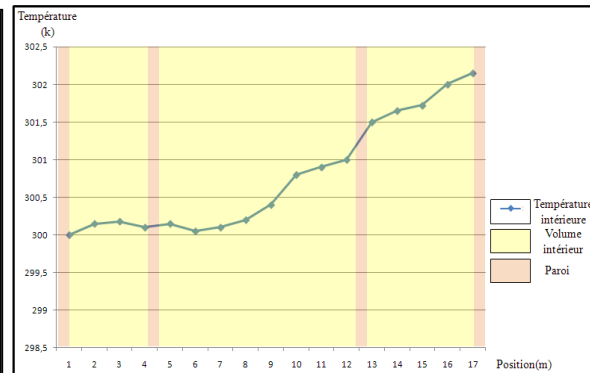


Fig.22 Contours des températures intérieures au plan A.

La lecture du graphe fait ressortir que l'évolution de la courbe de températures intérieures suit celle du 1^{er} cas étudié avec des valeurs limites de 300.15k et 302.15k. Cette zone est maintenue, néanmoins à une température inférieure de 7.5°C à celle de l'extérieur.

La possibilité de maintenir les fenêtres ouvertes la nuit avec une ventilation fait baisser la température.

Sous l'effet de la radiation solaire directe et de l'inertie de la paroi exposée, la chambre ouest prend la valeur maximale de température.

✓ Profil de température B

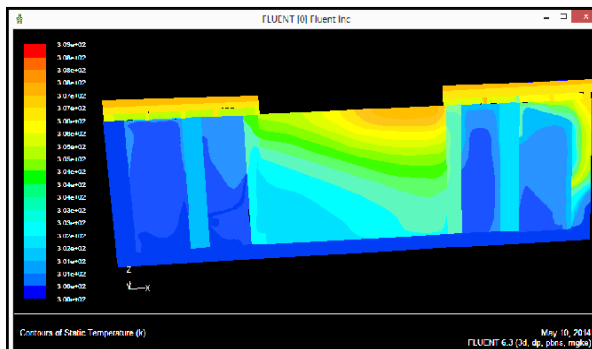


Fig.23 Contours des températures intérieures, au plan B.

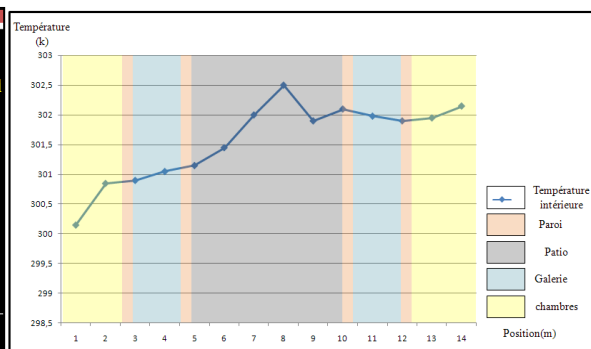


Fig.24 Variation de la température intérieure, au plan B.

La courbe de température est dans la zone de confort, elle affiche une diminution de température de 7.5°C, présentant des espaces ouvert vers les galeries, ces derniers sont des espaces de transition qui gardent les chambres à l'ombre.

4. Conclusions :

Le confort thermique, pour cette maison, se résume à travers les techniques et propriétés des matériaux de construction, à savoir l'inertie thermique, la résistance thermique, la conductivité thermique, à travers une typologie centrée autour du patio, jouant le rôle de puits d'air et de lumière, en une ventilation continue à travers les petites ouvertures assurant des températures douces et une bonne qualité de l'air.

Le profil des températures journalières affiche une courbe dans la zone de confort, avec une faible fluctuation de température entre le jour et la nuit (entre 4°C et 8°C). La température moyenne est de 29°C durant les périodes les plus chaudes avec un écart de température de près de 8°C par rapport à l'extérieur. C'est l'inertie thermique des matériaux qui permet de réduire les fluctuations de température au niveau des espaces. C'est ainsi, que le couple inertie-ventilation nocturne des espaces permet d'évacuer la chaleur emmagasinée durant la journée, permettant d'avoir des espaces plus confortables la nuit.

Donc, nous pouvons conclure que le choix judicieux de matériau pour l'enveloppe de la construction a un très grand rôle pour avoir un intérieur où le confort thermique serait réalisé.

D'autres facteurs sont à prendre en considération tels que la ventilation, l'orientation, les matériaux de constructions pour les murs, les planchers et les revêtements.

Références

- [1] Liébard, A. De Herde, *Traité d'Architecture et d'urbanisme bioclimatique : Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*, ed *Obser'er*, Paris, 2005, p 27.
- [2] Fernandez P & Lavigne P, *Concevoir des bâtiments bioclimatiques : Fondements et méthodes*, Ed *Le moniteur*, Paris, 2009, p93.
- [3] M. A. Eben Saleh, *Adobe as a thermal regulating material*, solar & wind technology, 1990.
- [4] MEDA corpus, A8 –Mur en terre banchée (Pisé) Algérie, Architecture traditionnelle méditerranéenne, pp 08-09, disponible sur : <http://www.meda-corpus.net>.
- [5] B.E.T :A.T.A.R, Phase II : Analyse et diagnostic, rapport écrit : Décembre 1997.