

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche**  
**Scientifique**  
**Université Ahmed Draïa Adrar**  
**Faculté Des Sciences et de la Technologie**  
**Département Des Sciences et de la Technologie**



Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme :

**Master en génie civil**

**Option : Matériaux**

**Présenté Par :**

**AMMOU Hammou**

**Thème**

**Étude Comparative entre le Béton et l'Argile dans les**  
**Constructions Habitables**

*Évaluation par le jury composé de :*

<b>Mr. HAMOUDA A.</b>	<b>Univ. Adrar</b>	<b>MAA</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mr. BADA A.</b>	<b>Univ. Adrar</b>	<b>MAA</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mr. OUDRANE A.</b>	<b>Univ. Adrar</b>	<b>MCA</b>	<b>Encadreur</b>

**Année Universitaire 2020-2021**

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République algérienne populaire et démocratique

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE AHMED DRAYA - ADRAR

BIBLIOTHÈQUE CENTRALE

Service de recherche bibliographique

N° .....B.C/S.R.B//U.A/2021



جامعة احمد دراية - ادرار

المكتبة المركزية

مصلحة البحث البليوغرافي

الرقم ..... م.م/م.ب.ب.ب.ج.أ/2021

## شهادة الترخيص بالإيداع

انا الأستاذ(ة): **OUDRANE Abdellatif**

المشرف مذكرة الماستر.

الموسومة بـ : **Étude Comparative entre le Béton et l'Argile dans les Constructions Habitables...**

من إنجاز الطالب(ة): **AMMOU Hammou**

و الطالب(ة):

كلية : **Sciences et de la Technologie (ST)**

القسم : **Sciences et de la Technologie (ST)**

التخصص : **Génie Civil**

تاريخ تقييم / مناقشة: **23/06/2021**

أشهد ان الطلبة قد قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة التقييم / المناقشة، وان المطابقة بين النسخة الورقية والإلكترونية استوفت جميع شروطها. وبإمكانهم إيداع النسخ الورقية (02) والإلكترونية (PDF).

- امضاء المشرف:

ادرار في :  
مساعد رئيس القسم:



الدكتور: **أودرن عبد اللطيف**  
أستاذ محاضر صنف "أ"  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
جامعة العقيد أحمد دراية - ادرار

le 105/07/2021

ملاحظة: لاتقبل أي شهادة بدون التوقيع والمصادقة.



# *Remerciement*

D'abord, louanges Tout à Allah pour nous avoir permis d'avoir les capacités physiques et mentales, me permettant de réaliser ce modeste mémoire, et nous l'implorons afin que notre travail soit couronné de succès.

J'adresse mes vifs remerciements à mon encadreur Dr. OUDRANE Abdellatif pour m'avoir encadré et apporté ses connaissances et son aide tout au long de mon recherche.

Tous mes remerciements et sincères gratitudees à Mr. HAMOUDA A. et Mr. BADA A. en tant que membres du jury d'avoir jugé ce travail.

Je remercie toute personne m'ayant aidé de près ou de loin pour l'achèvement de ce travail.

Mes remerciements à tous mes collègues de génie civil de l'université d'ADRAR.

Enfin un très grand merci à toute ma famille et à mes amis pour leur soutien moral !

Merci à tous !

## *Dédicace*

Je dédie ce modeste travail aux deux êtres qui me sont très chers dans cette vie, à savoir mon père et ma mère. Je te dis merci et mille fois merci maman pour ton éducation ta patience, ton courage et ton sacrifice pour moi.

Je leur dis merci papa du fond de mon cœur pour ton éducation, ton sacrifice, ton assistance et pour ce tu m'as fait et qui m'a permis d'avoir cette réussite et ce bonheur.

Avec toute ma fidélité et tout mon amour pour vous, mes parents, je ne pourrai jamais égaler votre mérite. A Mes chers frères : Abdallah et Ayoub A mes chères sœur: Wiaam, Zakia, Saida et Fadila.

A Toute ma famille A Toutes mes amis

# *Résumé*

Dans ce travail on procède à l'étude comparative entre le béton et l'argile comme matériaux de construction habitable. Cette étude est pour but d'étudier le comportement thermique d'une maison individuelle rurale à faible consommation d'énergie dans la région d'Adrar au sud de l'Algérie.

Pour atteindre cet objectif, nous avons commencé par la modélisation des transferts thermiques des écoulements fluidiques (le vent + paroi enveloppe de bâtiment.)

Un logiciel nous a permis de modéliser ces phénomènes physiques (Ansys-Fluent), il consiste à déterminer en tout point et à chaque instant les variables d'état représentatives de l'écoulement, soient : la température, le champ de vitesse, le champ de la pression.

Pour cela, nous avons résolu numériquement les équations de Navier-Stokes et de la chaleur qui régissent cet écoulement. Ces équations ont été discrétisées par une méthode implicite aux différences finies.

Ensuite, nous avons résolu, les bilans thermiques établis au niveau de chaque paroi de l'habitat et en tenant compte des échanges thermiques par convection, conduction et rayonnement. Les modèles ainsi élaborés ont été validés en utilisant des données climatiques mesurées récemment au niveau de l'unité de recherche en énergie renouvelable en milieu saharien d'ADRAR.

Les résultats obtenus dans le cadre de cette recherche ont montré que la matière de construction utilisée actuellement dans cette région représente une valeur ajoutée à la surchauffe indésirable au niveau de cette région désertique.

**Mots-clés :** Transfert thermique ; Thermique du bâtiment ; Chaleur ; Le confort thermique ; Modélisation thermique ; Argile.

## المخلص

يركز هذا العمل المنجز على التصميم والمحاكات العددية للطاقة الحرارية لغرفة سكنية تقع في جنوب الجزائر بالضبط منطقة أدرار.

والهدف الأساسي من هذه الدراسة هي المقارنة بين الخرسانة والطين كمواد بناء صالحة من ناحية انتقال الطاقة الحرارية من خلالها.

لتحقيق هذا الهدف، قمنا بتصميم غرفتين بواسطة برنامج التحليل الفيزيائي والمحاكات FLUENT الذي يسمح بتصميم التحولات الفيزيائية والحرارية التي تجري في البناء السكني مع الأخذ بعين الاعتبار كل أصناف التبادلات الحرارية الحاصلة بين داخل وخارج الغرفة السكنية.

تم حل النظام الناتج من المعادلات الجبرية من خلال المعادلات الحرارية لـ نافير ستوكس التي أنشئت في كل جدار من الغرفة السكنية مع الأخذ في الاعتبار التبادل الحراري عن طريق: الحمل الحراري، التوصيل والإشعاع.

وفي الأخير قدمنا تحليل وتفسير مفصل لمختلف النتائج التي تم الحصول عليها من برنامج المحاكات.

وقد أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن استخدام مادة الطين كمادة للبناء في هذه المنطقة تمثل قيمة مضافة من ناحية الحرارة المرتفعة الغير مرغوب فيها في هذه المنطقة على عكس مادة الخرسانة.

# *Abstract*

This work focuses on the numerical modelling of thermal behavior of a residential room located in a desert area, the goal of this study is to compare concrete and clay as building materials that are suitable in terms of the thermal behavior of the rural house in the Adrar region.

To achieve this goal, we have modelled two rooms through the Physical Analysis and Simulating Program (FLUENT) software that allows the modelling of all physical and thermal transformations taking place in the residential space, which is very similar to a parallel cavity of rectangles where we relied on the principles of thermal factors in each wall of residential space taking into account all types of thermal exchanges, in addition to other factors represented in the wind speed and pressure inside the residential space. In presenting this note, we figure out a detailed analysis of the various engineering and thermal parameters that have a direct impact on thermal comfort in residential space under special climatic conditions in this dry desert area.

The resulting system of algebraic equations was solved by the thermal equations of Navier Stokes. Then, we solved the thermal factors created in each of the residential rooms taking into account thermal exchange through thermal load, conduction and radiation ;we appeared a detailed analysis and explanation of the various geometric and thermal parameters on thermal comfort in the models.

The results we have obtained show that the use of clay as a building material in this area represents a good choice, unlike concrete.



# Table des Matières

Remerciements

Dédicace

Résumé

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Nomenclatures

<b>Introduction générale</b> .....	<b>1</b>
<b>I.Chapitre</b> .....	<b>3</b>
I.1 Introduction.....	4
I.2 Problématique et objectifs.....	4
I.3 Généralités sur transferts thermique du bâtiment : .....	5
I.3.1 Les différents modes de transferts : .....	6
I.4 Analyse et synthèse bibliographique .....	8
I.4.1 L'étude de Z. Fati, T. David Y. K., K. Barkwendé Jude, and O. Emmanuel, (2020) .....	8
I.4.2 L'étude de S. Naima, B. Lahcen, H. Hassan et B. Brahim, (2019).....	8
I.4.3 L'étude d'I. Kossi B, O. Emmanuel, S. Vincent, K. Florent P, O. Abdoulaye et B. Diendonné Joseph, (2018) .....	8
I.4.4 L'étude de B. Lahcen, B. Mustapha, H. Mustapha, B. Brahim et A. Fatima, (2017).....	9
I.4.5 L'étude de S. Naima, B. Lahcen, H. Hassan, (2016) .....	9
I.4.6 L'étude de O. Emmanuel, C. Ousmane, O. Abdoulaye et M. Adamah, (2015).....	9
I.5 Ambiance et confort thermique .....	10
I.5.1 Facteurs liés à l'état de la personne .....	11
I.5.2 Facteurs liés à l'environnement.....	11
I.6 Les propriétés thermiques.....	13
I.6.1 La chaleur spécifique (massique) (Cp) .....	13
I.6.2 Flux thermique .....	13
I.6.3 Conductivité thermique ( $\lambda$ ) .....	13
I.6.4 Diffusivité thermique (a).....	13
I.6.5 La température intérieure .....	14
I.7 Conclusion.....	15
<b>II.Chapitre</b> .....	<b>16</b>

II.1 Introduction .....	17
II.2 Description de la problématique .....	17
II.3 Dessin d'assemblage de système étudié.....	18
II.4 Dessin de définition de système étudié .....	19
II.5 Dimensionnement de système.....	20
II.6 Caractéristiques physiques et thermiques de système .....	21
II.7 Transfert thermique .....	21
II.7.1 Transfert par conduction .....	22
II.7.2 Transfert par convection .....	23
II.7.3 Transfert par rayonnement.....	23
II.8 Bref de définition sur la méthode numérique de la modélisation (méthode volume finis) .	25
II.9 Le modèle numérique de la problématique étudiée .....	26
II.9.1 Discrétisation des équations .....	26
II.9.2 Equation de continuité .....	26
II.9.3 L'équation de la quantité de mouvement .....	26
II.9.4 L'équation de conservation de l'énergie .....	27
II.10 Hypothèses de calcul .....	28
II.11 Formulation mathématique de Fluent.....	28
II.11.1 Les équations des domaines.....	28
II.11.2 Equation de transport du taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulente de modèle k- $\epsilon$ .....	29
II.11.3 Equation de transport de l'énergie cinétique turbulente k .....	30
II.11.4 Equation de transport du taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulente $\epsilon$ .....	30
II.11.5 Coefficients du modèle k- $\epsilon$ .....	31
II.12 Les conditions initiales du modèle numérique.....	31
II.12.1 Les conditions initiales :.....	31
II.12.2 Flux de chaleur moyen.....	32
II.13 Les conditions aux limites du modèle numérique .....	33
II.14 Résolution numérique.....	35
II.15 Conclusion .....	36
<b>III.Chapitre.....</b>	<b>37</b>
III.1 Introduction.....	38
III.2 La Simulation par FLUENT .....	38
III.2.1 Code de calcul .....	39
III.2.2 Maillage du domaine.....	40
III.2.3 Modèle de rayonnement (Solar load) .....	41

III.2.4 Stratégie de couplage entre FLUENT .....	42
III.2.5 Procédure de Résolution sous Fluent .....	42
III.3 La variation de température de l'enveloppe habitable en béton.....	43
III.3.1 La variation de température de la paroi nord .....	43
III.3.2 La variation de température de la paroi sud.....	44
III.3.3 La variation de température de la paroi est.....	44
III.3.4 La variation de température de la paroi ouest.....	45
III.3.5 La variation de température du plafond.....	46
III.3.6 La variation de température à l'intérieur .....	46
III.3.7 La variation de la température sur toute l'enveloppe habitable.....	47
III.4 La variation de température de l'enveloppe habitable en argile .....	48
III.4.1 La variation de température de la paroi nord .....	48
III.4.2 La variation de température de la paroi sud.....	48
III.4.3 La variation de température de la paroi Est .....	49
III.4.4 La variation de température de la paroi ouest.....	50
III.4.5 La variation de température du plafond.....	51
III.4.6 La variation de température à l'intérieur .....	51
III.4.7 La variation de la température Tous les murs et à l'intérieur .....	52
III.5 La variation de la Vitesse et le mouvement de l'air dans l'enveloppe habitable.....	53
III.6 Conclusion.....	53
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>54</b>
<b>Références et bibliographiques</b> .....	<b>55</b>

## Liste des figures

N° de figure	Titre de figure	Page
<b>Chapitre I</b>		
<b>Figure-I. 1</b>	Evolution des températures dans des bâtiments en fonction de saison	<b>06</b>
<b>Figure-I. 2</b>	Zones de confort thermique en fonction de la vitesse de l'air	<b>07</b>
<b>Figure-I. 3</b>	Diagramme bioclimatique Méthode de Givoni	<b>08</b>
<b>Figure-I. 4</b>	Transfert de chaleur dans le bâtiment	<b>09</b>
<b>Figure-I. 5</b>	Le transfert de chaleur par la conduction	<b>09</b>
<b>Figure-I. 6</b>	Le transfert de chaleur par la convection	<b>10</b>
<b>Figure-I. 7</b>	Le transfert de chaleur par Le rayonnement	<b>10</b>
<b>Figure-I. 8</b>	Le transfert de chaleur par l'évaporation-condensation	<b>11</b>
<b>Figure-I. 9</b>	Les éléments influençant sur la température intérieure	<b>13</b>
<b>Chapitre II</b>		
<b>Figure-II. 1</b>	Modèle géométrique de l'enveloppe	<b>02</b>
<b>Figure-II. 2</b>	Dessin de définition de l'enveloppe	<b>03</b>
<b>Figure-II. 3</b>	Dimensionnement de l'enveloppe	<b>04</b>
<b>Figure-II. 4</b>	Exemple du phénomène de conduction	<b>06</b>
<b>Figure-II. 5</b>	Exemple du phénomène de convection	<b>07</b>
<b>Figure-II. 6</b>	Exemple du phénomène de rayonnement	<b>08</b>
<b>Figure-II. 7</b>	Le modèle k-ε standard sous Fluent	<b>14</b>
<b>Figure-II. 8</b>	Domaine de calcul et conditions de fonctionnement	<b>17</b>
<b>Figure-II. 9</b>	Exemples de différentes conditions aux limites	<b>18</b>
<b>Chapitre III</b>		
<b>Figure-III. 1</b>	Interface dans le logiciel Ansys-Workbench	<b>38</b>
<b>Figure-III. 2</b>	Types de maillages utilisés sur "FLUENT"	<b>39</b>

<b>Figure-III. 3</b>	Maillage utilisé dans l'étude par la méthode de volumes finis	<b>39</b>
<b>Figure-III. 4</b>	Solar calculator	<b>40</b>
<b>Figure-III. 5</b>	Illustration du couplage temporel (FLUENT fonctionne à certains moments spécifiques).	<b>40</b>
<b>Figure-III. 6</b>	La variation de la température de la paroi nord d'habitation en béton	<b>42</b>
<b>Figure-III. 7</b>	La variation de la température de la paroi sud d'habitation en béton	<b>43</b>
<b>Figure-III. 8</b>	La variation de la température de la paroi est d'habitation en béton	<b>43</b>
<b>Figure-III. 9</b>	La variation de la température de la paroi ouest d'habitation en béton	<b>44</b>
<b>Figure-III. 10</b>	La variation de la température du plafond d'habitation en béton	<b>45</b>
<b>Figure-III. 11</b>	La variation de la température à l'intérieur d'habitation en béton	<b>45</b>
<b>Figure-III. 12</b>	La variation de la température sur toute l'enveloppe habitable (béton)	<b>46</b>
<b>Figure-III. 13</b>	La variation de la température de la paroi nord d'habitation en argile	<b>47</b>
<b>Figure-III. 14</b>	La variation de la température de la paroi sud d'habitation en argile	<b>48</b>
<b>Figure-III. 15</b>	La variation de la température de la paroi est d'habitation en argile	<b>48</b>
<b>Figure-III. 16</b>	La variation de la température de la paroi ouest d'habitation en argile	<b>49</b>
<b>Figure-III. 17</b>	La variation de la température du plafond d'habitation en argile	<b>50</b>
<b>Figure-III. 18</b>	La variation de la température à l'intérieur d'habitation en argile	<b>50</b>
<b>Figure-III. 19</b>	La variation de la température sur toute l'enveloppe habitable (argile)	<b>51</b>
<b>Figure-III. 20</b>	Evaluation de la Vitesse et voies respiratoires à l'intérieur dans l'enveloppe	<b>52</b>

## Liste des tableaux

N° de tableau	Titre de tableau	Page
Chapitre 2		
<b>Tableau -II. 1</b>	Les Propriétés physico-chimique de L'air et béton	<b>05</b>
<b>Tableau -II. 2</b>	Les Propriétés physico-chimique de L'air et béton	<b>05</b>
<b>Tableau -II. 3</b>	Les Propriétés physico-chimique de L'argile	<b>05</b>
<b>Tableau -II. 4</b>	Constantes du modèle RNG k-ε	<b>14</b>
<b>Tableau -II. 5</b>	les conditions initiales de domiens de calcul	<b>17</b>

## Nomenclature

$\rho$ : masse volumique .....	(kg/m <sup>3</sup> )
m: masse .....	(Kg)
T : Temps .....	(s)
T : température .....	(°C, K)
$\lambda$ : Conductivité thermique .....	(W/m.K)
CP: Chaleur spécifique .....	(kJ/m <sup>3</sup> .K), (J/kg.K)
C : capacité thermique .....	(J/K)
$\phi$ : Flux thermique .....	(w)
$\Phi$ : densité de flux .....	(W/m <sup>2</sup> )
a: diffusivité thermique .....	(m <sup>2</sup> /s)
e: Epaisseur d'échantillon.....	(cm)
Ta : température de l'ambient.....	(°C)
A :aire des faces d'échantillon.....	(m <sup>2</sup> )
q : Terme de source.....	[W.m <sup>-3</sup> ]
$\lambda_i$ : Conductivité thermique.....	[W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
T : Température dans le matériau.....	[K]
$q_{\text{cond}}$ : Densité du flux thermique.....	[W.m <sup>-2</sup> ]
x : espace.....	[m]
h : Coefficient d'échange thermique superficiel .....	(W.m <sup>-2</sup> . K <sup>-1</sup> )
G :Rayonnement global.....	W.m-2
g :Accélération de la gravité.....	(9.8m.s-2 )
I: Intensité du rayonnement direct.....	W.m-2 d

# **Introduction Générale**

Au cours des dix dernières années, nous avons assisté à un véritable engouement autour des actions en faveur de la haute qualité environnementale. En effet, le secteur du bâtiment résidentiel et tertiaire est l'un des secteurs le plus consommateur d'énergie. Cependant, les bâtiments et les maisons individuelles sont conçus pour jouer un rôle de filtre thermique permettant de recréer un microclimat intérieur indépendant des fluctuations météorologiques extérieures. La forme, l'orientation, l'agencement et la composition des éléments constitutifs déterminent les caractéristiques de ce filtre. Les ambiances intérieures ne répondant pas toujours aux exigences du confort des occupants, la réponse de l'habitat est corrigée par des appareils de climatisation ou du chauffage agissant comme des sources contrôlées de chaleur ou de froid, et ayant parfois un effet sur les conditions de confort [16].

Dans les milieux bâtis, le confort thermique constitue une exigence essentielle à laquelle le concepteur doit apporter les réponses nécessaires. La définition du confort thermique est ainsi d'une grande importance pour le bâtiment afin de lui permettre d'atteindre ses objectifs de fonctionnalité tout en justifiant, à tort ou à raison, l'installation des équipements d'ambiance (chauffage, ventilation et climatisation) [1].

Les bâtiments sont conçus pour jouer un rôle de filtre thermique permettant de recréer un microclimat intérieur indépendant des fluctuations météorologiques extérieures la forme, l'orientation, l'agencement et la composition des éléments constitutifs déterminent les caractéristiques de ce filtre, les ambiances intérieures ne répondant pas toujours aux exigences de confort des occupants, la réponse du bâtiment est corrigée par des appareils de climatisation agissant comme des sources contrôlées de chaleur ou de froid, et ayant parfois un effet sur les taux d'humidité[1].

Les normes de confort sont encore relativement frustrées : une consigne de température résultante moyenne à respecter pendant la période de chauffage, une température qu'il est recommandé de ne pas dépasser trop souvent pendant la saison chaude, ces contraintes sont quelquefois affinées dans des cahiers des charges particuliers, notamment lorsqu'il s'agit de bâtiments à usage individuelle, dans tous les cas, les appareils de climatisation consomment de l'énergie et entraînent de ce fait des coûts de fonctionnement qui peuvent être très élevés. Ils n'arrivent d'ailleurs pas



toujours à redresser complètement une mauvaise conception architecturale, des périodes d'inconfort pouvant subsister, nous en avons tous fait l'expérience un jour ou l'autre. Les modèles décrivant le comportement thermique dynamique des bâtiments permettent de mieux comprendre et concevoir l'enveloppe passive en vue d'obtenir de moindres consommations énergétiques et un plus grand confort, de prédire la réponse du bâtiment à des situations extrêmes afin de dimensionner les installations et, enfin, d'aider à mettre au point de nouveaux systèmes ou stratégies de contrôle[1].

Le souci de rationaliser le recours à des énergies coûteuses et de concevoir des bâtiments plus confortables a amené les différents acteurs du processus de conception et de gestion des bâtiments à chercher à en mieux connaître et maîtriser le comportement, en se basant sur l'optimisation énergétique des paramètres géométriques tel que, comme matériaux de construction habitable (l'argile) l'épaisseur des parois [16].

Dans la premier chapitre présente une étude préliminaire sur l'état de l'art et développement du bâtiment et une étude bibliographique des différentes recherches, nous présentons une revue bibliographique sur les différentes méthodes employées dans la littérature pour la détermination des propriétés thermophysiques des matériaux, présentées dans la littérature, de l'évaluation des bilans thermiques des bâtiments en contact avec le sol, des transferts de chaleur couplés par convection, conduction et/ou rayonnement ainsi que de la caractérisation thermophysique des matériaux.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons les équations qui régissent le phénomène de transfert de chaleur en régime turbulent d'un four. Les hypothèses simplificatrices ainsi que les conditions aux limites et initiales de toutes les frontières du domaine. La modélisation des écoulements fluidiques consiste à déterminer en tout point et à chaque instant les variables d'état représentatives de l'écoulement, soient : La température - Le champ de vitesse - la pression.

Dans le troisième chapitre, nous présentons les analyse des échanges thermiques dans l'habitat, va nous permettre d'évaluer une solution technique et/ou architecturale, on obtient les valeurs prises par un certain nombre de variables d'observation (températures d'air, températures de surface des parois, etc.) nous allons, ainsi analyser directement comment les courbes d'évolution des températures intérieures et extérieures sont influencées par les caractéristiques géométriques et physiques l'enveloppe habitable [16].

Cette analyse numérique va nous permettre de prévoir le dimensionnement de l'enveloppe habitable chauffé et le respect de critères de confort thermique.

# **Chapitre I**

## **État de l'art sur la thermique des bâtiments**

## **I.1 Introduction**

L'objectif de ce premier chapitre consiste à réaliser un état des lieux des connaissances scientifiques accumulées sur la thermique des bâtiments, et à proposer une démarche pouvant constituer un apport scientifique. Dans un premier temps, on présente les Généralités sur transferts thermique dans lesquels se situent les travaux de la mémoire, et synthèse bibliographique.

Dans deuxième temps, nous passerons à définir les termes et phénomènes qui portent l'explication de l'efficacité énergétique pour comprendre leurs fondements.

## **I.2 Problématique et objectifs**

La compréhension du concept climatique représente un élément crucial dans la conception de l'espace habité, l'exemple du climat méditerranéen qui est caractérisé par une combinaison des valeurs élevées de température et d'humidité de l'air qui peut produire des conditions inconfortables en période d'été, des stratégies adéquates sont nécessaires afin de créer une symbiose parfaite avec l'environnement.

Notre travail s'intéresse à l'étude comparative entre le béton et l'argile comme matériaux de construction habitable. Cette étude est pour but d'étudier le comportement thermique d'une maison individuelle rurale à faible consommation d'énergie dans la région d'Adrar au sud de l'Algérie .

L'habitat est un volume d'air de forme parallélépipédique limité par des parois planes horizontales et verticales. Les murs sont les seuls éléments capacitifs de l'enceinte. Ils sont couplés thermiquement par convection et rayonnement et sont le siège d'un flux conducteur. Les façades extérieures de l'enceinte sont le siège d'un flux convectif avec l'air extérieur et d'échanges radiatifs avec l'environnement (sol et ciel).

Les éléments qui composent un habitat incluent de nombreux matériaux de construction aux comportements thermiques différents comme le Béton et l'Argile quelle que soit la forme canonique du modèle thermique, il est important de réduire le modèle en temps et en espace pour correspondre au plus juste au problème posé, les données requises ont été extraites des données climatiques de l'Unité de recherche sur les énergies renouvelables dans le désert (URERMS) d'ADRAR.

L'étude est menée par la construction de deux enveloppes de bâtiment 3D, un enveloppe en béton et un enveloppe en argile à l'aide d'un programme de simulation appelé Ansys-Workbench, nous simulons le programme pour voir comment la chaleur

est transférée de l'extérieur à l'intérieur de la pièce par l'impact du vent, l'humidité et la quantité de rayonnement thermique, comment elle affecte la température de l'air à l'intérieur d'une maison sub-saharienne et les résultats que nous obtenons nous permettent d'étudier le comportement thermique d'une maison rurale indépendante avec une faible consommation d'énergie.

### I.3 Généralités sur transferts thermique du bâtiment :

Lorsque deux systèmes sont à des températures différentes, le système le plus chaud à de la chaleur au plus froid, il y a échangé thermique ou encore transfert thermique entre ces deux systèmes, cette situation se rencontre dans de nombreuses situations industrielles (moteurs thermiques ou même électriques, centrales électriques au fuel au gaz ;

Electronique) ou domestique (chauffage de l'habitat), Un transfert d'énergie donne lieu à un flux de chaleur qui correspond à un déplacement de l'énergie du plus chaud vers le plus froid, comme on le verra par la suite, le flux de chaleur dont la densité locale est notée  $\sim \phi$  est une grandeur vectorielle, ce qui signifie qu'un flux de chaleur est caractérisé non seulement par son intensité mais aussi par sa direction l'échange de chaleur dans le bâtiment effectue selon les quatre modes qui se produisent au niveau de l'enveloppe : la conduction, la convection, le rayonnement et L'évaporation-condensation [2].

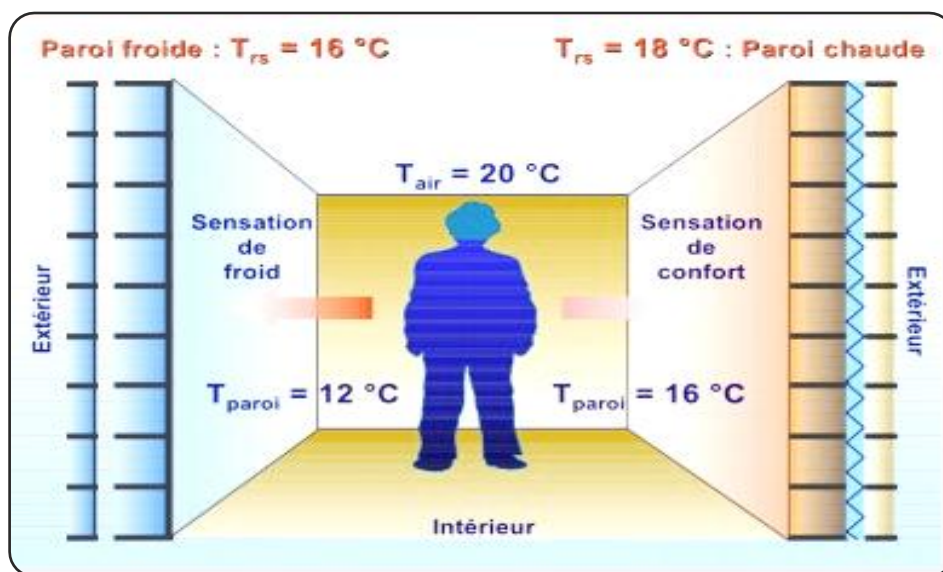


Figure-I. 4 : Transfert de chaleur dans le bâtiment [2].

## I.3.1 Les différents modes de transferts :

### I.3.1.1 La conduction :

C'est la transmission d'énergie de proche en proche dans la partie solide d'un matériau. La chaleur se transmet par contact, du milieu le plus chaud vers le milieu le plus froid. En hiver, la chaleur émise dans une pièce va se transmettre à l'enveloppe du bâtiment par contact et se dissiper progressivement vers l'extérieur [3].

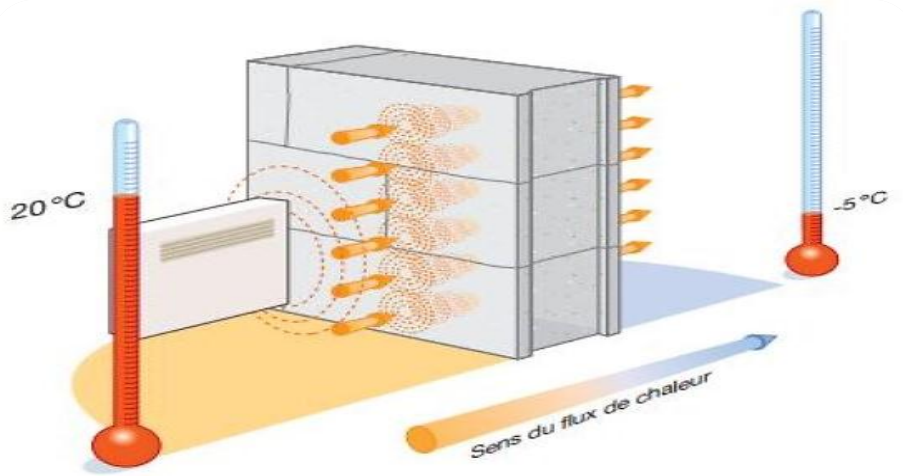


Figure-I. 5 : Le transfert de chaleur par la conduction [3].

### I.3.1.2 La convection :

C'est le Transport de chaleur (naturel ou forcé) de matières chaudes vers une zone froide ou vice versa [3].

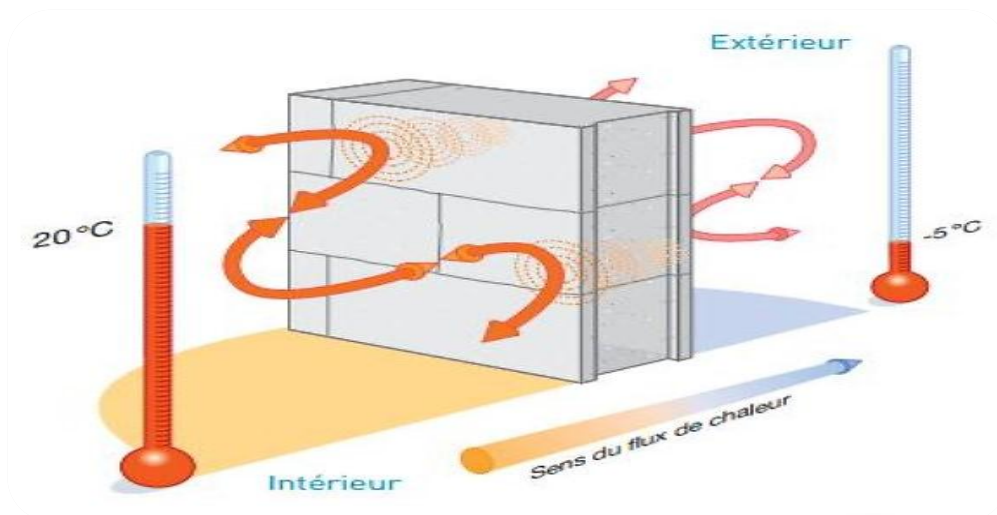


Figure-I. 6 : Le transfert de chaleur par la convection [3].

## ***1.3.1.3 Le rayonnement :***

Ou transport de chaleur par émission et absorption de rayonnement électromagnétique par les surfaces des corps [3].

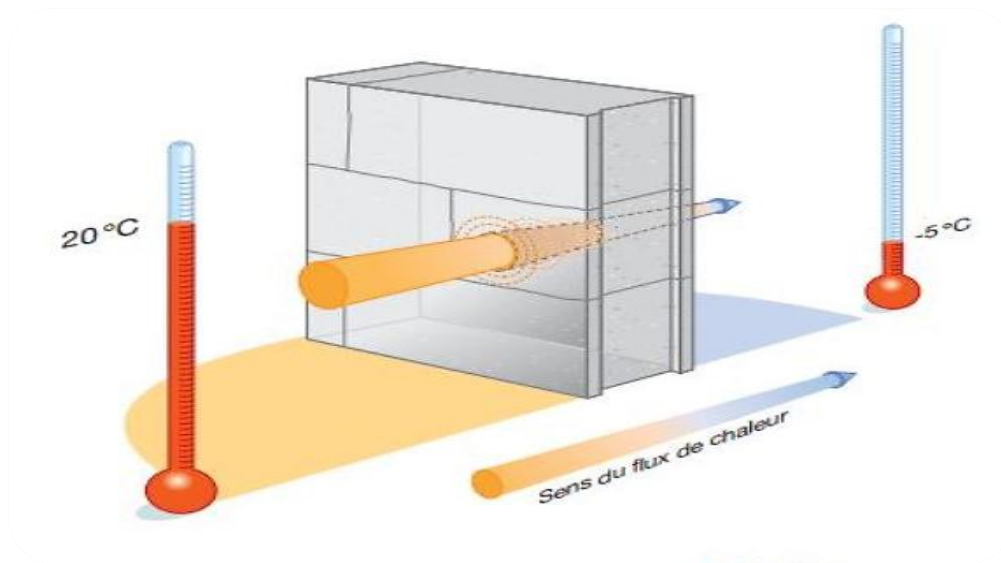


Figure-I. 7 : Le transfert de chaleur par Le rayonnement [3].

## ***1.3.1.4 L'évaporation-condensation :***

La chaleur cédée à un matériau pour l'évaporer est restituée à la surface sur laquelle la vapeur se condense [3].

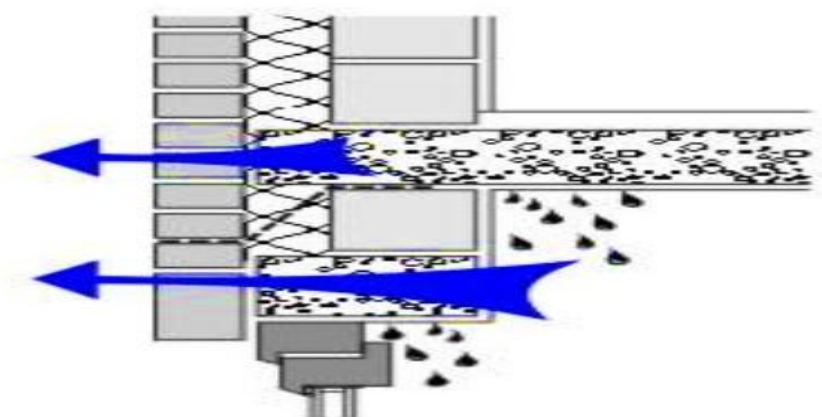


Figure-I. 8 : Le transfert de chaleur par l'évaporation-condensation [3].

### I.4 Analyse et synthèse bibliographique

Compte tenu des exigences des matériaux de construction modernes de cout élevés et de consommation importants d'énergies, les spécialistes sont allés à la construction en terre et l'utilisation des matériaux locaux avec les derniers développements technologiques qu'il a connus au cours des dernières années (2015-2020).

▪ **Z. Fati, T. David Y. K., K. Barkwendé Jude, et O. Emmanuel 2020 :**

Ils conclure que le bâtiment de la voûte nubienne offre un éclairage insuffisant à l'intérieur et donc le confort visuel n'est pas parvenu. Cependant, du point de vue du confort thermique du bâtiment étudié, le les températures de fonctionnement calculées se situent dans zone de confort thermique du diagramme de Givonni, mais l'humidité relative dans les pièces devient adéquate pour le confort thermique lorsque la persienne les ouvertures sont isolées pour limiter l'infiltration de rayons solaires et air extérieur [10].

▪ **S. Naima, B. Lahcen, H. Hassan et B. Brahim 2019:**

Ils conclure que l'effet des types de climat sur le comportement thermique des eaux peu profondes sous-sol par rapport au bâtiment au-dessus du sol indique que les charges thermiques au sous-sol sont très faibles par rapport au bâtiment hors sol dans toutes les zones climatiques, sauf en atlantique climat, par conséquent, dans les climats froids et désertiques. C'était aussi montré que le sous-sol peu profond est bénéfique dans le semi-aride climat et dans les climats continentaux et méditerranéens comparé avec la demande énergétique du bâtiment hors sol, enfin, dans le climat atlantique, le contact au sol n'a pas tout effet positif sur le confort thermique du sous-sol peu profond [11].

▪ **Kossi B, O. Emmanuel, S. Vincent, K. Florent P, O. Abdoulaye et B.**

**Diendonné Joseph 2018 :**

Les résultats indiquent que les valeurs du thermique la conductivité diminue lorsque le taux de nere pod est riche en latérite. Les valeurs du thermique l'effusivité et celles de la conductivité thermique du mélange (argile plus ciment) diminue lorsque le taux de néré pod augmente les résultats provenant de cette simulation indiquent que le le déphasage thermique augmente à mesure que le la conductivité diminue et l'épaisseur du mur augmente. Le facteur de décrémentation diminue lorsque la conductivité thermique diminue et lorsque l'épaisseur du mur est importante. Le la température de l'air intérieur d'une maison est stable lorsque le décalage thermique est élevé et la décrémentation le facteur est faible [12].

- **B. Lahcen, B. Mustapha, H. Mustapha, B. Brahim et A. Fatima 2017 :**

Les résultats expérimentaux sur l'évolution de la conductivité thermique avec la teneur en eau des panneaux à mailles DPF et des composites MDPF ont été adaptés aux modèles théoriques disponibles dans la littérature les meilleures correspondances se sont avérées être celles de Chaudhary-Bhandari pour panneau sans liant de DPF. Il a été conclu que l'ajout de DPF maillage au mortier modifier la disposition spatiale de l'individu phases de l'arrangement presque parallèle prédit par le modèle de Krischer Kroll à l'arrangement aléatoire prédit par le modèle de Woodside messmer. Les meilleurs modèles d'ajustement ont permis d'identifier les valeurs des conductivités thermiques intrinsèques du DPF [13].

- **S. Naima, B. Lahcen, H. Hassan 2016 :**

L'étude de l'effet de l'épaisseur du mur et le type de mur montre qu'il y a une différence de moins de 1 ° C entre les différentes situations étudiées (épaisseur et type de mur). On peut donc en conclure que le type de mur et son épaisseur ont peu d'influence sur la température intérieure de la cave [14].

En conclusion, on en déduit que le semi-enterré le bâtiment réduit les charges de refroidissement et de chauffage grâce à la stabilisation de la température interne, d'autre part, les caractéristiques thermiques du sol ont une grande influence sur la température à l'intérieur du bâtiment par rapport au type et épaisseur des murs [14].

- **O. Emmanuel, C. Ousmane, O. Abdoulaye et M. Adamah 2015 :**

A travers les expériences menées la stabilisation de la terre au papier et/ou au ciment a une influence notable sur les propriétés mécaniques et thermo physiques des blocs comprimés. Les résistances en compression et à la flexion ont été améliorées avec l'ajout des stabilisants et nous notons une augmentation importante pour les briques stabilisées au ciment et au ciment-papier [15].

En considérant les propriétés mécaniques et thermo physiques, les blocs stabilisés au papier et au ciment présentent les meilleurs avantages. Ils ont les plus grandes résistances à la compression (environ 8 MPa) et à la flexion à trois points (1,132MPa), de faibles conductivités thermiques (0,588 W.m-1. K-1) et de masses volumiques faibles [15].



### I.5 **Ambiance et confort thermique**

Nous appelons proposition d'ambiance l'unité suffisante pour formaliser une propriété d'ambiance associée à un objet du projet, pour une plage temporelle définie une proposition est un triplé  $p : (s, a, t)$  formé par : s) un objet support, a) une caractérisation d'ambiance et, t) une plage temporelle ; elle se lit comme suit : l'objet support vérifie la caractérisation d'ambiance pour la plage temporelle détaillons chacun de ces éléments [2].

Le confort désigné, on le sait, à la fois un état psychophysiologique favorable l'épanouissement d'un être humain mais aussi un ensemble de dispositifs, d'équipements et de commodités qui répondent à l'attente d'une population donnée C'est la première dimension relative du confort[3].

Aussi, Jean-François Augoyard propose des éléments de définition formelle du concept ambiance où il a rassemblé un ensemble d'attributs déterminant l'essence de ce concept, qui sont d'ordre : physique, psycho-sociologie, architectural et interdisciplinaire

- ▶ Physique : les signaux physiques de la situation sont repérables et décomposables.
- ▶ Psycho-sociologie : ces signaux interagissent avec.
  - La perception, les émotions et l'action des sujets.
  - Les représentations sociales et culturelles.
- ▶ Architecture : ces phénomènes composent une organisation spatiale construite.
- ▶ Interdisciplinarité : le complexe (signaux/percepts/représentations) [4].

Plusieurs chercheurs ont proposé des valeurs de température intérieure correspondant le mieux aux critères du confort thermique comme Heschong en 1979 qui a déterminé un intervalle de température entre 14-21 °C pour la Grande Bretagne le Psychologue Rohles et A Ackermann qui ont conclu que la température de confort est de 18 °C[5] .

Cela d'après une étude statistique conduite sur 40 ans de recherche et d'observation le confort thermique est lié à plusieurs facteurs environnementaux tels que la température de l'air, le rayonnement solaire, l'humidité relative et les facteurs liés à l'individu tels que l'activité physique et le niveau d'habillement, etc [5].

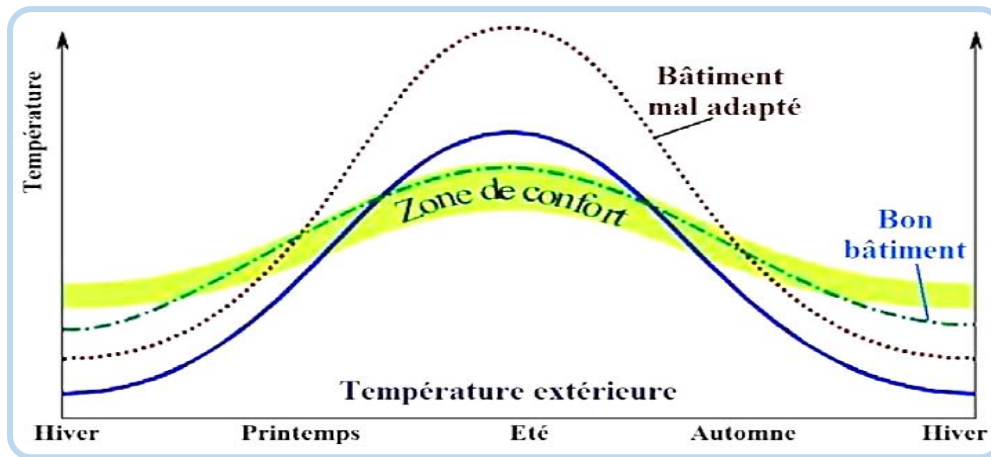


Figure-I. 1 : Evolution des températures dans des bâtiments en fonction de saison [6].

Le confort thermique est un état de bien-être général et stable Il est mesuré à contrario par le taux d'insatisfaction des occupants. Il est subjectif et se diffère d'une personne à une autre selon le métabolisme, le sexe, l'âge, l'habillement, l'activité produite ..., ainsi que la zone climatique [6].

## I.5.1 Facteurs liés à l'état de la personne

La température de l'air influe sur les échanges par convection qui est considéré comme l'un des termes principaux du bilan thermique. Dans une pièce, la température de l'air intérieur n'est pas uniforme et une stratification thermique peut se produire dans la pièce engendrant l'inconfort [5].

## I.5.2 Facteurs liés à l'environnement

### I.5.2.1 Température de l'air et température opérative

La température de l'air influe sur les échanges par convection qui est considéré comme l'un des termes principaux du bilan thermique dans une pièce, la température de l'air intérieur n'est pas uniforme et une stratification thermique peut se produire dans la pièce engendrant l'inconfort [5].

La température opérative permet de définir la température du confort thermique, qui prend en compte l'effet de la convection et du rayonnement Elle est exprimée par la relation suivante :

### I.5.2.2 Humidité relative

Elle représente la quantité de vapeur d'eau qui se trouve dans 1 kg l'air. L'humidité relative a un effet significatif sur la sensation du confort thermique de l'occupant, elle doit être comprise entre 30% et 70% pour éviter l'inconfort [5].

## 1.5.2.3 La vitesse de l'air

La vitesse de l'air est un paramètre important sur le confort thermique, car elle influe sur les échanges de chaleur par convection. A l'intérieur des bâtiments, on considère généralement que le confort thermique des occupants est assuré tant que la vitesse de l'air ne dépasse pas 0.2m/s. Le tableau I.2 présente les exigences du confort thermique en fonction du type des lieux [5].

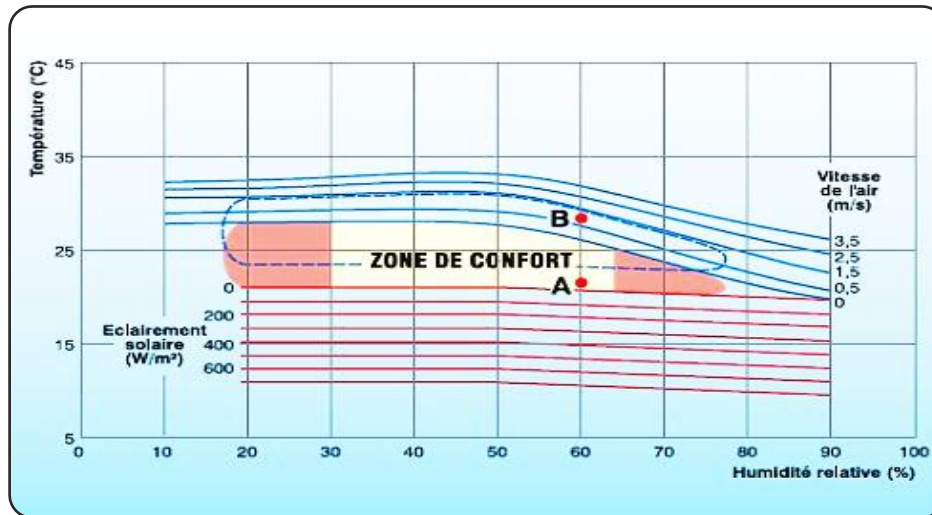


Figure-I. 2 : Zones de confort thermique en fonction de la vitesse de l'air [5].

## 1.5.2.4 Diagramme bioclimatique de Givoni

La figure I.3 présente un diagramme psychrométrique élaboré par B. Givoni dont il représente les limites des ambiances confortables. La figure I. 3 montre que la zone de confort est située entre la plage de température de 20 à 26 °C. L'aire extérieure à cette zone est subdivisée en zones secondaires, où il propose des procédures permettant de réintégrer les conditions de confort [7].

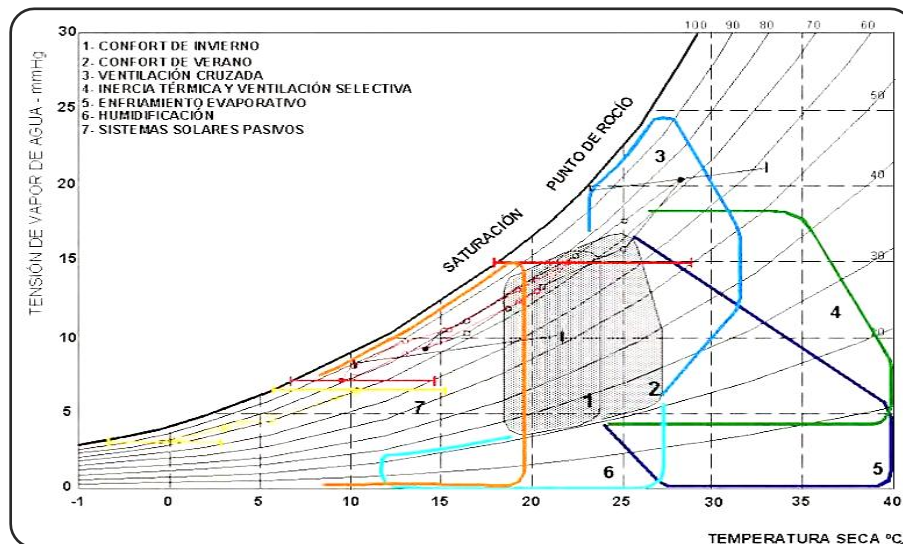


Figure-I. 3 : Diagramme bioclimatique Méthode de Givoni [7].

## I.6 Les propriétés thermiques

### I.6.1 La chaleur spécifique (massique) ( $C_p$ )

La chaleur spécifique est déterminée par la quantité d'énergie à apporter par échange thermique pour élever d'un kelvin la température de l'unité de masse d'une substance. Cette quantité d'énergie est absorbée ou restituée par des réactions endothermiques ou exothermiques pour des transformations physiques chimiques dans le matériau. La chaleur spécifique calculé à partir à la relation[9].

### I.6.2 Flux thermique

Le flux thermique est la quantité d'énergie thermique qui traverse une surface isotherme par unité de temps, Le flux s'exprime en watt (W) ou en calorie par seconde (cal/s) [9].

### I.6.3 Conductivité thermique ( $\lambda$ )

La conductivité thermique est le flux de chaleur traversant un matériau d'épaisseur un mètre, pour une différence de température de 1K entre les deux faces entrante et sortante, elle s'exprime en  $w \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ , sa valeur permet de quantifier le pouvoir du matériau à conduire la chaleur (en termes d'amplitude) [9].

### I.6.4 Diffusivité thermique ( $a$ )

La diffusivité thermique est une propriété dynamique du matériau car elle intervient dans Les transferts en régime transitoire de température elle caractérise l'aptitude d'un matériau à transmettre la chaleur (en terme de vitesse) elle s'exprime en  $m^2/s$  [9].

## I.6.5 La température intérieure

La thermique du bâtiment est liée à plusieurs paramètres. La première typologie est représentée par les facteurs intrinsèques qui sont relatifs aux bâtiments, à titre d'exemple on cite la forme architecturale, l'orientation, protection solaire, isolation thermique, inertie thermique, et qui sont connus aussi sous le nom "les facteurs architecturaux", les autres paramètres sont extrinsèques comme la latitude (c'est-à-dire la quantité du rayonnement solaire), la nature d'occupation de l'espace par les usagers, les apports solaires... Se sont généralement les facteurs climatiques ou les sources de la chaleur [1].

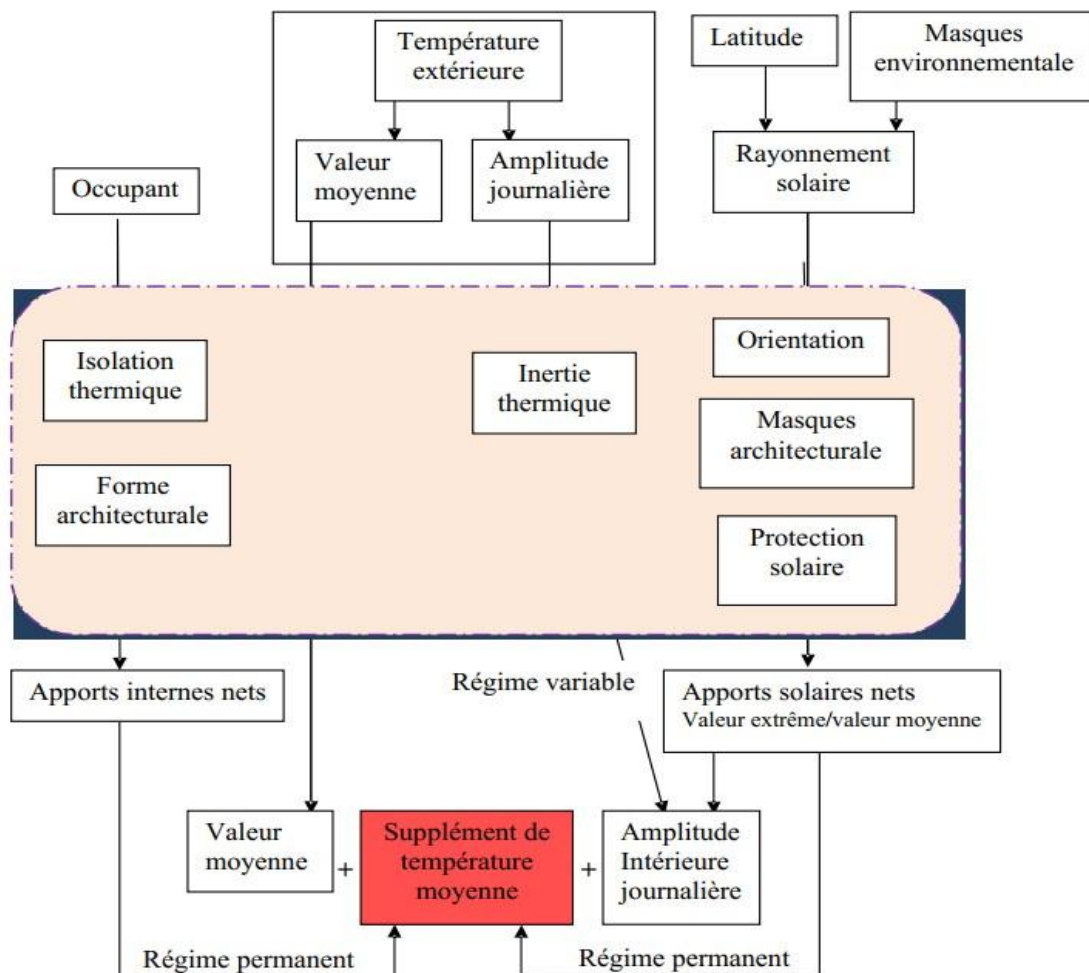


Figure-I. 9 : Les éléments influençant la température intérieure

Source : Izard JL, 1993, p : 21

### **I.7 Conclusion**

En conclusion, nous pouvons déduire d'après la synthèse bibliographique que nous avons utilisée dans ce premier chapitre que l'état du confort des habitants envers leurs environnements thermiques dépend de l'interaction entre plusieurs facteurs physiques, physiologiques.

Et en Algérie dans la région d'Adrar, le secteur du bâtiment est le secteur le plus énergivore. Sa consommation représente plus de 42% de la consommation finale. dans Le chapitre qui suit, nous essayons de développer cette thématique pour l'Algérie et de comprendre les actions de maîtrise de l'énergie et d'efficacité énergétique proposée pour ce secteur portant notamment sur l'argile comme matériaux de construction habitable qui permettront de réduire la consommation d'énergie liée au chauffage et à la climatisation des logements.

# **Chapitre II**

## **Modélisation numérique de transfert thermique du bâtiment**

### **I.8 Introduction**

Ce chapitre est consacré à l'étude de l'efficacité énergétique dans un volume d'air étudié par un modèle mathématique ; différents niveaux de finesse de modélisation peuvent être retenus.

Dans le cadre de la présente étude, la méthodologie mise en œuvre permet de résoudre les équations de Navier-Stokes à l'ordre des modèles de calcul fins issus de la dynamique des fluides.

### **I.9 Description de la problématique**

Notre travail s'intéresse à l'étude comparative entre le béton et l'argile comme matériaux de construction habitables, cette étude vise à étudier le comportement thermique d'une maison rurale séparée à faible consommation d'énergie dans la région d'Adrar dans le sud de l'Algérie.

Pour atteindre cet objectif ,nous allons créer deux enveloppes sous le programme de simulation numérique (Ansys-Workbench FLUENT).

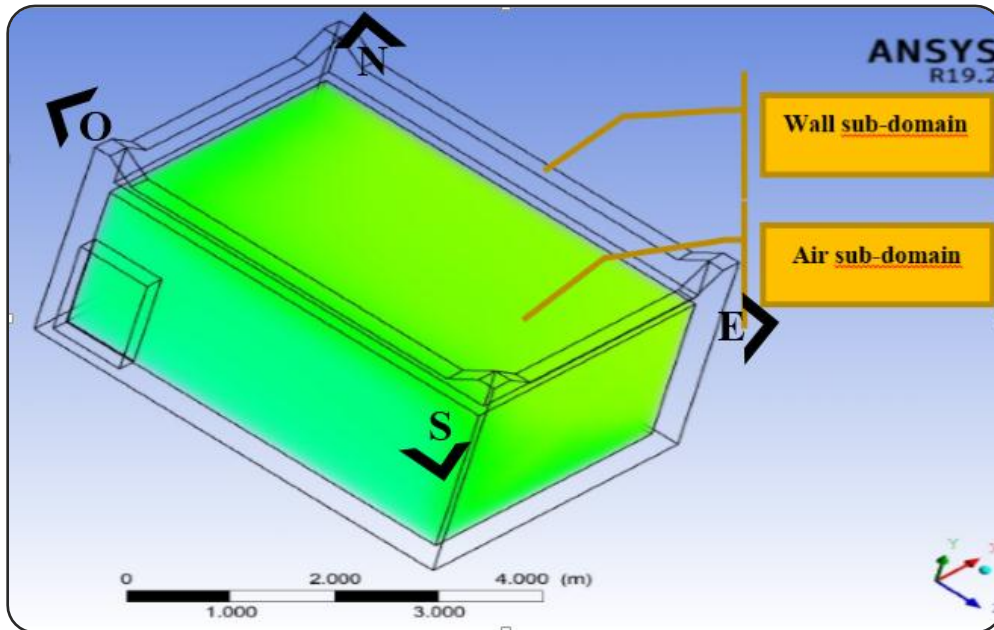
L'un enveloppe en béton et l'autre en argile chacune d'elles indépendante de l'autre, et puis nous les exposons à la chaleur externe de  $46^{\circ}$  et que pendant la journée de 13h00 à 17h00(Période du bouton à la température).

Après les simulations, nous extrayons les résultats sous la forme d'une courbe, afin de connaître la température des faces externes des parois, ainsi que la température de l'air interne de chacun enveloppe.



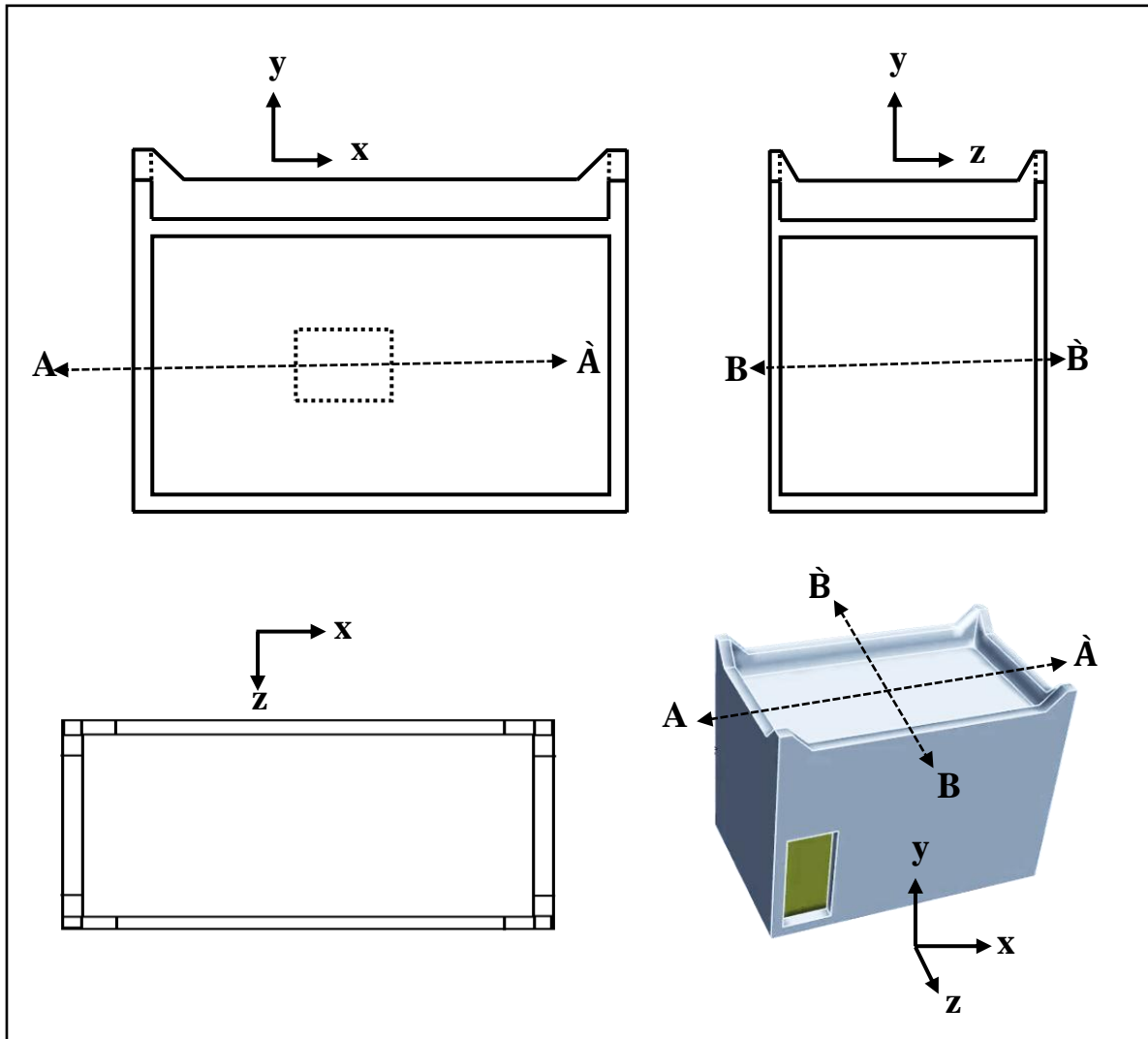
### I.10 Dessin d'assemblage de système étudié

L'enveloppe se compose de deux domaines, le premier domaine en béton et le second est l'air à l'intérieur et à l'extérieur de l'enveloppe.



**Figure II. 1 : Modèle géométrique de l'enveloppe.**

**I.11 Dessin de définition de système étudié**



**Figure II. 2 : Dessin de définition de l'enveloppe.**

### I.12 Dimensionnement de système

La surface de cette enveloppe est de  $18,36\text{m}^2$ , 5,4m de long, 3,4m de large, 3,4m de hauteur, fenêtre 0,8 m de longueur et 1 m de largeur, porte 1,9 m de longueur 0,9 m de largeur, l'épaisseur du mur est de 0,2m.

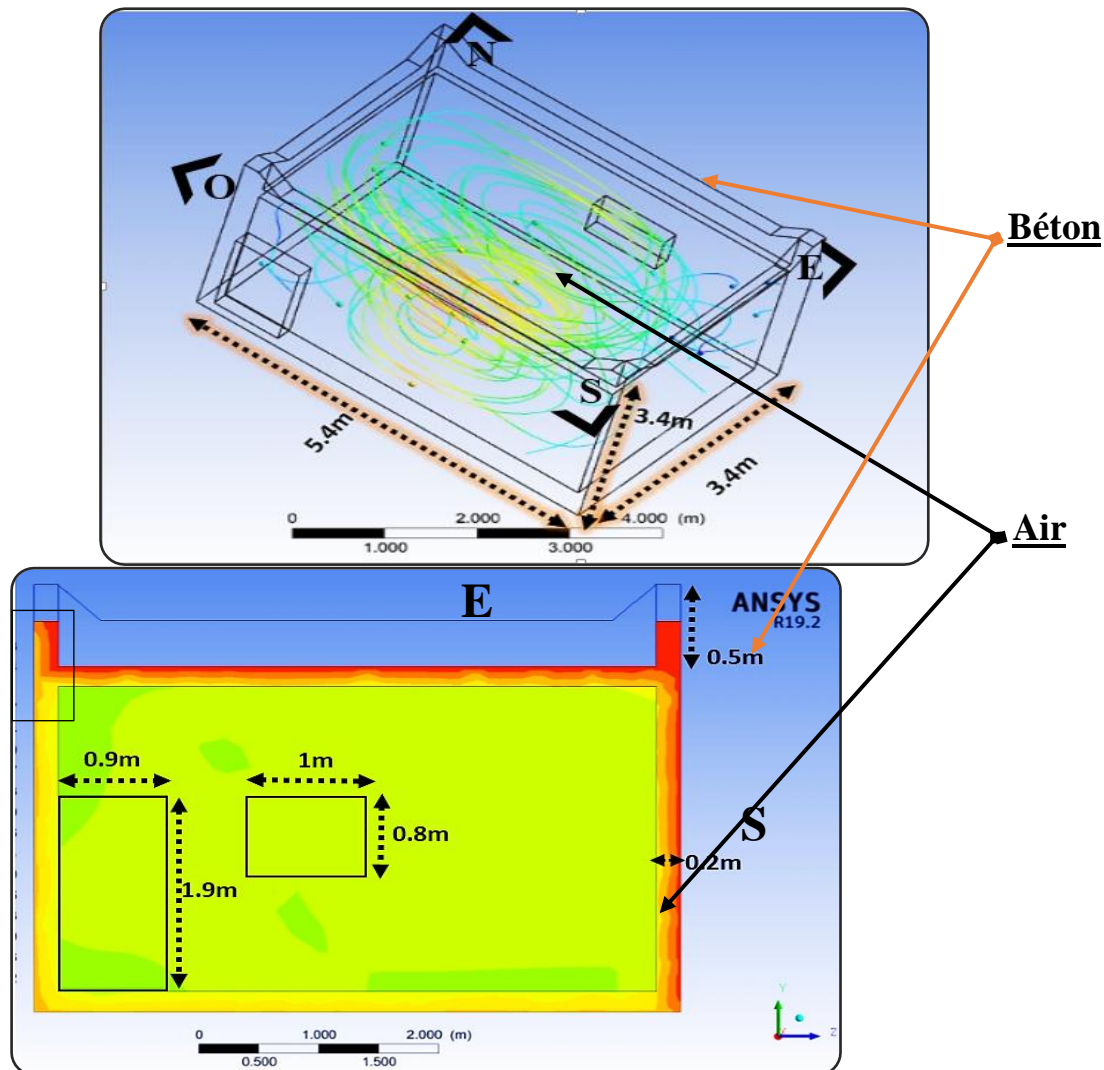


Figure II. 3 : Dimensionnement de l'enveloppe.

### I.13 Caractéristiques physiques et thermiques de système

Toutes les propriétés physiques et thermiques des matériaux utilisés dans l'étude sont résumées dans les tableaux ci-dessous.

Matériel		Masse volumique (Kg .m <sup>-3</sup> )	Chaleur spécifique (J .Kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	Conductivité thermique (W.m-1.K <sup>-1</sup> )
Windows	<i>Glass</i>	2500	840	0.76
	<i>Air</i>	1.3	1000	0.0267

Tableau II. 1 : Les Propriétés physico-chimique de L'air et béton [16].

Matériel	Masse volumique (Kg .m <sup>-3</sup> )	Chaleur spécifique (J .Kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	Conductivité thermique (W.m-1.K <sup>-1</sup> )
L'air	Gaz parfait incompressible	1006.43	0.0242
Le béton	2351	950	1.73

Tableau II. 2 : Les Propriétés physico-chimique de L'air et béton [19].

Matériel	Masse volumique (Kg .m <sup>-3</sup> )	Chaleur spécifique (J .Kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	Conductivité thermique (W.m-1.K <sup>-1</sup> )
L'argile	1350	21.1	0.21

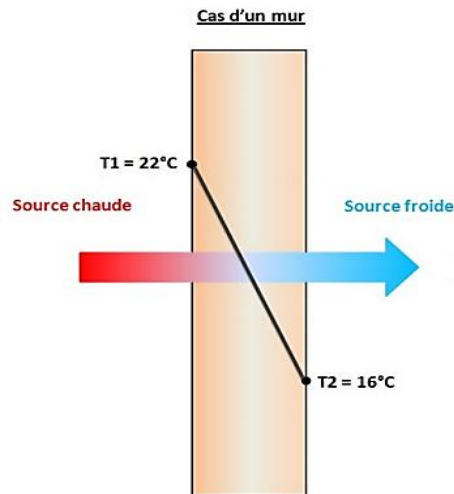
Tableau II. 3 : Les Propriétés physico-chimique de L'argile [13].

### I.14 Transfert thermique

Pour maintenir un certain niveau de confort, la perte de chaleur en hiver doit être compensée par un système de chauffage, tandis que la chaleur accumulée en été doit être évacuée par un système de climatisation. Une grande quantité d'énergie est ainsi gaspillée dans la majorité des bâtiments, le transfert thermique est un processus complexe qui, dans le cas général, résulte de la superposition des trois modes fondamentaux de transfert : conduction, convection et rayonnement [20].

### I.14.1 Transfert par conduction

La conduction a lieu dans tout matériau solide, lorsque ses molécules ne sont pas toutes à la même température, les molécules les plus chaudes transmettent de l'énergie (chaleur) à la partie froide du matériau. Par exemple, une cuillère placée dans une tasse de café chaud conduit la chaleur par sa poignée jusque dans la main qui la tient, de la même manière, la conduction dans les bâtiments passe généralement par les murs et les fenêtres [20].



**Figure II. 4 : Exemple du phénomène de conduction [20] p-22.**

La conduction thermique est régie par la loi de Fourier :

$$\text{div}(\lambda_i \cdot \vec{\nabla} T) + q = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (\text{II.1})$$

$q$  : Terme de source [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-3}$ ] ;

$\rho$  : Masse volumique [ $\text{Kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ] ;

$C_p$  : Capacité calorifique du matériau [ $\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{Kg}^{-1}$ ] ;

$\lambda_i$  : Conductivité thermique [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ] ;

$T$  : Température [K] ;

$q_{\text{cond}}$  : Densité du flux thermique [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ] ;

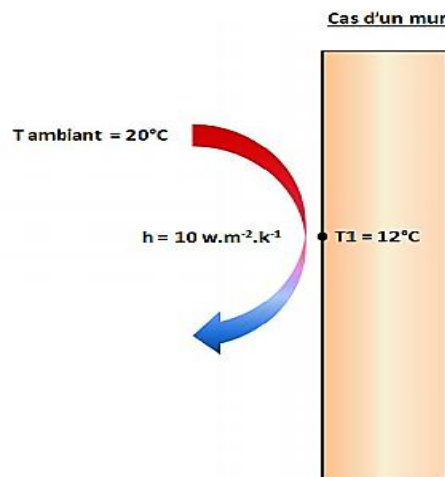
$t$  : Temps [s] ;

$x$  : espace [m] ;

L'indice  $i$  de  $\lambda_i$  est relatif aux différentes directions (si le matériau est considéré isotrope).  $\lambda = \lambda_i$

### I.14.2 Transfert par convection

La convection est le transfert d'énergie par le mouvement de fluides et de gaz, L'air chaud monte et est remplacé par de l'air plus froid provenant de l'extérieur, Dans les bâtiments de plusieurs étages avec des cloisons intérieures inadaptées, ce phénomène peut créer des courants d'air importants et coûteux [20].



**Figure II. 5 : Exemple du phénomène de convection [20] p-24.**

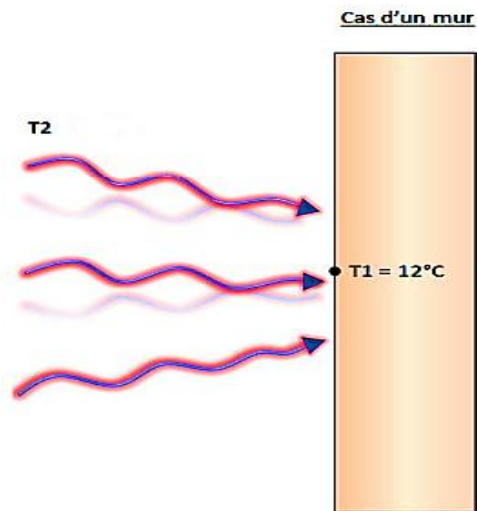
L'expression du phénomène de convection donne :

$$\phi = h.S.(T_2 - T_1) \quad (\text{II.2})$$

Avec  $S$  la surface de contact entre le fluide (air) et la paroi. On suppose que ce coefficient vaut  $10 \text{ W.m}^{-2} . \text{K}^{-1}$ .

### I.14.3 Transfert par rayonnement

La figure (2. 6) représente le phénomène de rayonnement thermique correspond au transport d'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques, Contrairement aux autres mécanismes, le rayonnement ne nécessite aucun support intermédiaire pour se propager. Le rayonnement dans les bâtiments a principalement lieu au niveau des fenêtres et des portes, mais si les murs sont mal isolés, les rayons dirigés sur l'extérieur de la maison peuvent en chauffer l'intérieur par conduction [20].



**Figure II. 6 : Exemple du phénomène de rayonnement [20] p-25.**

Soit le flux rayonné :

$$\varphi = F.S.\varepsilon.\sigma. (\Delta T)^4 \quad (\text{II.3})$$

L'émissivité (notée  $\varepsilon$ ) est la capacité d'un corps à réémettre de l'énergie absorbée. Cette valeur est comprise entre 0 et 1 et dépend principalement de la surface du corps, de la longueur d'onde et de l'inclinaison du flux par rapport à la surface considérée, La constante de Stephan Boltzmann notée  $\sigma$ ) vaut :  $5,67.10^{-8}\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$  [20].

### **I.15 Bref de définition sur la méthode numérique de la modélisation (méthode volume finis)**

Il existe plusieurs méthodes de résolutions des équations différentielles aux dérivées partielles caractérisant les problèmes physiques et parmi ces méthodes Les méthodes numériques, ces méthodes numériques transforment les équations aux dérivées partielles en des équations algébriques dont la solution fournit l'approximation de l'inconnue en différents points situés aux nœuds géométriques correspondant à la discrétisation, parmi ces méthodes nous citons: *La méthode des volumes finis* [21].

La méthode de volumes finis est une méthode de discrétisation pour les lois de conservation. Elle résulte d'un choix au sens physique, basé sur l'écriture des bilans. Cette méthode consiste à discrétiser sur chaque cellule, appelée volume de contrôle, la forme intégrale du problème à résoudre à la place de sa forme différentielle considérée ; en différences finies. L'avantage de cette technique sur les différences finies est qu'elle s'adapte facilement à des géométries complexes comme c'est le cas dans de nombreux problèmes industriels de plus, elle permet aisément de prendre en compte la présence d'obstacles (dans un domaine) et de traiter de façon naturelle les conditions aux limites. La difficulté essentielle qui peut être rencontrée est l'estimation des flux aux frontières de chaque volume de contrôle lors de la mise en œuvre de cette technique [21].

Le domaine d'étude est subdivisé en volumes élémentaires de telle manière que chaque volume entoure un nœud du maillage (celui des différences finis), pour calculer l'intégrale sur ce volume élémentaire, la fonction inconnue est représentée à l'aide d'une fonction d'approximation (linéaire, exponentielle) entre deux nœuds consécutifs, ensuite la forme intégrale est discrétisé dans le domaine d'étude [21].

Grâce à un libre choix de la fonction de liaison entre nœuds consécutifs, la procédure conduite à une solution plus précise que celle fournie par les différences finis, la méthode de volumes finis utilisée pour les avantages qu'elle présente et pour de meilleures convergences qu'elle donne pour les équations de convection-diffusion selon certains Auteurs[21].



### I.16 Le modèle numérique de la problématique étudiée

#### I.16.1 Discrétisation des équations

Les équations qui régissent l'écoulement d'air au sein de l'habitat et le transfert de chaleur au sein de celui-ci, dans le cas d'un problème bidimensionnel, sont déduites à partir des lois générales de conservation de la masse, de la quantité de mouvement (Navier-Stokes) et de l'énergie [22].

#### I.16.2 Equation de continuité

L'équation de continuité traduit le principe de la conservation de la masse l'augmentation de la masse de fluide, contenue dans un volume donné pendant un certain temps, doit être égal à la somme des masses du fluide qui y entrent diminuée de celle qui sort, le plus souvent il n'y a ni diminution, ni augmentation de masse de fluide au cours du mouvement. L'équation de continuité s'écrit donc [22] :

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \operatorname{div} \vec{V} = \rho q_v \quad (\text{II.4})$$

$q_v$  : Le débit des sources ou des puits par unité de volume.

Pour un fluide incompressible sans sources ni puits on a :  $\operatorname{div} \vec{V} = 0$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \quad (\text{II.5})$$

#### I.16.3 L'équation de la quantité de mouvement

L'application de la deuxième loi fondamentale de la mécanique à une particule fluide en mouvement mène aux équations de conservation de la quantité de mouvement pour un écoulement incompressible ( $\rho = \text{const}$ ) à viscosité constante ( $\mu = \text{const}$ ), les équations de Navier-Stokes s'écrivent comme suit [22] :

$$\rho \frac{d\vec{V}}{dt} = \rho' \vec{F} - \overrightarrow{\operatorname{grad}} P + \mu \Delta \vec{V} \quad (\text{II.6})$$

Avec:

$\vec{F}$ : Les forces massiques.

$\rho'$  : Variation de masse volumique due à la convection naturelle.

$\overrightarrow{\mu \Delta V}$  : Forces de viscosité (contraintes).

$\overrightarrow{\operatorname{grad}} P$  : Force de pression.

Elles traduisent le bilan des forces qui agissent sur le fluide :

Suivant  $x$ :

$$\frac{\partial(\rho_a u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_a uu)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho_a uv)}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (\text{II.7})$$

Suivant  $y$ :

$$\frac{\partial(\rho_a v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_a uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho_a vv)}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \rho_a g \quad (\text{II.8})$$

$\rho_a$  : masse volumique de l'air;

$\mu$  : viscosité dynamique du fluide étudié.

### I.16.4 L'équation de conservation de l'énergie

Le problème consiste à appliquer le 1er principe de la thermodynamique à un fluide en mouvement. L'équation générale de conservation de l'énergie s'écrit pour un fluide Newtonien sans sources ni puits [22] :

$$\rho C_p \frac{dT}{dt} = \text{div}(\lambda \overrightarrow{\text{grad}} T) + T \beta_t \frac{dP}{dt} + q + \varphi \quad (\text{II.9})$$

Avec  $\varphi$ :

Fonction de dissipation regroupant tous les termes contenant la viscosité  $\mu$ , définie par :

$$\varphi = -\frac{2}{3} \mu (\text{div} \overrightarrow{U})^2 + 2\mu \varepsilon_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial X_j} \quad (\text{II.10})$$

$q$  : est la source interne (réaction chimique, ...etc.)

$$\rho_a C_{pa} \left( \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_a \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_a \frac{\partial T}{\partial y} \right) + T \beta \left( \frac{dp}{dt} \right) + \phi + q \quad (\text{II.11})$$

$C_{pa}$  : chaleur massique de l'air à pression constante ;

$\lambda_a$  : conductivité thermique du fluide ;

$\beta$ : est le coefficient de dilatation volumique, à pression constante, du fluide;

$\phi$ : Est la dissipation visqueuse de l'énergie du système par les frottements moléculaires.

$q$  : représente le terme source d'énergie interne du système [22].

### I.17 Hypothèses de calcul

- le transfert de masse est négligeable.
- l'écoulement est turbulence.
- Les échanges thermiques entre la maison et le sol sont négligés.
- Il n'y a pas de génération interne de chaleur.
- Toutes les fenêtres et les portes sont fermes.
- Les cadres des fenêtres et porte-fenêtre ne sont pas pris en compte.
- la chaleur dégagée par frottements visqueux est négligeable devant tout autre phénomène en raison des faibles vitesses rencontrées en convection naturelle.
- le milieu est supposé transparent au rayonnement thermique.
- L'air sera considéré comme un gaz parfait, on le suppose comme fluide incompressible.
- Le milieu est supposé orthotrope.

### I.18 Formulation mathématique de Fluent

#### I.18.1 Les équations des domaines

La définition des bilans énergétiques propose la formulation mathématique de chaque contrôle volume suivant la première loi de la thermodynamique. Ce bilan énergétique fournit la solution pour la distribution de la température à chaque domaine [24].

#### Air sub-domain :

Le volume de contrôle d'air est délimité entre l'air entourant une rangée de tubes.

L'énergie le solde au sein d'une ligne peut être défini comme :

$$\rho_{air} \cdot c_{p_{air}} \cdot A_{air} \cdot \frac{\partial T_{air}(X, t)}{\partial t} dX + \rho_{air} \cdot c_{p_{air}} \cdot v_{air} \cdot A_{air} \cdot \frac{\partial T_{air}(X, t)}{\partial X} dX = n_t \cdot h_{air} \cdot A_{ow} \cdot [T_{air}(X, t) - T_{wall}(X, t)] \quad (II.12)$$

Où  $A_{air}$  est la surface de la section transversale de la rangée et  $n_t$  est

le nombre de tubes dans une ligne [24].

### Wall sub-domain :

Comme nous avons négligé le stockage d'énergie dans le mur, la chaleur transférée au tube (par conduction à travers le mur) peut être exprimé comme :

$$h_{air} \cdot A_{ow} \cdot [T_{air}(X, t) - T_{wall}(X, t)] = \frac{T_{air}(X, t) - T_{pcm}(X, t)}{R_{air} + R_{wall} + R_{pcm}(X, t)} \quad (II.13)$$

Où la chaleur transférée au tube est définie comme un circuit thermique de résistances série entre l'air [24].

### I.18.2 Equation de transport du taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulente de modèle k-ε

Le modèle k-ε standard est un modèle semi empirique basé sur les équations de transport de l'énergie cinétique turbulente k et de sa dissipation ε, l'équation modélisée de l'énergie turbulente est dérivée de l'équation exacte, celle de la dissipation est obtenue sur la base d'un raisonnement physique, dans ce modèle, l'écoulement est supposé complètement turbulent [18].

Le modèle k-ε standard est basé sur le concept de bousinesq :

$$-\rho \overline{u_i u_j} = 2\mu_t s_{ij} - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (II.14)$$

$$s_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\delta u_i}{\delta x_j} \frac{\delta u_j}{\delta x_i} \right) : \text{est le tenseur de Reynolds.} \quad (II.15)$$

$$\mu_t = \rho \nu_t = \rho c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} : \text{la viscosité turbulente.} \quad (II.16)$$

avec  $c_\mu = 0.09$ .

L'énergie cinétique turbulente est définie par :

$$K = \frac{1}{2} \overline{u_i u_i} = \frac{1}{2} (\overline{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2}) \quad (II.17)$$

L'énergie cinétique turbulente est définie par :

$$K = \frac{1}{2} \overline{u_i u_i} = \frac{1}{2} (\overline{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2}) \quad (II.18)$$

Le taux de dissipation ε de par :

l'énergie cinétique k est donné

$$\varepsilon = \nu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$$

(II.19)

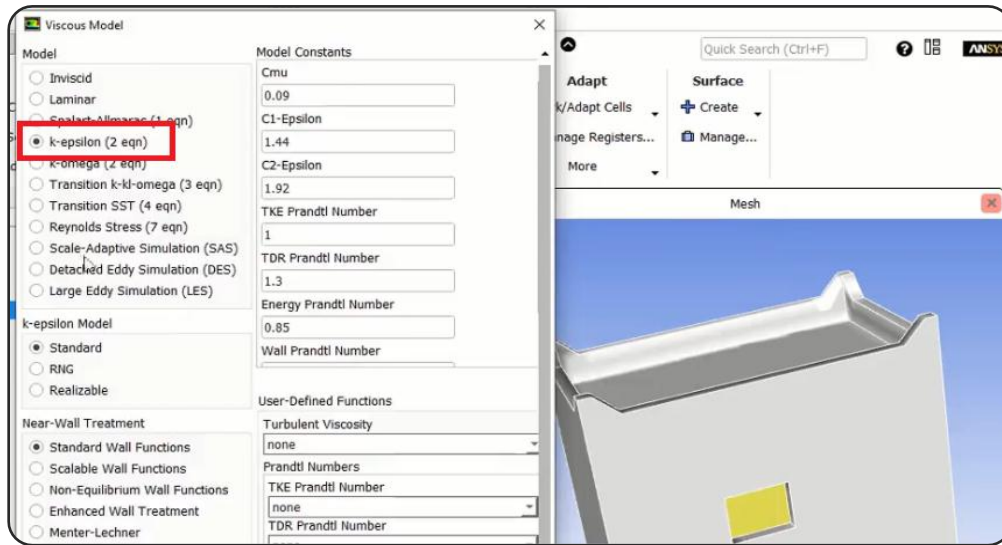


Figure II. 7 : Le modèle k-ε standard sous Fluent

I.18.3 Equation de transport de l'énergie cinétique turbulente k

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k \bar{U}_i)}_1 = \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right]}_2 + \underbrace{G_k}_3 - \underbrace{\rho \epsilon}_4 \tag{II.20}$$

Où

- 1 : représente le terme convectif
- 2 : représente le terme diffusif
- 3 : représente le taux de production
- 4 : représente le taux de dissipation

I.18.4 Equation de transport du taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulente ε

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \epsilon \bar{U}_i)}_1 = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \tag{II.21}$$

Le terme de production Gk est donné par :

$$G_k = -\rho \bar{u}_i \bar{u}_j \frac{\partial \bar{U}_j}{\partial x_i} = \rho v_t \left( \frac{\partial \bar{U}_j}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{U}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} \tag{II.22}$$

## I.18.5 Coefficients du modèle k-ε

Les constantes du modèle, données par Launder et Spalding (1974) sont présentées dans le tableau III.1 : Tableau III.1 : valeurs des constantes du modèle k-ε [18].

$C_\mu$	$C_{\epsilon 1}$	$C_{\epsilon 2}$	$\sigma_k$	$\sigma_\epsilon$
0.09	1.44	1.92	1	1.3

**Tableau II. 4 : Constantes du modèle RNG k-ε [18] p-24.**

## I.19 Les conditions initiales du modèle numérique

### I.19.1 Les conditions initiales :

Nous considérons donc les champs d'intérêt T et Pv dépendant des variables spatiales

$x \in \Omega_x$  et temporelle  $t \in \Omega_t$  et vérifiant le système pour écrire un problème de transferts hygrothermiques à résoudre, il nous faut définir des conditions aux limites et initiales associées au système [17].

Pour chaque problème posé, les conditions initiales sont données pour un temps  $t_0 \in \Omega_t$  telles que :

$$T_{air}(X, t_0) = T_{ini} \quad (II.23)$$

$$T_{wall}(X, t_0) = T_{ini} \quad (II.20)$$

où  $T_0$  et  $P_{v,0}$  sont des données du problème.

Nous distinguons les conditions aux limites sur le bord  $\partial\Omega_x$  du domaine  $\Omega_x$  de type DIRICHLET :

$$T(x \in \partial\Omega_x, t_0) = T_a \quad (II.24)$$

$$P_v(x \in \partial\Omega_x, t_0) = P_{v,a} \quad (II.25)$$

Et de type NEUMANN :

$$\iint_A d_{11} \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x \in \partial\Omega_x} dA + d_{12} \frac{\partial P_v}{\partial x} \Big|_{x \in \partial\Omega_x} dA = \iint_A q \cdot n dA \quad (II.26)$$

$$\iint_A d_{22} \frac{\partial P_v}{\partial x} \Big|_{x \in \partial\Omega_x} dA = \iint_A g \cdot n dA$$

Où  $n$  est le vecteur normal sortant à la surface  $A$ .  $q$  et  $g$  sont les flux aux surfaces limites.

Ils correspondent aux flux convectifs de chaleur et de masse généralement définis tels que :

$$q = \alpha (T_a - T(x \in \partial\Omega_x, t)) \cdot n + c_l T_a g_l + (c_v T_a + L_v) g_v \quad (\text{II.27})$$

$$g = g_v + g_l = \beta (P_{v,a} - P_v(x \in \partial\Omega_x, t)) \cdot n + g_l \quad (\text{II.28})$$

Où le flux d'eau liquide peut provenir de la pluie battante. pour tous les cas d'étude abordés dans ces travaux, ce flux sera considéré nul.  $T_a$  et  $P_v$  sont respectivement la température et la pression de vapeur de l'air ambiant aux abords du matériau  $\alpha$  et respectivement  $\beta$  sont appelés coefficients d'échanges surfaciques de chaleur et respectivement de masse. Ce sont des données du problème. Ils caractérisent la résistance de la couche limite d'air proche du mur aux transferts de chaleur et d'eau. Nous distinguons deux types de convection thermique : la convection naturelle qui se produit au sein d'un fluide soumis à un gradient de température, et la convection forcée qui est imposée par une intervention extérieure. En physique du bâtiment, les phénomènes convectifs rencontrés sont généralement mixtes, i.e. ils associent les deux types de convection. Le coefficient  $\alpha$  dépend donc de la vitesse de l'air. Les coefficients  $\alpha$  et  $\beta$  sont reliés par l'analogie de LEWIS [17] :

$$\beta = \frac{\alpha}{\rho_a c_a L e^{\frac{2}{3}}} \quad (\text{II.29})$$

### I.19.2 Flux de chaleur moyen

Le flux de chaleur dimensionnel traversant un élément de surface  $dS$  située sur la surface gauche de l'habitat est donné par :

$$dQ = -\lambda_a \frac{\partial T}{\partial x} dS \quad (\text{II.30})$$

En divisant les deux membres de l'équation (4.26) par,  $\lambda_a \frac{(T_F - T_c)}{H_M dS}$  on (II.31)

obtient l'expression suivante donnant le flux de chaleur adimensionnel :

$$d\bar{Q} = -\frac{\partial\theta}{\partial X}\bigg|_{X=X_0} \quad (\text{II.32})$$

Le flux de chaleur moyen adimensionnel sur la face verticale gauche du bâtiment est donné par [22] :

$$\bar{Q} = \frac{-1}{(\alpha + H_M + \phi)} \int_0^{(\alpha + H_M + \phi)} \left(\frac{\partial\theta}{\partial X}\right)_{X=X_0} dY \quad (\text{II.33})$$

Flux solaire	978.2 W.m-2
Vitesse du vent ( Du nord au sud)	5 m/s
Température ambiante externe	319 K
Température ambiante interne	303 K

**Tableau Figure II. 5 : les conditions initiales de domiens de calcul [25].**

### I.20 Les conditions aux limites du modèle numérique

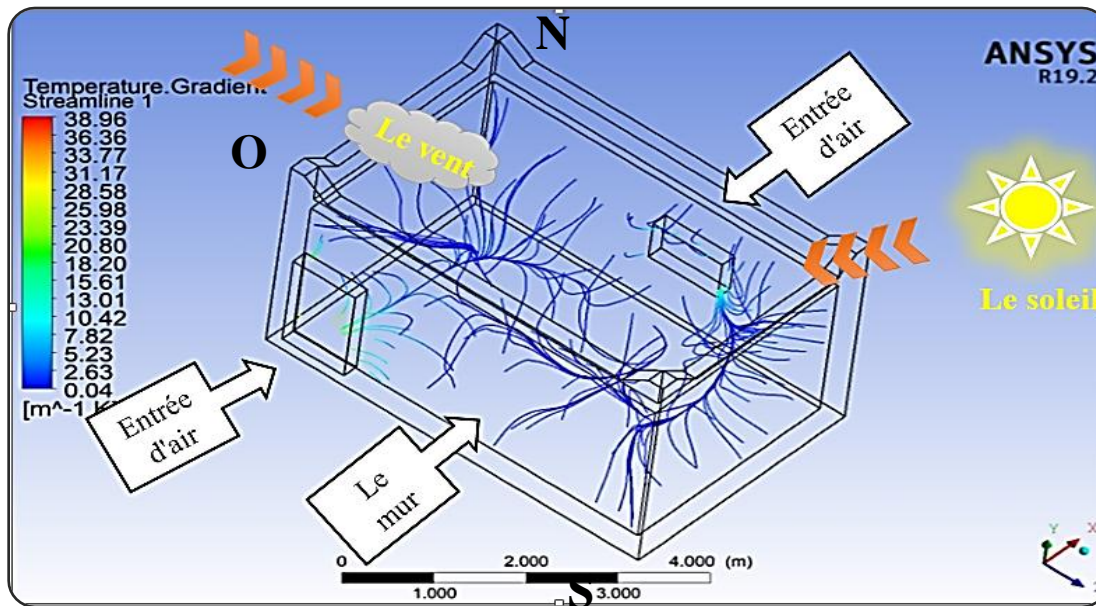
Les conditions aux limites associées sont :

$$k_{wall} = h_{air} \cdot [T_{air} - T_{wall}] \quad (\text{II.34})$$

Les conditions aux limites du domaine sont différentes selon la nature de la limite considérée : entrées ou sortie du fluide, paroi solide. En outre, pour chaque type de limite, il existe plusieurs variantes de conditions, dont seuls celles qui ont un rapport avec notre simulation sont décrites dans les paragraphes qui suivent et sont schématisées dans la



(II. 8) [31].



**Figure II. 8 : Domaine de calcul et conditions de fonctionnement.**

Il reflète également la relation entre Le milieu étudié et le milieu extérieur comme l'équation de la chaleur est de premier ordre en temps et de second ordre en espace, on rappelle que deux conditions aux limites dans chaque direction et une condition temporelle (condition initiale) sont exigées pour aboutir à une solution de l'équation de départ [20].

- Les conditions aux limites de première espèce dite aussi conditions aux limites de type température imposée (problème de Dirichlet), la température à la surface est connue à tout instant,  $T = f(M, t)$ , avec M point de la surface du système. (II.35)

Cas particulier : surface isotherme ( $T = cte$ ) (II.36)

- Les Conditions aux limites de deuxième espèce dites aussi conditions aux limites de type flux imposée (problème de Neumann), dans ce cas, la densité de flux à la frontière du domaine étudié, est connue à tout instant.

$$-K \frac{\partial T}{\partial x} = f(M, t) \quad (II.37)$$

Cas particulier : surface adiabatique ou système isolé.  $-K \frac{\partial T}{\partial x} = 0$  (II.38)

- Condition aux limites de troisième espèce dites conditions de Fourier ou aussi de Newton; transfert linéaire (problème de Fourier).

$$-K \frac{\partial T}{\partial x} = h(T_s - T_{amb}) \quad (II.39)$$

Avec:

$h$  : Coefficient d'échange thermique superficiel en (W.m<sup>-2</sup>. K<sup>-1</sup>)

$T$  : Température de référence du milieu extérieur

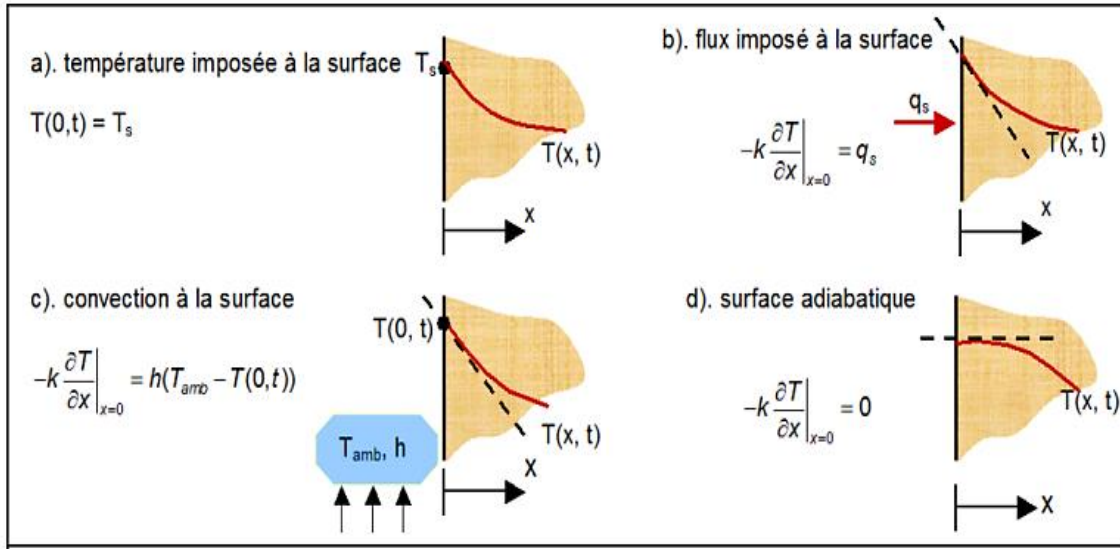


Figure II. 9 : Exemples de différentes conditions aux limites [20] p-22.

## I.21 Résolution numérique

Pour résoudre ce modèle, une température moyenne est considérée à chaque domaine par conséquent, outre la discrétisation spatiale de l'échangeur de chaleur par lignes (X), il n'y a plus de discrétisation spatiale dans ce modèle. A chacun de ces domaines, la température de l'air  $T_{air}$  et la valeur initiale de là les rayons  $r(X, t = 0)$  sont connus [12].

### Air sub-domain

$$\dot{V}_{air} \cdot c_{p_{air}} \cdot \left[ T_{air}(X, t) - T_{air}(X + 1, t) \right] = n_t \cdot h_{air} \cdot A_{ow} \cdot \left[ T_{air}(X, t) - T_{wall}(X, t) \right] \quad (II.40)$$

### Wall sub-domain

$$h_{air} \cdot [T_{air}(X, t) - T_{wall}(X, t)] = \frac{T_{air}(X, t)}{\frac{1}{h_{air}} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot k_{wall}}} \quad (II.41)$$

La discrétisation par volumes de contrôle des équations de conservation de l'énergie à chaque volume conduit à un ensemble d'équations algébriques différentielles, ces équations peuvent être facilement résolues. Après discrétisation de ces équations, on peut obtenir la position du front de fusion, que signifie la limite entre la phase liquide et la phase solide, supposée ici uniquement dépendante de la position [24].

### **I.22 Conclusion**

Le système d'équation qu'on a obtenu au chapitre précédent n'admet pas de solution analytique, ce qui nous conduit à rechercher des solutions approchées par voie numérique détaillée dans ce chapitre, une résolution numérique s'impose afin de pouvoir déterminer le profil des vitesses et des températures. L'étape suivante consiste à implémenter ces équations dans un langage informatique utilisant un logiciel de Fluent considérant ces conditions aux limites de l'enveloppe.

# **Chapitre III**

## **Résultats et interprétation**

### I.23 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter les résultats obtenus à l'aide de notre code numérique, ces résultats concernent les distributions de la température et de la vitesse de l'écoulement de l'air à l'intérieur du bâtiment. nous allons, en particulier, présenter l'effet de l'isolation thermique sur l'efficacité énergétique.

### I.24 La Simulation par FLUENT

CFD ou la dynamique des fluides numériques est l'analyse des systèmes comportant l'écoulement des fluides, le flux de fluide, le transfert thermique et les réactions associées de phénomènes au moyen de simulation sur machine de calcul (ordinateur), cette technique est très puissante et occupe plusieurs domaines tels que l'éventail d'industriel et les domaines d'applications non industriel La résolution numérique des équations des écoulements turbulents est fréquemment désignée par l'acronyme CFD (pour Computational Fluid dynamics). Il existe divers logiciels commerciaux de CFD [23].

Les modèles utilisés pour calculer les différents termes sources des équations de conservations et intégrer les effets de la turbulence, ainsi que par les algorithmes mis en œuvre pour résoudre les équations discrétisées. au cours de ce travail, la simulation numérique des transferts thermiques dans la chambre de combustion cylindrique du four Industriel de la cimenterie de Chlef sera réalisée à l'aide du code commercial Fluent. Le logiciel Fluent utilise une méthode de discrétisation aux volumes finis, dans laquelle les nœuds de calcul sont placés aux centre des volumes de contrôles ; la résolution des équations discrétisées peut être réalisée de manière couplée c'est-à-dire, tous les équations sont placées dans une seule matrice globale et Fluent utilise alors un solveur dit couplé, ou séquentielles (solveur ségrégé), où les équations sont résolues dans un ordre déterminé, définis par l'algorithme de résolution. Le caractère non linéaire et couplé des équations nécessite de résoudre le problème de manière itérative, c'est-à-dire par approximations successives à partir de valeurs initiales définies judicieusement, jusqu'à ce qu'une solution suffisamment convergente soit obtenue [23].

La mise en œuvre de la simulation numérique sous FLUENT impose de suivre un certain nombre d'étapes qui sont détaillées ci-dessous :

1. Lancer le solveur approprié pour la modélisation en deux ou trois dimensions.
2. Importer le maillage.
3. Sélectionner les modèles physiques.
4. Définir les propriétés des matériaux.
5. Définir les conditions de calcul.
6. Définir les conditions aux limites.
7. Fournir une solution initiale.
8. Régler les paramètres du solveur.
9. Régler les moniteurs de convergence.
10. Exporter les résultats.

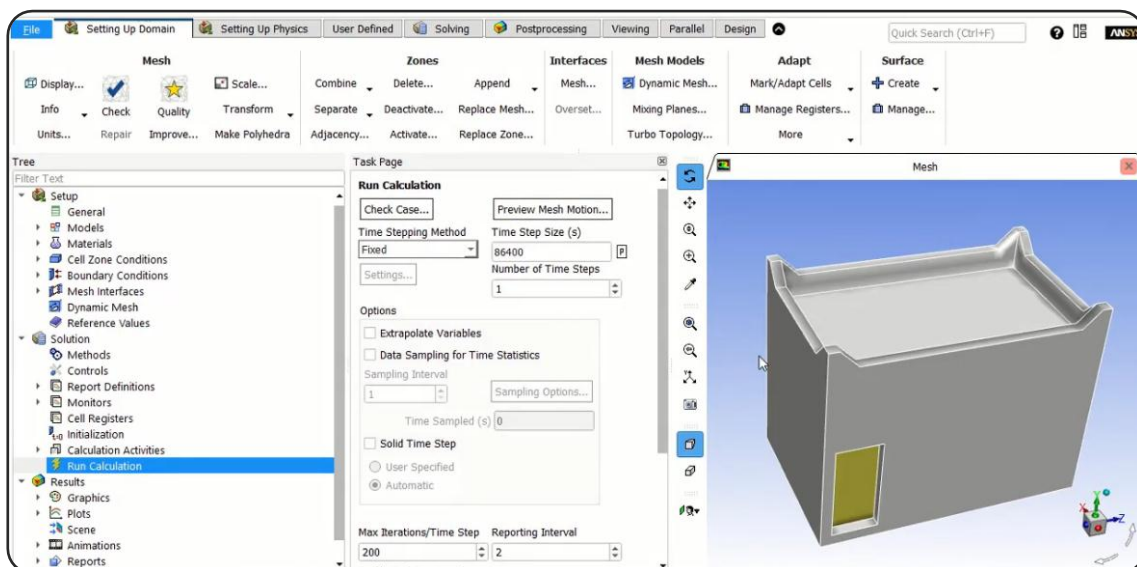


Figure III. 1 : Interface dans le logiciel FLUENT

### I.24.1 Code de calcul

Le logiciel de simulation numérique Fluent est capable de résoudre des problèmes tridimensionnels divers. Les écoulements calculés peuvent être compressibles ou incompressibles, stationnaires ou in stationnaires, laminaires ou turbulents. Il offre également la possibilité de calculer des écoulements dans différents repères et notamment un repère tournant. Cette caractéristique permet le calcul simultané d'un écoulements au sein d'une partie fixe et d'une partie mobile (calcul couplé) [23].

Le logiciel discrétise les équations de Navier-Stokes, de l'énergie et de la chaleur selon la méthode des volumes finis, avec une approche éléments finis ou différences finis [23].

L'idée de cette démarche est de créer un volume de contrôle parallélépipédique autour de chaque nœud, l'avantage de cette approche est la flexibilité géométrique des éléments finis en gardant la propriété de conservation des volumes finis [23].

### I.24.2 Maillage du domaine

La génération du maillage est une étape importante dans la résolution des équations qui gouvernent l'écoulement dans une cavité. Il existe plusieurs types de maillage : Les maillages structurés sont des maillages de type grille cartésienne. Ce type de maillage permet de mieux contrôler la qualité des mailles. En revanche ce type de discrétisation est limité seulement pour les géométries simples. Le maillage structuré par bloc permet de subdiviser le domaine en zones qui peuvent être maillées régulièrement. Les maillages non structurés sont utilisés pour les géométries complexes [35].

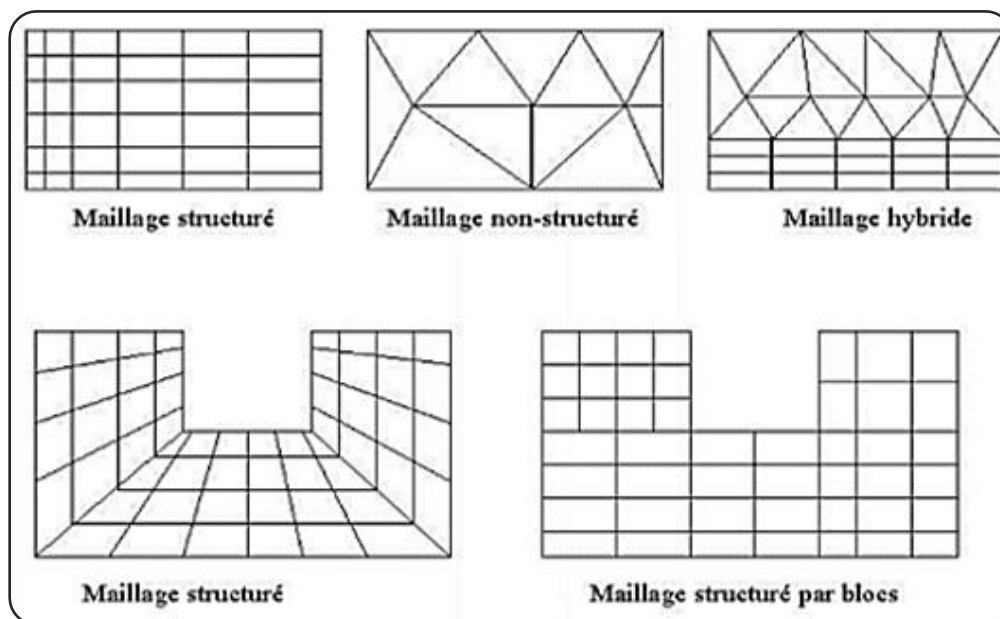


Figure III. 2 : Types de maillages utilisés par "FLUENT"

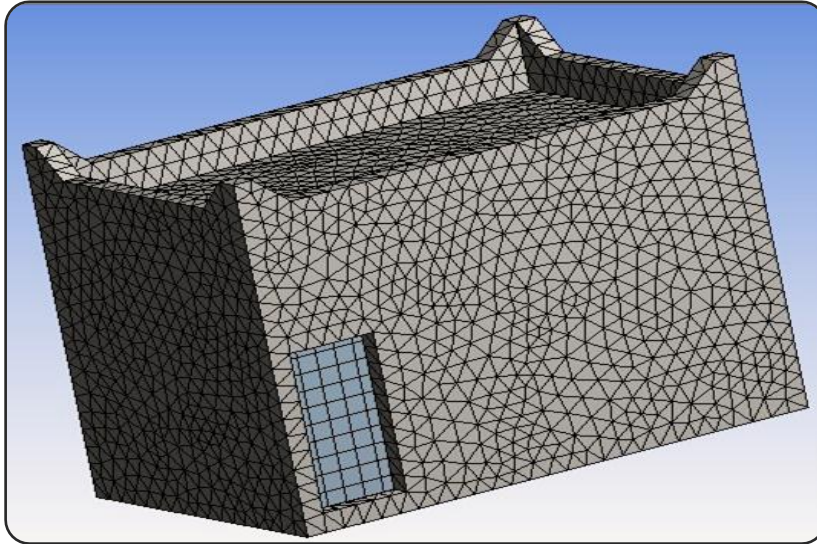


Figure III. 3 : Maillage utilisé dans l'étude par la méthode de volumes finis

### I.24.3 Modèle de rayonnement (Solar load)

Le logiciel FLUENT fournit un modèle de tache solaire, dont la trajectoire peut évoluer à l'intérieur du bâtiment en fonction des paramètres suivants : date, lieu géographique, orientation de la pièce et le fuseau horaire par rapport à GMT

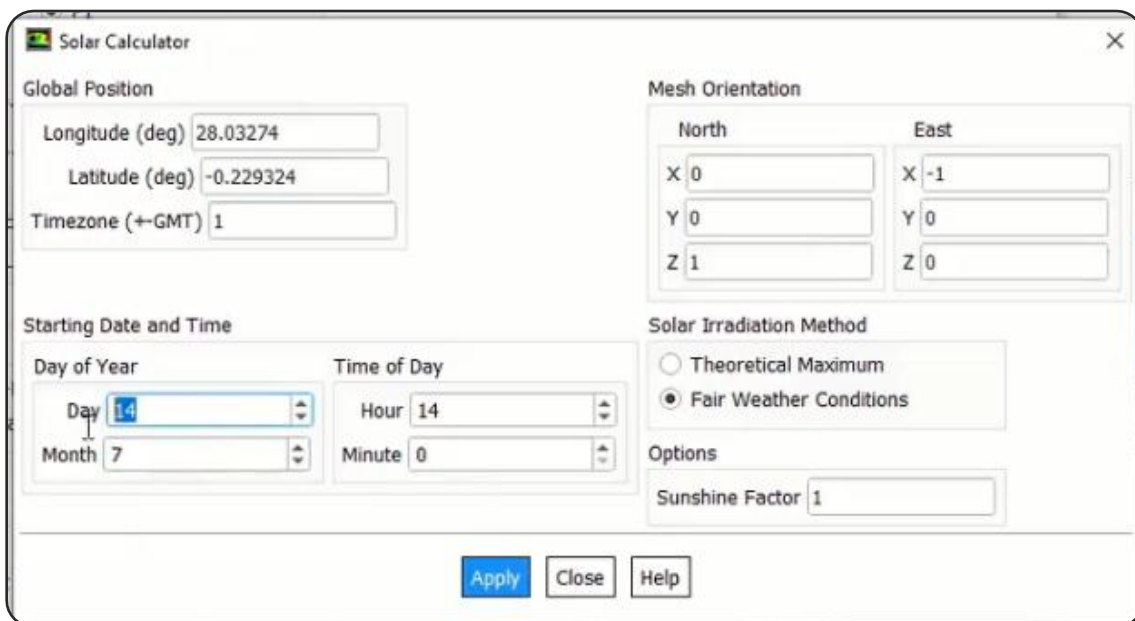


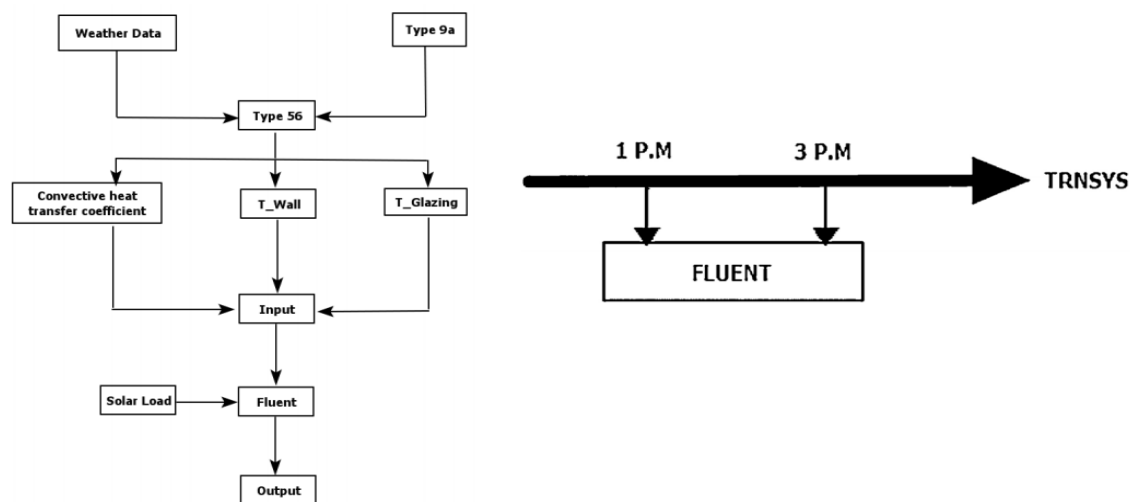
Figure III. 4 : Solar calculator

Le logiciel FLUENT fournit deux options pour modéliser la tache solaire : la méthode des conditions météorologiques et la méthode théorique maximale. L'équation de l'irradiation directe normale [35].



## I.24.4 Stratégie de couplage entre FLUENT

Le logiciel numérique, FLUENT, nous servira à modéliser l'enveloppe de la cellule, le plancher chauffant et les équipements utilisés. La température de surchauffe de la zone irradiée n'est pas prise en considération ce logiciel nous permettra par ailleurs de cerner correctement l'effet du rayonnement solaire sur la température du plancher chauffant [23].



**Figure III. 5 : Illustration du couplage temporel (FLUENT fonctionne à certains moments spécifiques).**

## I.24.5 Procédure de Résolution sous Fluent

Un fichier de données (extension .cas) est créé suite à la lecture du fichier contenant les détails de la géométrie (extension .msh), après vérification du maillage, on passe au type de solveur, pour notre cas, c'est un solveur découplé avec une formulation implicite pour un cas bidimensionnel et un écoulement stationnaire prenant en considération des vitesses absolues [23].

D'autres équations peuvent être ajoutées selon les phénomènes étudiés (transfert de chaleur, combustion, multi phases ...). Les autres étapes du menu "Define" sont les choix du fluide, des conditions d'opération (introduction de l'effet de la gravité et de la pression de référence) et l'introduction des conditions aux limites. Le dernier menu utilisé pour entamer le calcul est le menu "Solve." Les critères de convergence et le calcul doit initialiser à travers les conditions aux limites pour démarrer la méthode itérative [23].

Le solveur ségrégé a été utilisé au cours de ce travail avec un algorithme SIMPLEC

(Pour Semi Implicit Method for Pressure Linked Equation Consistant) de résolution pour le couplage pression-vitesse, cet algorithme est utilisée pour accélérer la convergence de calcul [23].

### I.25 La variation de température de l'enveloppe habitable en béton

Nous les exposons à une chaleur externe de  $319^{\circ}\text{k}$  ( $46^{\circ}$ ) et que pendant la journée de 13h00 à 17h00.

#### I.25.1 La variation de température de la paroi nord

La figure-III. 1 représente la variation de la température de la paroi nord de l'enveloppe habitable durant la journée de 13h00 à 17h00 est plus moins par rapport aux températures des autres parois Ouest, Sud et Est.

La température au milieu du mur est de  $318,5^{\circ}\text{ks}$  équivalents à  $45,5^{\circ}\text{C}$ , au sommet du mur, la température est de  $319^{\circ}\text{k}$ , soit l'équivalent de  $46^{\circ}\text{C}$ , en raison de l'effet du plafond correspondant aux rayons du soleil.

Les facteurs essentiels qui sont réunis pour engendrer cette diminuer de la température : en premier lieu, la direction du vent parce qu'elle est opposée à la direction du vent qui implique de l'inertie thermique et en deuxième lieu, l'angle d'incidence des rayons solaires, Parce que de l'autre côté, le soleil est de l'autre côté et puis il ne prend pas beaucoup de soleil.

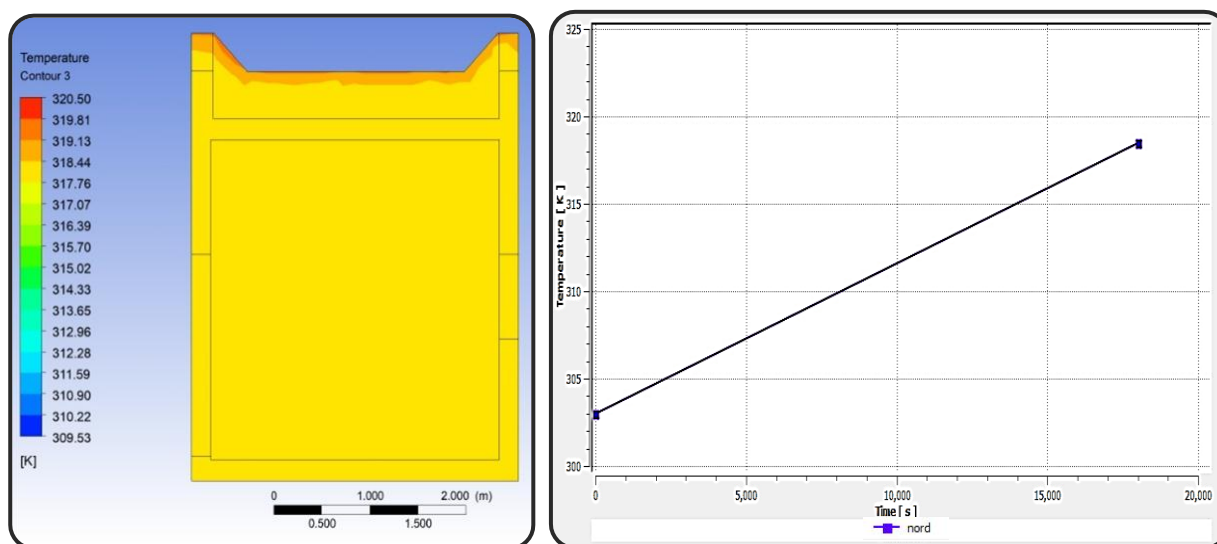


Figure-III. 6 : La variation de la température de la paroi nord d'habitation en béton.

### I.25.2 La variation de température de la paroi sud

La figure-III. 2 représente la variation de la température de la paroi sud de l'enveloppe habitable durant la journée de 13h00 à 17h00 est plus grande par rapport aux températures des autres parois Ouest, nord et Est.

La température au milieu du mur est de  $320,2^{\circ}\text{k}$  équivalents à  $49,2^{\circ}\text{C}$ , aux les côtés du mur, la température est de  $319,5^{\circ}\text{k}$ , soit l'équivalent de  $46,5^{\circ}\text{C}$ , en raison des rats de l'est et de l'ouest et du sol qui transmettent une température basse par rapport à cette paroi.

Les facteurs essentiels qui sont réunis pour engendrer cette augmentation de la température : en premier lieu, la direction du vent parce qu'elle et Il ne reçoit aucun courant d'air provenant du vent, ce qui provoque la chaleur du mur et en deuxième lieu, l'angle d'incidence des rayons solaires, En effet, le mur est directement positionné par le soleil, ce qui en fait le mur le plus exposé au soleil.

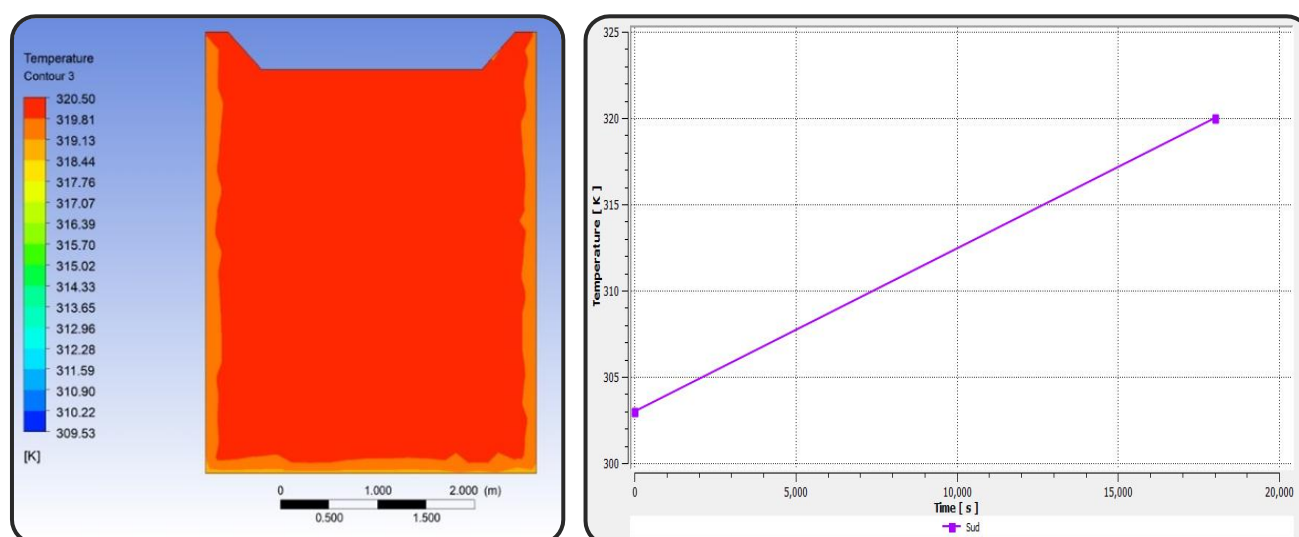


Figure-III. 7 : La variation de la température de la paroi sud d'habitation en béton.

### I.25.3 La variation de température de la paroi est

La figure-III. 3 représente la variation de la température de la paroi de l'enveloppe habitable durant la journée de 13h00 à 17h00 est moyenne par rapport aux températures des autres parois Ouest, nord et Sud.

De sorte que la température au milieu du mur est de  $319,1^{\circ}\text{k}$  équivalents à  $46,1^{\circ}\text{C}$ , aux côtés du mur, la température est de  $319,6^{\circ}\text{k}$ , soit l'équivalent de  $46,6^{\circ}\text{C}$ , en raison de son impact sur les murs supérieurs et sud qui transmettent des températures élevées,

la température de ce mur est due au fait qu'il ne reçoit pas beaucoup de lumière du soleil ou de vent, et c'est pourquoi il est trop de milieu extérieur.

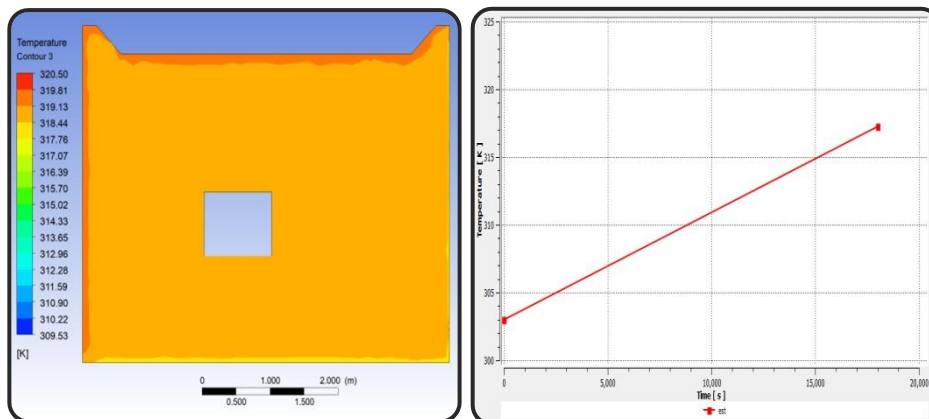


Figure-III. 8 : La variation de la température de la paroi est d'habitation en béton.

### I.25.4 La variation de température de la paroi ouest

La figure-III. 4 représente la variation de la température de la paroi Ouest de l'enveloppe habitable durant la journée de 13h00 à 17h00 aussi est moyenne par rapport aux températures des autres parois Et, nord et Sud.

De sorte que la température au milieu du mur est de 319°k équivalents à 46°C, aux les côtés du mur, la température est de 319.5°k, soit l'équivalent de 46.5°C, en raison de son impact sur le mur plafond et sud qui transmettent des températures élevées, la température de ce mur est due au fait qu'il ne reçoit pas beaucoup de lumière du soleil ou de vent, et c'est pourquoi il est trop de l'océan extérieur, alors que nous voyons une légère baisse de température du côté nord et du sol.

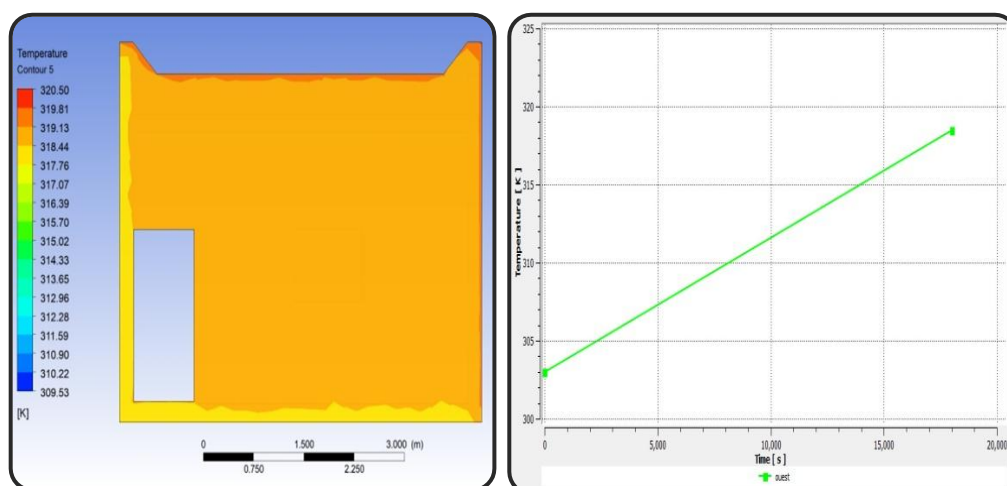


Figure-III. 9 : La variation de la température de la paroi ouest d'habitation en béton.

### I.25.5 La variation de température du plafond

La figure-III. 5 représente la variation de la température de plafond de l'enveloppe habitable durant la journée de 13h00 à 17h00, elle est plus grande par rapport aux températures des autres parois Ouest, nord et Est.

De sorte que la température au milieu du mur est de 320,5°ks équivalents à 47,5°C; et la raison est qu'il plus exposé au soleil, ainsi que le fait de ne pas être directe exposé au vent, ce qui en fait l'endroit le plus chaud de toute l'enveloppe.

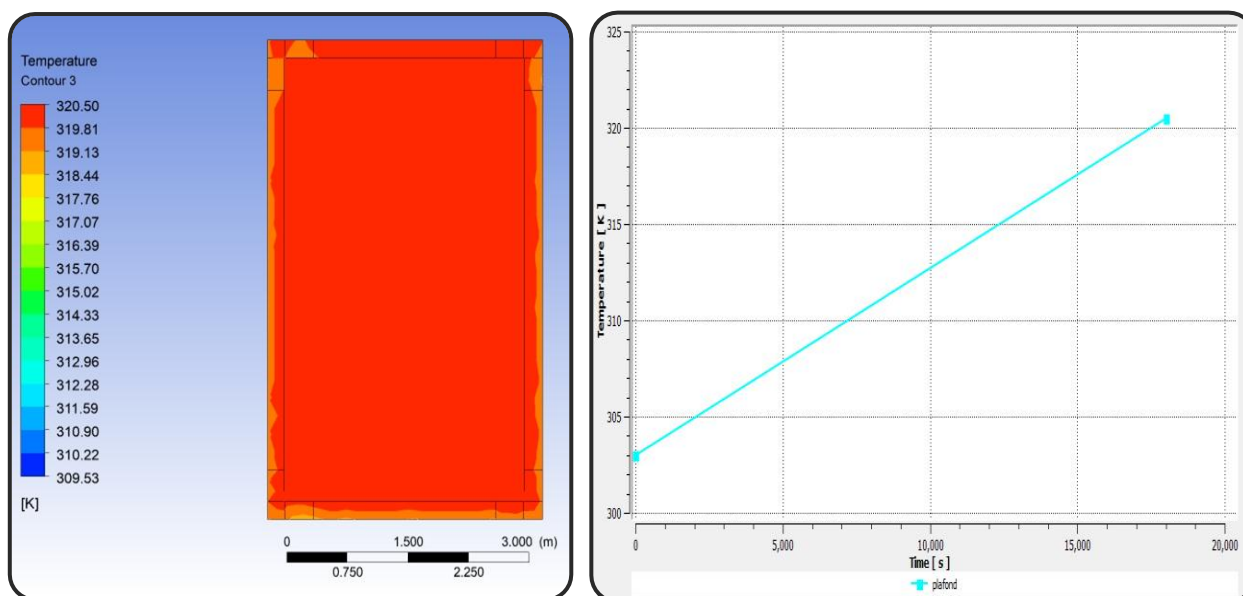


Figure-III. 10 : La variation de la température du plafond d'habitation en béton.

### I.25.6 La variation de température à l'intérieur

La figure-III. 6 représente la variation de la température à l'intérieur de l'enveloppe habitable durant la journée de 13h00 à 17h00.

Nous notons que la température à l'intérieur de l'enveloppe est d'environ 318°K équivalents à 46°C, à l'entrée de l'enveloppe et de la fenêtre, on remarque que la température est plus basse par rapport au centre de l'enveloppe.

Nous remarquons que la différence de chaleur entre la température extérieure et intérieure est d'environ 1 degré et cette différence n'est pas grande pour le confort de la personne qui vit dans ces résidences construites en béton.

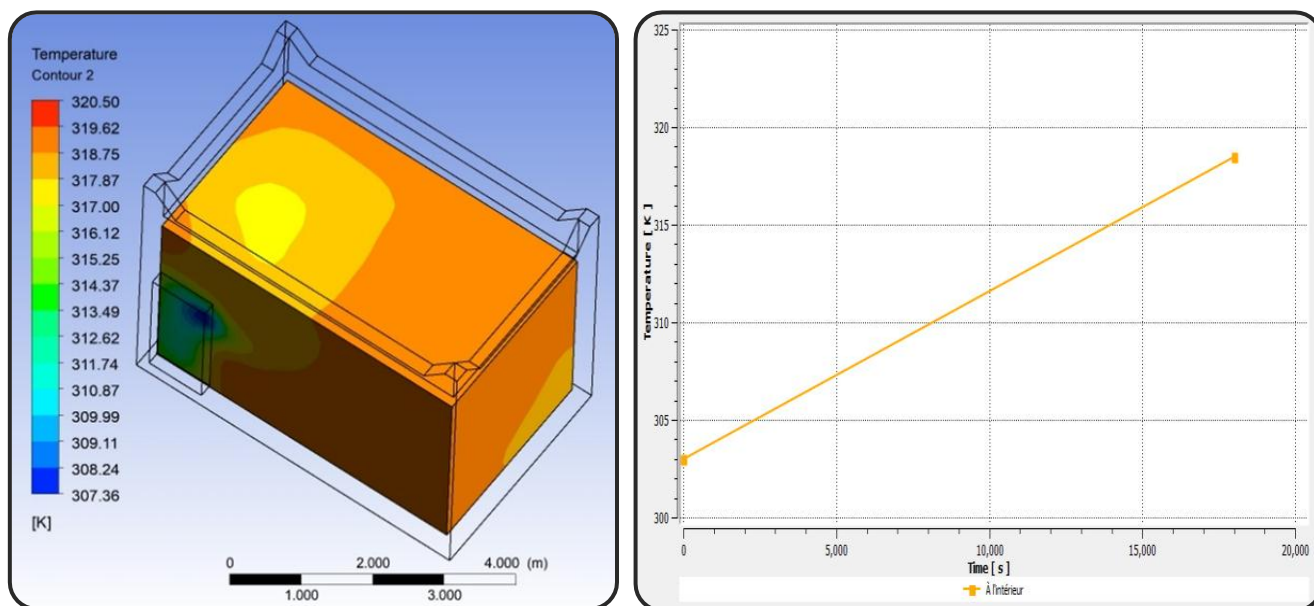


Figure-III. 11 : La variation de la température à l'intérieur d'habitation (béton).

### I.25.7 La variation de la température sur toute l'enveloppe habitable.

La figure-III. 7 représente la variation de la température de la paroi Ouest de l'enveloppe habitable durant la journée de 13h00 à 17h00.

l'enveloppe en béton avec une fenêtre plus une porte est l'un des bâtiments résidentiels communs dans notre région, comme nous le voyons, la température extérieure est d'environ 319,5°ks équivalents à 46.5°C, du côté du plafond et le mur sud atteint progressivement à l'intérieur de l'enveloppe environ 318°k, équivalents à 45°C, et côté du sol et de la paroi nord, la température est basse par rapport à ce qui précède, ce qui la rend basse, qui est la vitesse du vent et la direction des rayons du soleil.

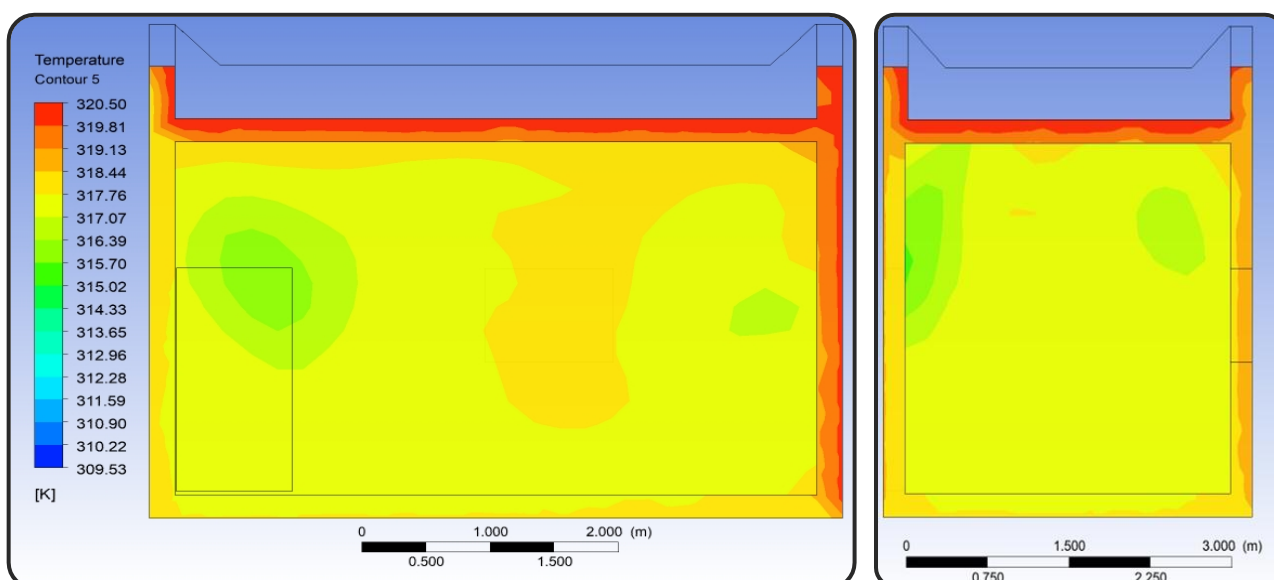


Figure-III. 12: La variation de la température sur toute l'enveloppe habitable (béton).

## I.26 La variation de température de l'enveloppe habitable en argile

Nous les exposons à une chaleur externe de  $319^{\circ}\text{K}$  (46 o) et que pendant la journée de 13h00 à 17h00.

### I.26.1 La variation de température de la paroi nord

La figure-III. 8 représente la variation de la température de la paroi nord de l'enveloppe habitable durant la journée de 13h00 à 17h00 est plus moine par rapport aux températures des autres parois Ouest, Sud et Est.

De sorte que la température au milieu du mur est de  $318^{\circ}\text{K}$  équivalents à  $45^{\circ}\text{C}$ , au sommet du mur, la température est de  $318.8^{\circ}\text{K}$ , soit l'équivalent de  $45.8^{\circ}\text{C}$ , en raison de l'effet du plafond correspondant aux rayons du soleil.

Les facteurs essentiels qui sont réunis pour engendrer cette diminuer de la température : en premier lieu, la direction du vent parce qu'elle est opposée à la direction du vent qui implique de l'inertie thermique et en deuxième lieu, l'angle d'incidence des rayons solaires, Parce que de l'autre côté, le soleil est de l'autre côté et puis il ne prend pas beaucoup de soleil.

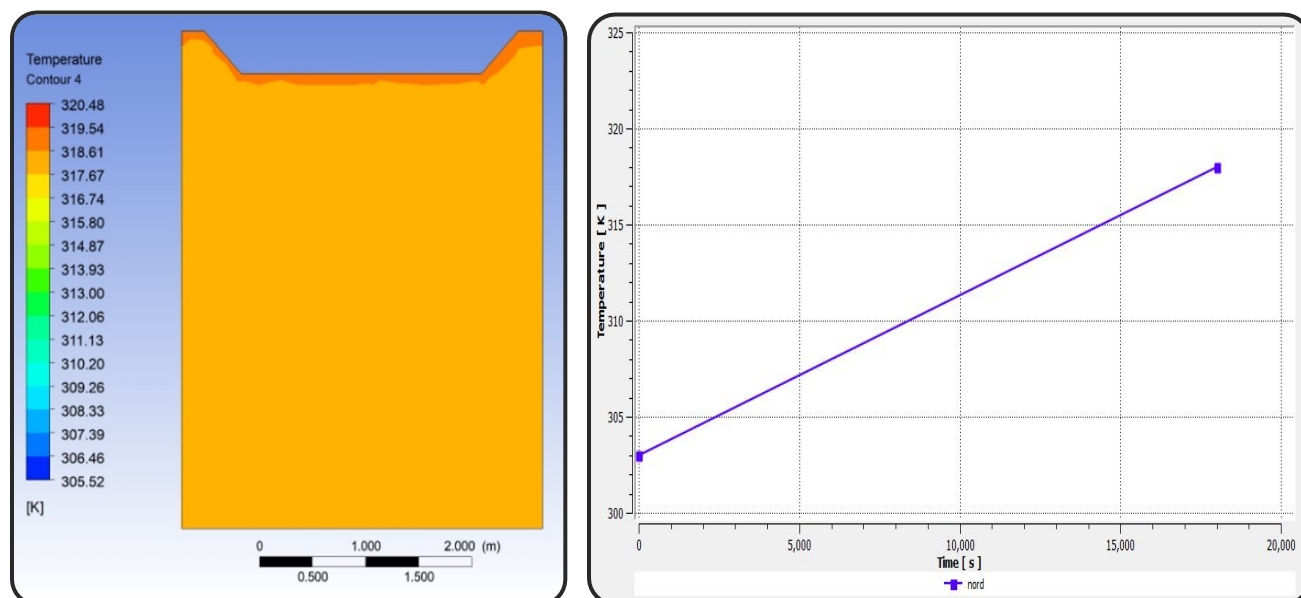


Figure-III. 13: La variation de la température de la paroi nord d'habitation en argile.

### I.26.2 La variation de température de la paroi sud

La figure-III. 9 représente la variation de la température de la paroi sud de l'enveloppe habitable durant la journée de 13h00 à 17h00 elle est plus grande par rapport aux températures des autres parois Ouest, nord et Est.

La température au milieu du mur est de 320°k équivalents à 49°C, aux les côtés du mur, la température est de 319.5°k, soit l'équivalent de 46.5°C, en raison l'effet des murs de l'est et de l'ouest et du sol qui transmettent une température basse par rapport à cette paroi.

Ces résultats sont dus à deux facteurs essentiels qui sont réunis pour engendrer cette augmentation de la température : en premier lieu, la direction du vent parce qu'elle et Il ne reçoit aucun courant d'air provenant du vent, ce qui provoque la chaleur du mur et en deuxième lieu, l'angle d'incidence des rayons solaires, En effet, le mur est directement Contre le soleil, ce qui en fait le mur le plus exposé au soleil.

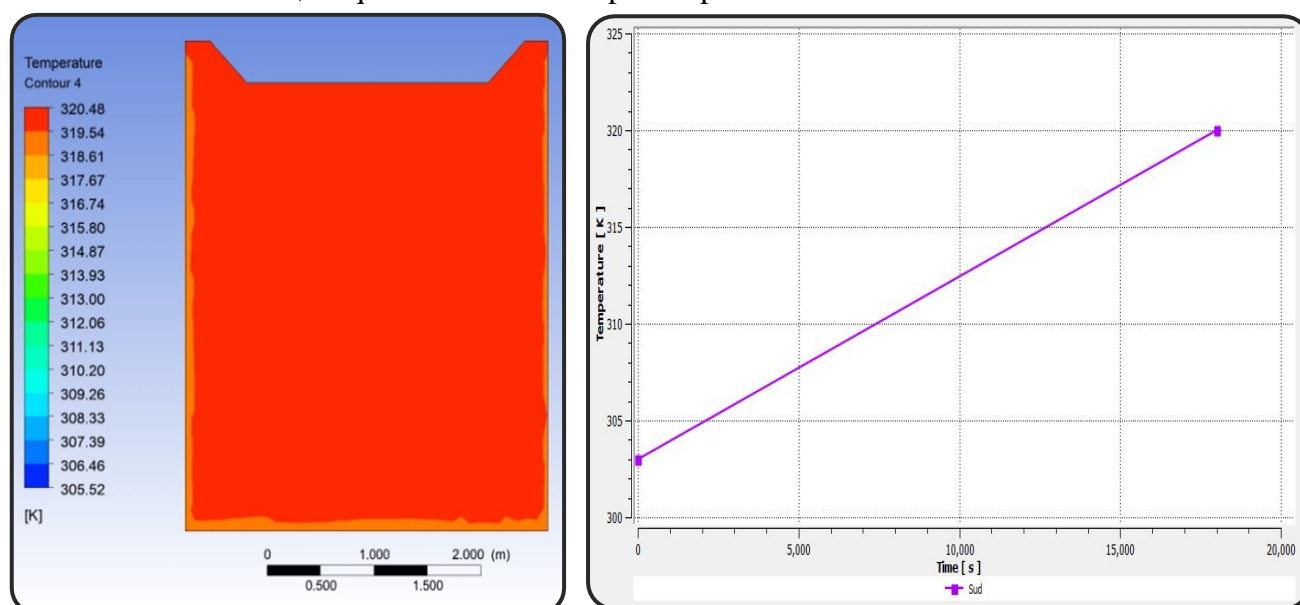


Figure-III. 14 : La variation de la température de la paroi sud d'habitation en argile.

### I.26.3 La variation de température de la paroi Est

La figure-III. 10 représente la variation de la température de la paroi Est l'enveloppe habitable durant la journée de 13h00 à 17h00 elle est moyenne par rapport aux températures des autres parois Ouest, nord et Sud.

la température au milieu du mur Est de 319°k équivalents à 46°C, aux les côtés du mur, la température est de 319.5°k, soit l'équivalent de 46.5°C, en raison de son impact sur les murs supérieurs et sud qui transmettent des températures élevées, la température de ce mur est due au fait qu'il ne reçoit pas beaucoup de lumière du soleil ou de vent, et c'est pourquoi il est trop de l'océan extérieur.



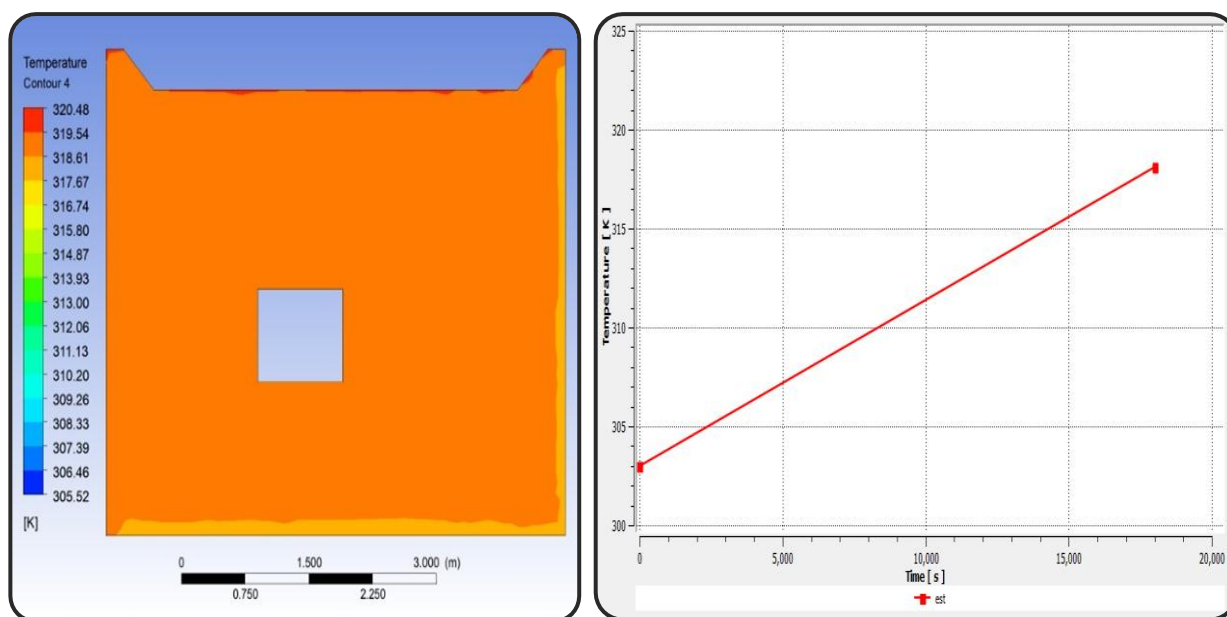


Figure-III. 15 : La variation de la température de la paroi Est d'habitation en argile.

### I.26.4 La variation de température de la paroi ouest

La figure-III. 10 représente la variation de la température de la paroi Ouest de l'enveloppe habitable durant la journée de 13h00 à 17h00 aussi elle est moyenne par rapport aux températures des autres parois Est, nord et Sud.

La température au milieu du mur est de 318.8°k équivalents à 45.8°C, aux les côtés du mur, la température est de 319.3°k, soit l'équivalent de 46.3°C, en raison de son impact sur le mur plafond et sud qui transmettent des températures élevées.

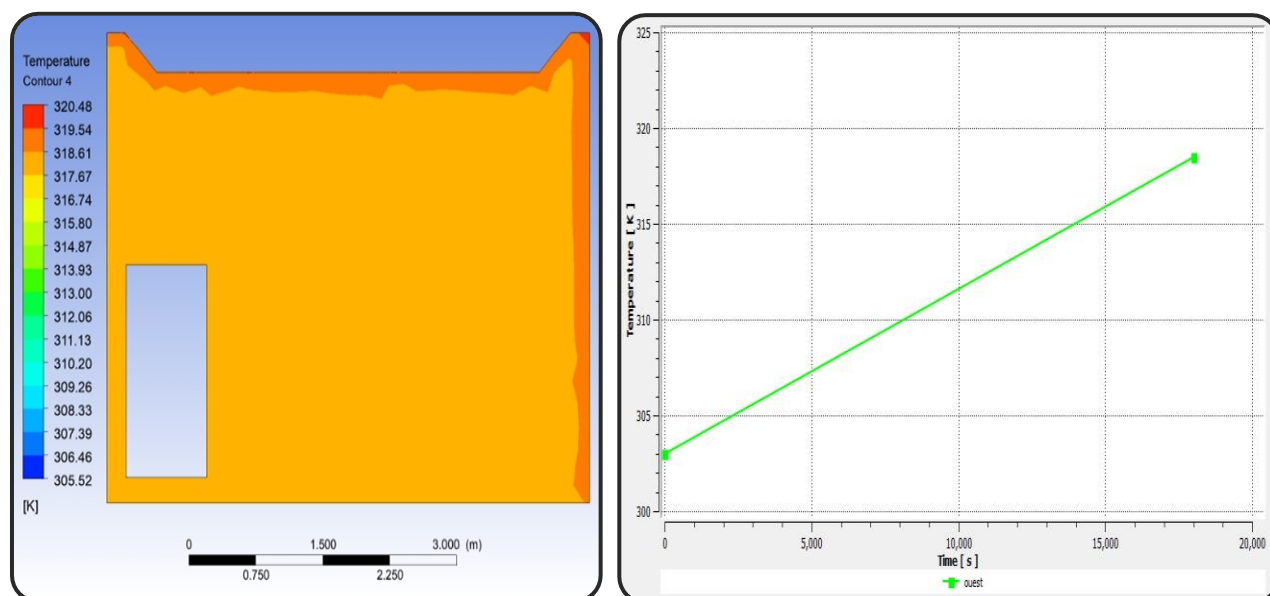


Figure-III. 16 : La variation de la température de la paroi ouest d'habitation en argile.

## I.26.5 La variation de température du plafond

La figure-III. 12 représente la variation de la température du plafond de l'enveloppe habitable durant la journée de 13h00 à 17h00 est plus grande par rapport aux températures des autres parois Ouest, nord et Est.

La température au milieu du mur est de 320,3°Ks équivalents à 47,3°C, Et la raison en est que c'est le visage le plus exposé au soleil, ainsi que le fait de ne pas être correctement exposé au vent, ce qui en fait l'endroit le plus chaud de toute l'enveloppe.

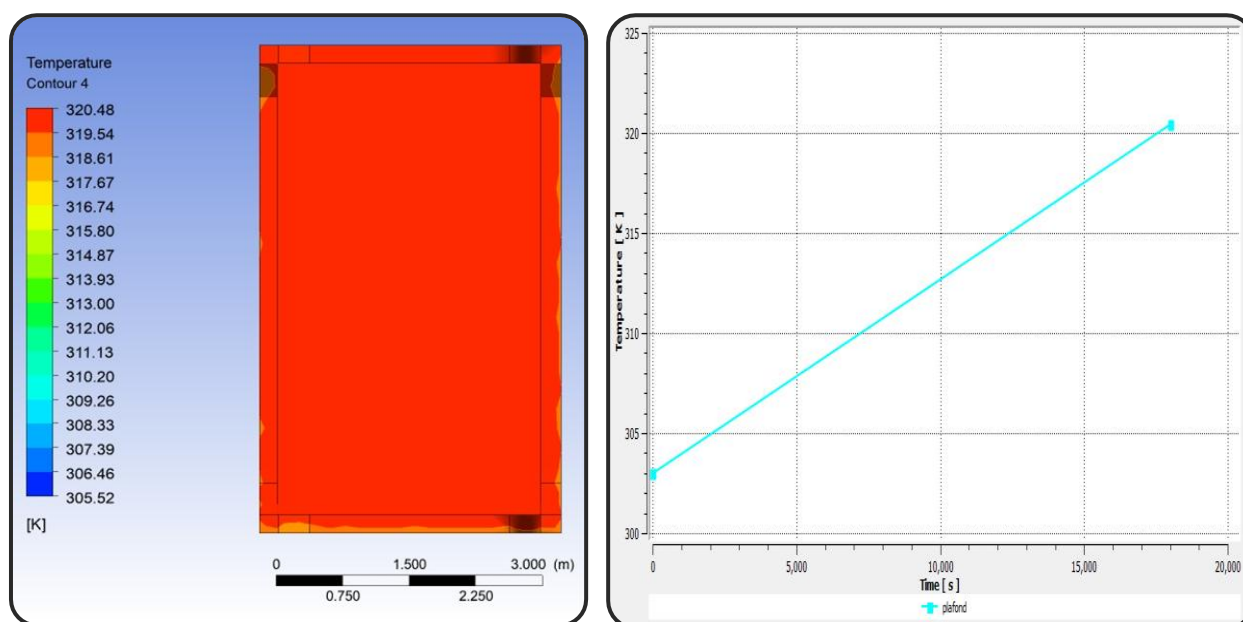


Figure-III. 17 : La variation de la température du plafond d'habitation en argile.

## I.26.6 La variation de température à l'intérieur

La figure-III. 13 représente la variation de la température à l'intérieur de l'enveloppe habitable durant la journée de 13h00 à 17h00.

Nous notons que la température à l'intérieur de l'enveloppe est d'environ 314°K équivalents à 41°C, à l'entrée de l'enveloppe et de la fenêtre, on voit une température basse par rapport au centre de l'enveloppe.

Nous remarquons que la différence de chaleur entre milieu extérieur et intérieur est d'environ 5°C degrés et cette très importante pour le confort de la personne qui vit dans ces résidences (argile) par rapport aux enveloppes construites en béton.

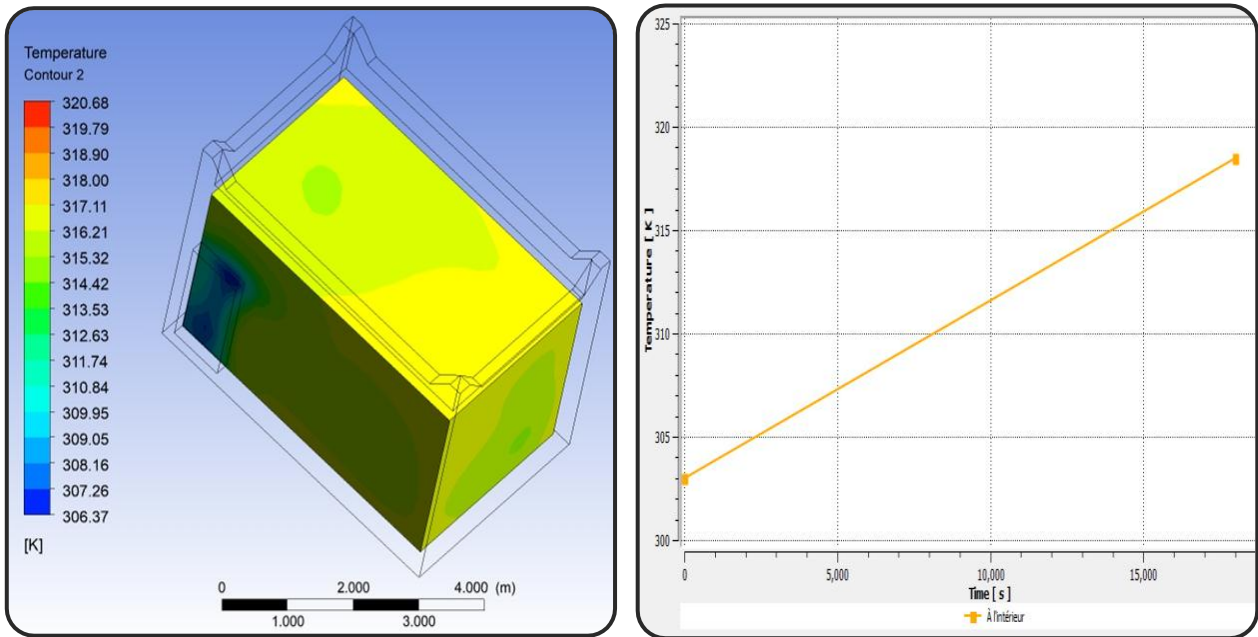


Figure-III. 18 : La variation de la température à l'intérieur d'habitation (argile).

### I.26.7 La variation de la température sur toute l'enveloppe habitable (argile)

La figure-III. 14 représente la variation de la température de la paroi Ouest de l'enveloppe habitable durant la journée de 13h00 à 17h00.

L'enveloppe en béton avec une fenêtre plus une porte est l'un des bâtiments résidentiels communs dans notre région ici à Adrar, comme nous le voyons ici, la température extérieure est d'environ 319,5°k équivalents à 46°C, du côté du plafond et le mur sud atteint progressivement à l'intérieur de l'enveloppe environ 314°k, équivalents à 41°C, et côté du sol et de la paroi nord, la température est basse par rapport à ce qui précède, ce qui la rend basse, qui est la vitesse du vent et la direction des rayons du soleil.

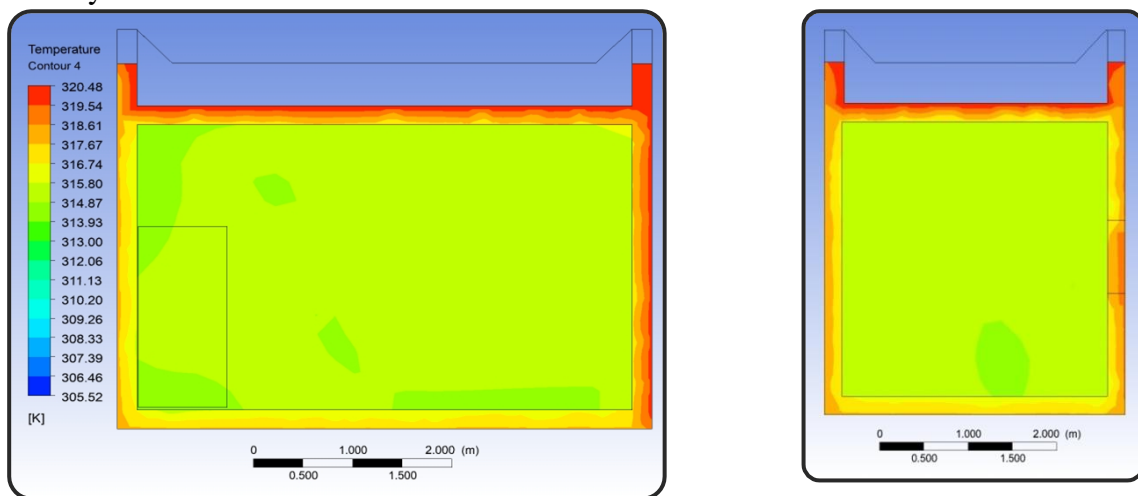


Figure-III. 19 : La variation de la température sur toute l'enveloppe habitable (argile).

### I.27 La variation de la Vitesse et le mouvement de l'air dans l'enveloppe habitable

La figure-III. 15 représente le flux d'air, les particules d'air sont perturbées par la porte et la fenêtre en raison du vent venant du nord, se propageant en spirale en raison de la forme géométrique de l'enveloppe, puis l'air est distribué dans toute l'enveloppe, apportant une partie de la température externe vers l'intérieur, ce qui aide à la ventilation mais augmente la température interne légèrement.

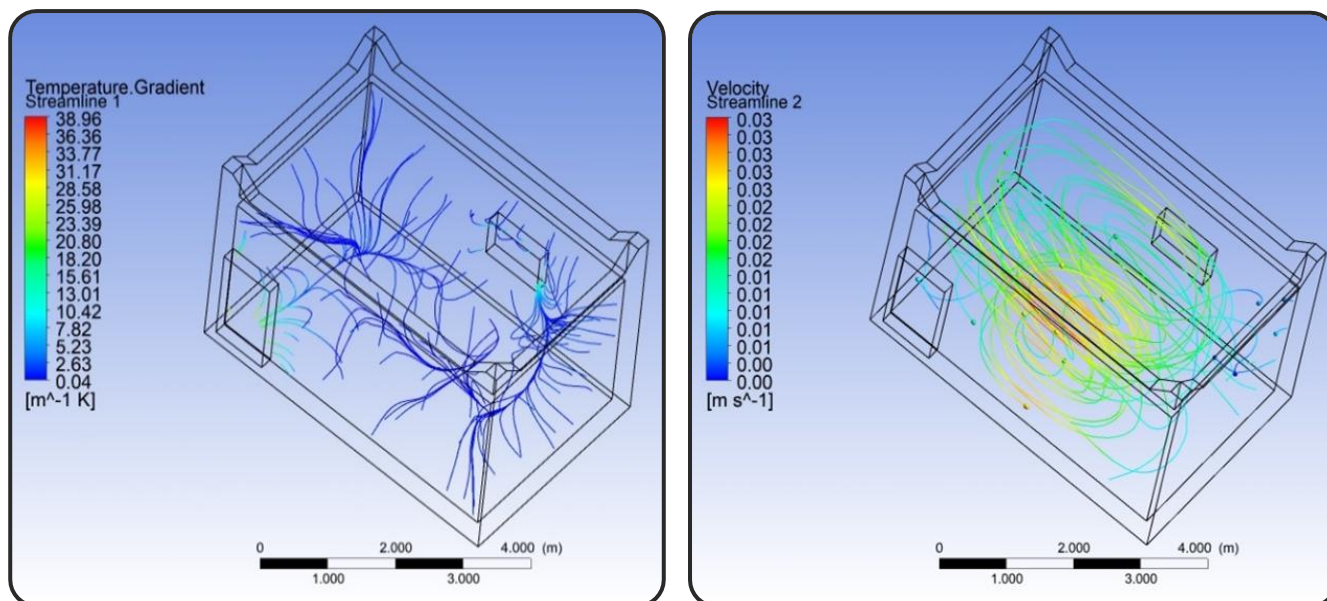


Figure-III. 20 : La variation de la Vitesse et le mouvement de l'air dans l'enveloppe habitable.

### I.28 Conclusion

Nous avons présenté des résultats de notre code numérique qui sont basés sur l'approche plus générale de la mécanique des fluides numérique ("Computational Fluid Dynamics" ou CFD). Les équations utilisées sont les équations régissant le mouvement des fluides, les équations de Navier Stokes, qui nous a donné la possibilité de simuler l'écoulement de l'air et l'évolution de la température à l'intérieur du bâtiment considéré. Les résultats obtenus sont en parfaite accord avec ceux d'autres auteurs qui traitent des problèmes similaires.

# **Conclusion Générale**

La compréhension du concept climatique représente un élément crucial dans la conception de l'espace habité, l'exemple du climat méditerranéen qui est caractérisé par une combinaison des valeurs élevées de température et d'humidité de l'air qui peut produire des conditions inconfortables en période d'été, des stratégies adéquates sont nécessaires afin de créer une symbiose parfaite avec l'environnement.

Une étude bien détaillée était réalisée afin de connaître la température des faces externes des parois, ainsi que la température de l'air interne de l'habitat.

Le modèle de la tache solaire est établi sous le logiciel FLUENT qui permet de localiser précisément la tache solaire sur la surface du sol à différents moments.

L'évaluation du confort thermique au sein de l'environnement habitable, les équations ces sont : l'équation de continuité qui traduit le principe de conservation de masse, les équations de Navier-Stokes qui traduisent le principe de conservation de la quantité de mouvement et l'équation de l'énergie qui représente le principe de conservation de l'énergie, qui régissent le phénomène de transfert de chaleur en régime turbulent, la modélisation du transfert thermique, les hypothèses simplificatrices ainsi que les conditions aux limites et initiales de toutes les frontières du domaine.

Les modèles numériques développés pour la modélisation des échanges thermiques dans l'enveloppe habitable donnent des valeurs ajoutées dans le domaine de la modélisation des systèmes de chauffage solaires à usage individuel.

Les résultats numériques de cette étude sont très encourageants car ils permettent de confirmer la contribution de ce type d'installation dans le confort d'été dans le bâtiment pour les conditions climatiques de la ville d'Adrar au sud de l'Algérie.

## Références et bibliographiques

- [1] Oudrane A, Aour B, Hamouda M., " *Le comportement thermodynamique d'une enceinte habitable située dans le site d'Adrar*", 1st National Conference on Applied Energetics, Mémoire de magistère, Université Ahmed Draia ADRAR (2020).
- [2] D. Siret, " *Modélisation déclarative des modulateurs d'ambiance dans le projet architectural et urbain*", Revue internationale de CFAO et d'Informatique graphique, Vol. 10 - n° 5/1995, pp. 523-537 (2014).
- [3] J. François Augoyard, (2019), " *Du confort à la notion d'ambiance*", HAL Id: hal-02104269. pp.79-99
- Magisters
- [4] M.Mohammed, " *Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public*" Mémoire de magistère en architecture Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Septembre 2012.
- [5] M. BENZAAMA, " *étude du confort thermique dans l'habitat par des procédés Géohéliothermiques*", Thèse de doctorat, université de reims champagne-ardenne, mai 2017.
- [6] N. Kadri et A. Mokhtari, (2011), "Contribution à l'étude de réhabilitation thermique de l'enveloppe du bâtiment", *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 14, 301 – 311.
- [7] B. GIVONI, " *L'homme, le climat et l'Architecture*", édition du Moniteur, Paris 1978, p.39.
- [8] N. Sotehi, " *Caractéristiques Thermiques des Parois des Bâtiments et Amélioration de L'isolation*", Thèse de doctorat, université mentouri constantine algerie, 2010.
- [9] B. FADILA et E. KHADRA, " *caractérisation thermo-physique des matériaux locaux à base d'argile*", Mémoire de magistère, Université Ahmed Draia ADRAR, 2017.
- [10] Z. Fati, T. David Y. K., K. Barkwendé Jude, and O. Emmanuel, (2020), " *Valorization of Local Construction and Technique : Hygrothermal Behavior, Thermal and Visual Comfort of a Nubian Vaulted Construction in Sahelian Climate of Ouagadougou* ", Article in *Journal of Applied Science and Technology*, 39(29), 110-123

- [11] S. Naima, B. Lahcen, H. Hassan et B. Brahim, (2019), "Effet de l'inertie thermique du sol sur l'Énergie du sous-sol peu profond Performance dans différents Climat du Maroc ", *Article in Journal of Thermal Science and Engineering Applications, Vol. 12, 10.1115/1.4045223*.
- [12] I. Kossi B, O. Emmanuel, S. Vincent, K. Florent P, O. Abdoulaye et B. Diendonné Joseph, (2018), "New Materials for Thermal Insulation in Rural Construction", *Article in Journal of Applied Science and Technology, 29(4): 1-10*.
- [13] B. Lahcen, B. Mustapha, H. Mustapha, B. Brahim et A. Fatima, (2017), "Moisture content influence on the thermal conductivity of insulating building materials made from date palm fibers mesh", *Article in Journal of Applied Science and Technology, Construction and Building Materials, at ScienceDirect, Vol 148, 881-823*.
- [14] S. Naima, B. Lahcen, H. Hassan, (2016), "Soil Inertia and Shallow Basement Envelope Impact on Cellar Internal Temperature", *Article in Journal of Renewable Energy and Sustainable Development (RES D), 2(1), 2356-8569*.
- [15] G. NASSIMA, Etude numérique des transferts thermiques couplés dans une cavité fermée, Mémoire de magistère, Université ferhat
- [16] O. ABDELLATIF, "*Contribution à la Modélisation et au Développement des Systèmes de Chauffage Solaire à Usage Individuel*", Thèse de doctorat, Ecole Nationale Polytechnique d'Oran - Maurice Audin, 2018.
- [17] B. JULIEN, "*Contribution à la modélisation hygrothermique des bâtiments: Application des méthodes de réduction de modèle*", Thèse de doctorat, Université de grenoble -France, 2014.
- [18] B. MOHAMMED HICHEM, "*etude du confort thermique dans l'habitat par des procedes geoheliothermiques*", Thèse de doctorat, université de Reims Champagne-Ardenne - Jury, 2017.
- [19] M .Gómez \*, M.A. Álvarez Feijoo, C. Roberto, Pablo Eguía J L. Míguez and P. Jacobo, (2012), "CFD Simulation of a Concrete Cubicle to Analyze the Thermal Effect of Phase Change Materials in Buildings", *Energies, vol(5), 2093-2111*.
- [20] S.A.H. MOHAMED, "*Modélisation Analytique et Simulation Numérique de L'Evaluation de l'Efficacité Energétique des Bâtiments*", Thèse de doctorat, université mohammed V-RABAT, 2016.

- [21] J. MOUNIR, " *Modélisation numérique de transfert de chaleur et de mass dans local ventilé*", Mémoire de magistère, Université Mohamed Khider – Biskra, (2006).
- [22] B. LAHCEN, " *caracterisation thermophysique des materiaux et modelisation des transferts couples de chaleur a travers un batiment*", Thèse de doctorat, universite ibn zohr Ecole nationale des sciences appliquees — agadir (2008).
- [23] S. WASSILA et Z. FATIMA ZOHRA, " *Simulation numérique des transferts thermique dans un cuisson de four cimentrie*", Mémoire de magistère, Université Djilali Bounaama - Khemis Miliana, (2015).
- [24] O.D.R. Maria De Los Ángeles, " *Système de stockage et transfert d'énergie par chaleur latente adaptable au rafraîchissement d'air en bâtiments: Conception et analyse thermique*", Thèse de doctorat, Université de Bordeaux— France (2018).
- [25] H. Moungar, A. Boubeghal, S. Oudjdi et W. Braham Chaouch (2011), "Séchage solaire des produits alimentaires - Caractérisation et modélisation du rayonnement solaire du site d'Adrar par deux approches semi empiriques", *Revue des Energies Renouvelables ICESD'11 Adrar*, 221-226