

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية  
Université de Ghardaïa

N° d'enregistrement



كلية العلوم والتكنولوجيا  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
قسم الآلية والكهر وميكانيك  
Département de Automatique et électromécanique  
Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme  
**Master**  
Domaine: Sciences et de la Technologie  
Filière: Energie renouvelable  
Spécialité: Energie renouvelable en Electrotechnique

## Thème

**Estimation des saisons réelles de la région de Ghardaïa pour  
l'incorporation spécifique des matériaux actifs (MCPs)**

Présenté par :  
HAMITER Nadir  
BELLI Amira

Soutenue publiquement le 11/06/2022

Devant le jury composé de:

| Prénom et nom    | Grade | Université           | Président    |
|------------------|-------|----------------------|--------------|
| LALMI Djemoui    | MCA   | Université. Ghardaïa | Encadreur    |
| DJFFAL Rachid    | MRB   | URAER                | Co-encadreur |
| CHENINI Keltoum  | Prof  | Université. Ghardaïa | Examinateur  |
| BELGHERRAS Sifia | MCA   | Université. Ghardaïa | Examinateur  |

Année universitaire 2021/2022

# *DÉDICACE*

*Un grand merci à l'ensemble de ma famille et plus particulièrement à mes parents et mes sœurs Hafida, Hawaa, Hafssa, Aziza, et leurs enfants pour leur amour, leur confiance, leurs conseils ainsi que leur soutien inconditionnel qui m'a permis de réaliser les études pour lesquelles je me destine et par conséquent ce mémoire.*

*Mes remerciements à tous ceux qui me sont chers*

*Et à tous mes amis pendant mon parcours d'études.*

*Nadir Hamiter*

## الإهداء

الحمد لله الذي بعونه تتم الصالحات والصلاة على رسوله الكريم سيدنا محمد عليه أفضل الصلاة والسلام

بدانا بأكثر من يد وقاسينا أكثر من هم وعانينا الكثير من الصعوبات  
وها نحن اليوم والحمد لله نطوي سهر الليالي وتعب الأيام  
وخلاصة مشوارنا بين دفتي هذا العمل المتواضع.

إلى منارة العلم والامام المصطفي

إلى الأمي الذي علم المتعلمين إلى سيد الخلق

❖ إلى رسولنا الكريم سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم.

❖ يا من أحمل اسمك بكل فخر... يا من رعيتني كل هذه سنوات... يا من يرتعش قلبي

لذكرك... **ابي قدوتي**

❖ إلى ينبوع الحنان الذي لا يمل العطاء إلى من حاكت سعادتي بخيوط منسوجة من قلبها

إلى **والدتي العزيزة حفظها الله لنا ورعاها**

❖ إلى من حبهم يجري في عروقي ويلهج بذكراهم فؤادي:

**اخوتي قاسم، اسامة، وليد، وحنان**

إلى ابنة خالتي التي ساعدتني بوغلاية وصال التي سهلت عليا عديد من المهام

إلى صديقتي ريم جبريط التي لم تبخلني باي معلومة

إلى الذي وقف معي منذ بداية مذكرتي فتاة عبد الله

❖ دون أن ننسى من مد لنا يد المساعدة من قريب أو من بعيد.

**بلي اميرة**

# *REMERCIEMENTS*

La présentation de ce modeste travail m'offre l'occasion d'exprimer ma profonde gratitude à Monsieur **LALMI Djemoui** d'abord pour toutes les facilités accordées et d'avoir bien voulu accepter de diriger ce mémoire. Je suis heureux de lui exprimer ici ma respectueuse reconnaissance.

Je remercie également Monsieur **DJFFAL Rachid**, qui a bien voulu diriger ce travail pendant toute la durée de l'expérimentation et le stage pratique à l'unité d'URAER. Ses nombreux conseils ne m'ont jamais fait défaut. Nous ne saurions assez les remercier du grand honneur qu'ils nous font en jugeant ce travail. Un grand remerciement pour tous les membres de L'URAER, directeur, chercheurs et soutiens.

## Resumé :

Ce travail peut considérer comme un diagnostic pour le climat des régions arides et semi arides et entre dans le cadre de la politique du notre pays dans l'axe du securité energetique,(Ghardaïa ,cas etudier ).L'objectif essentiel c'est la détermination des saisons réellesa savoir la periode du chauffage et de climatisation pour voir quels investissements sont réalisables a fin de développer ces régions qui contiennent des potentiels solaires énormes et quelles matériaux innovants intégrant pour combattre les canicules surtout dans la période d'été, diminuer la consommation énergetiques et réduire les CO<sub>2</sub>, sans oublier d'assurer la vie des êtres humains et le confort hygrothermique des occupants. Cela concerne: la climatisation, le chauffage, le froid, la ventilation, l'eau thermique,..., etc. Pour tout ça, nous utilisons des données météorologiques calculer le degrés jour chauffage et climatisation (DJC et DJF) comparées avec celles du moteur RETScreen. Notre approche nous a permet de découvrir une méthode graphique simple afin de caractérisées les saisons de Ghardaïa , applicable pour n'importe région du monde entier. En plus elle permet la détermination réelle du confort hygrothermique de la région ainsi que les caractéristiques thermiques des MCPs adaptables au climat saharien.

## Abstract :

This work can be considered as a diagnosis of the climate of arid and semi-arid regions and is part of the energy security policy of our country (Ghardaïa, case study).

The essential objective is the determination of the real seasons, namely the period of heating and air conditioning to see which investments are feasible in order to develop these regions which contain enormous solar potential and which innovative materials integrating to fight heat waves especially in the summer period, reduce energy consumption and reduce CO<sub>2</sub>, without forgetting to ensure the life of human beings and the hygrothermal comfort of the occupants. These concerns: air conditioning, heating, cold, ventilation, thermal water, etc. For all this, we use meteorological data to calculate the heating and cooling degree days (DJC and DJF) compared with those of the RETScreen engine. Our approach has allowed us to discover a simple graphical method to characterize the seasons of Ghardaïa, applicable for any region of the whole world. In addition, it allows the real determination of the hygrothermal comfort of the region as well as the thermal characteristics of the PCMs adaptable to the Saharan climate.

## الملخص:

يمكن اعتبار هذا العمل بمثابة تشخيص لمناخ المناطق القاحلة وشبه القاحلة وهو جزء من سياسة أمن الطاقة في بلدنا (غرداية، دراسة حالة). الهدف الأساسي هو تحديد المواسم الحقيقية، وهي فترة التدفئة وتكييف الهواء لمعرفة الاستثمارات المجدية من أجل تطوير هذه المناطق التي تحتوي على إمكانات شمسية هائلة وما هي المواد المبتكرة التي تتكامل لمكافحة موجات الحرارة خاصة في فترة الصيف، تقليل استهلاك الطاقة وتقليل ثاني أكسيد الكربون، دون إغفال ضمان حياة البشر والراحة الحرارية لركابها. يتعلق هذا بما يلي: تكييف الهواء، والتدفئة، والبرودة، والتهوية، والمياه الحرارية، إلخ. لكل هذا، نستخدم بيانات الأرصاد الجوية لحساب أيام درجة التسخين والتبريد (DJC) و (DJF) مقارنةً بمحرك RETScreen. سمح لنا نهجنا باكتشاف طريقة رسومية بسيطة لوصف مواسم غرداية، قابلة للتطبيق في أي منطقة في العالم بأسره. بالإضافة إلى ذلك، فإنه يسمح بالتحديد الحقيقي للراحة الحرارية للمنطقة بالإضافة إلى الخصائص الحرارية لأجهزة PCM القابلة للتكيف مع المناخ الصحراوي.

**Les mots clés,** Climat, Saisons, Ghardaïa, hygrothermique, MCP et DJC

## Table des matières

|  |           |
|--|-----------|
| Dédicace   | 01        |
| Remerciements  | 03        |
| Resumé   | 04        |
| Table des matières   | 05        |
| Listes des tableaux  | 07        |
| Listes des figures   | 08        |
| Nomenclature   | 11        |
| Introduction générale  | 14        |
| <b>Chapitre I : Etat de l'art</b>  | <b>18</b> |
| 1. Etat de l'art sur le développement des MCPs :   | 18        |
| <b>Chapitre II : Généralité et théorie des matériaux à changement de phase (PCM<sub>s</sub>)</b> | <b>23</b> |
| 1. Introduction  | 23        |
| 2. Définition  | 24        |
| 3. Classification des matériaux à changement de phase  | 25        |
| 4. Les matériaux à changements de phase (MCPs)   | 27        |
| 5. Classification des MCPs   | 29        |
| 5.1 . Les MCPs organiques  | 29        |
| 5.2 . Les paraffines   | 29        |
| 5.3 . Les non-paraffines   | 30        |
| 5.4 . Les acides gras  | 31        |
| 6. Synthèse des travaux dans le domaine du bâtiment  | 31        |
| 6.1 Les MCP intégrés dans les murs   | 32        |
| 6.2 Les MCP sont intégrés au toit  | 35        |
| 6.3 Protection solaire avec MCP  | 37        |
| 7. Conclusion  | 38        |
| <b>Chapitre III : Modélisation numérique et résultat</b>   | <b>40</b> |
| 1. Introduction  | 40        |
| 2. Materials et méthodes   | 40        |
| 2.1 Partie expérimentale   | 40        |

|  |    |
|--|----|
| 2.1.1 Le choix du site   | 40 |
| 2.1.2 Matériels utilisés   | 41 |
| 3. Détermination des paramètres  | 41 |
| 3.1 Evolutions des températures, humidités et incidences solaire entres<br>les saisons | 41 |
| 4. Calcul du DJC et DJF  | 44 |
| 4.1 Méthode Météo  | 45 |
| 4.2 Méthode professionnelle de l'énergie   | 45 |
| 5. Détermination des saisons réelles   | 46 |
| 5.1 Détermination graphique  | 46 |
| 5.2 Evolutions des températures  | 48 |
| 5.3 Détermination des intervalles des saisons  | 48 |
| 5.4 Calcul de la longueur thermique réel moyen de chaque saison                        | 51 |
| 6. Incorporation du MCP dans l'enveloppe   | 53 |
| 7. Simulation des paramètres du confort  | 54 |
| 8. Influence des MCPs sur le confort hygrothermique                                    | 55 |
| 9. Conclusion  | 56 |
| Conclusion générale  | 58 |
| Références bibliographiques  | 60 |
| Annexes  | 68 |

## Liste des tableaux

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau.II.1</b> Température de changement de phase et chaleur latente de fusion de quelques paraffines.   | 30 |
| <b>Tableau.II.2</b> Température de changement de phase et chaleur latente de fusion de quelques non-paraffines.   | 31 |
| <b>Tableau.II.3</b> Température de changement de phase et chaleur latente de fusion de quelques acides gras.  | 31 |
| <b>Tableau.II.4</b> Compositions des différentes couches des parois des cinq cabines [Castell et al., 2010]   | 34 |
| <b>Tableau.II.5</b> Propriétés thermo physiques des MCP.  | 35 |
| <b>Tableau.III.1</b> Degrés Jour de Chauffage pour le site de Ghardaïa  | 46 |
| <b>Tableau.III.2</b> Degrés Jour de Climatisation pour le site de Ghardaïa  | 46 |
| <b>Tableau.III.3</b> Evolutions des températures réelles des intervalles limites les saisons ; de site de Ghardaïa  | 49 |
| <b>Tableau. III .4</b> Evolutions des humidités réelles des intervalles limites les saisons ; de site de Ghardaïa   | 50 |
| <b>Tableau. III .5</b> Longueur moyen de chaque saison de Ghardaïa [2013-2015]  | 51 |
| <b>Tableau. III .6</b> Lever et coucher du soleil du début de chaque saison ; durée d'insolation de chaque façade ainsi le taux d'ensoleillement pour chaque façade à Ghardaïa, pour un ciel clair orientation pleine sud.      | 51 |
| <b>Tableau. III .7</b> Lever et coucher du soleil du début de chaque saison ; durée d'insolation de chaque façade ainsi le taux d'ensoleillement pour chaque façade à Ghardaïa, pour un ciel clair orientation Est sud avec 35° | 51 |
| <b>Tableau. III .8</b> Les jours des dépenses énergétiques moyennes aux cours de toutes les saisons pendant les trio ans sélectionnés [2013_2015]   | 52 |
| <b>Tableau. III .9</b> Températures réelles de confort de la région de Ghardaïa   | 52 |



## Listes des figures

|   |    |
|---|----|
| <b>Fig.II.1</b> Cycle de fusion   | 25 |
| <b>Fig.II.2</b> Classification des matériaux de stockage selon Abhat [4]  | 25 |
| <b>Fig.II.3</b> Illustration de MCP macro-encapsulés avec de l'aluminium, des capsules Rigides, des poches souples en polymère ou des sphères plastiques [49] | 26 |
| <b>Fig.II.4</b> Illustration de MCP microencapsulés (sources : en haut RubithermTM, en bas ClimatorR  | 27 |
| <b>Fig.II.5</b> MCP microencapsulés à la forme stabilisée utilisé par Zhou [50] [51]  | 27 |
| <b>Fig.II.6</b> Principe de fonctionnement des matériaux à changements de phase.  | 28 |
| <b>Fig.II.7</b> Microbille contenant le MCP   | 28 |
| <b>Fig.II.8</b> Classification des matériaux à changement de phase  | 29 |
| <b>Fig.II.9</b> Photo de la cabine de dimensions 2.4 m × 2.4 m × 2.4 m [Cabeza et al., 2007]  | 33 |
| <b>Fig.II.10</b> Les différentes cabines des expérimentations [Castell et al., 2010].   | 34 |
| <b>Fig.II.11</b> Toiture avec MC  | 36 |
| <b>Fig.II.12</b> Salle de classe [Limited, n.d.b]   | 37 |
| <b>Fig.II.13</b> Schémas représentatifs des systèmes de protections solaires avec et sans MCP [Mehling, 2004].  | 38 |
| <b>Fig.III.1</b> Les sept zones climatiques de l'Algérie [07]   | 40 |
| <b>Fig.III.2</b> Station météorologique de L'URAER Ghardaïa, ENERCO :   | 41 |
| <b>Fig.III.3</b> Station météorologique de L'URAER Ghardaïa, allemande :  | 41 |
| <b>Fig.III.4</b> Evolutions des températures externes réelles pendant la période1 en 2013 jusqu'au 2015   | 42 |
| <b>Fig.III.5</b> Radiations solaire réelles pendant la période1 en 2013 jusqu'au 2015   | 42 |
| <b>Fig.III.6</b> Variations des humidités externes réelles pendant la période1 en 2013 jusqu'au 2015  | 42 |
| <b>Fig.III.7</b> Variations des vitesses du vent externes réelles pendant la période1 en 2013 jusqu'au 2015   | 42 |
| <b>Fig.III.8</b> Evolutions des températures externes réelles pendant la période2 en 2013 jusqu'au 2015   | 42 |
| <b>Fig.III.9</b> Radiations solaire réelles pendant la période2 en 2013 jusqu'au 2015   | 42 |
| <b>Fig.III.10</b> Variations des humidités externes réelles pendant la période2 en 2013 jusqu'au 2015   | 43 |
| <b>Fig.III.11</b> Variations des vitesses du vent externes réelles pendant la période2 en 2013 jusqu'au 2015  | 43 |
| <b>Fig.III.12</b> Evolutions des températures externes réelles pendant la période3 en   | 43 |

|  |    |
|--|----|
| 2013 jusqu'au 2015   |    |
| <b>Fig.III.13</b> Radiations solaire réelles pendant la période3 en 2013 jusqu'au 2015   | 43 |
| <b>Fig.III.14</b> Variations des humidités externes réelles pendant la période3 en 2013 jusqu'au 2015  | 43 |
| <b>Fig.III.15</b> Variations des vitesses du vent externes réelles pendant la période3 en 2013 jusqu'au 2015   | 43 |
| <b>Fig.III.16</b> Evolutions des températures externes réelles pendant la période4 en 2013 jusqu'au 2015   | 44 |
| <b>Fig.III.17</b> Radiations solaire réelles pendant la période4 en 2013 jusqu'au 2015   | 44 |
| <b>Fig.III.18</b> Variations des humidités externes réelles pendant la période4 en 2013 jusqu'au 2015  | 44 |
| <b>Fig.III.19</b> Variations des vitesses du vent externes réelles pendant la période4 en 2013 jusqu'au 2015   | 44 |
| <b>Fig.III.20</b> Détermination réelle des zones de chauffage , zone de confort [18 ° C: 27 ° C] et zones de climatisation dans la région de Ghardaïa selon les données RETScreen depuis 1960. | 47 |
| <b>Fig.III.21</b> Le (Lever et coucher) annuel du soleil, ainsi la longueur du jour pendant l'année à Ghardaïa [09]  | 48 |
| <b>Fig.III.22</b> Evolution des températures moyenne aux heures synoptiques de Ghardaïa (2012_2016) et comparées avec celles de (1940_2006) [11]   | 48 |
| <b>Fig.III.23</b> Cotation et différents emplacements du MCP dans le logement étudiant ; en rouge le par tour du logement (MCPTf1),et en bleu la séparation interne <b>et toit</b> (MCPTf2)    | 53 |
| <b>Fig.III.24</b> La conductivité thermique du MCP choisi  | 54 |
| <b>Fig.III.25</b> La chaleur spécifique du MCP choisi  | 54 |
| <b>Fig.III.26</b> Variation de la température des parois extérieures de la zone thermique considérée, du 28 au 31 Mars   | 54 |
| <b>Fig.III.27</b> Variation de la température des parois intérieures de la zone thermique considérée, du 28 au 31 Mars   | 54 |
| <b>Fig.III.28</b> Variation de la température intérieure pour la chambre 1 orientée au Sud, du 28 au 31 Mars   | 55 |
| <b>Fig.III.29</b> Variation de la température intérieure pour la chambre 1 orientée au Sud, du 28 au 31 Mars (avec MCP)  | 55 |
| <b>Fig.III.30</b> Evaluation du confort intérieur en fonction de l'humidité de l'air relative et de la température ambiante selon la norme DIN 1946  | 56 |
| <b>Fig.III.31</b> Evaluation du confort intérieur en fonction de l'humidité de l'air   | 56 |

relative et de la température ambiante selon la norme DIN 1946

**Fig.A.1** RETScreen Logiciel de gestion d'énergies propres 68

**Fig.A.2** Lieu des données climatique Ghardaïa/Noumerate, Algérie (Données climatiques) 68

**Fig.A.3** Les données climatiques annuel 68

## Nomenclature

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| S                                    | : Surface ( $m^2$ )  |
| j                                    | : Numéros de la surface intérieure (mur, porte et fenêtre) dans la zone i                                  |
| NW(i)                                | : Nombre total des surfaces intérieures (mur, porte et fenêtre) dans la zone i                             |
| T <sub>c</sub>                       | : Température de confort ( $^{\circ}C$ )   |
| T <sub>a</sub>                       | : Température ambiante de l'air ( $^{\circ}C$ )  |
| T <sub>p</sub>                       | : Température moyenne radiante du paroi ( $^{\circ}C$ )  |
| T <sub>al</sub> (n)                  | : Température de l'air de la zone n = température de l'air entrant dans la zone i ( $^{\circ}C$ )          |
| T <sub>sj</sub> , T <sub>A</sub>     | : Température de la surface j dans la zone i ( $^{\circ}C$ )   |
| H <sub>s</sub> , r <sub>s</sub> (i)  | : Humidité spécifique : masse de la vapeur d'eau par unité de mass de l'air sec ( $kg_{vap}/kg_{as}$ or %) |
| H <sub>r</sub>                       | : Humidité relative (%)  |
| H <sub>c</sub>                       | : Humidité de confort (%)  |
| P <sub>sat</sub>                     | : Pression de la saturation de la vapeur (Pa)  |
| L <sub>v</sub>                       | : Chaleur latente de la vaporisation de l'eau ( $J Kg^{-1}$ )  |
| C <sub>v</sub>                       | : Capacité calorifique à volume constant ( $J Kg^{-1} K^{-1}$ )  |
| C <sub>as</sub>                      | : Capacité calorifique de la masse d'air ( $J Kg^{-1} K^{-1}$ )  |
| H <sup>e</sup> (i)                   | : Enthalpie de la mass d'air humide entrant dans la zone i (J)   |
| H <sup>s</sup> (i)                   | : Enthalpie de la masse d'air humide sortant de la zone i (J)  |
| Q <sup>e</sup> <sub>mas</sub> (n, i) | : Débit massique transitant de la zone n à la zone k (Kg/s)  |
| Q <sup>s</sup> <sub>mas</sub> (n, i) | : Débit massique d'air sec passant de la zone i à la zone n (Kg/s)   |
| CI <sub>s</sub> , CI <sub>e</sub>    | : Puissances sensible et latentes internes (appareils, électroménagers, occupants, éclairages...) (W)      |
| P <sub>s</sub> , P <sub>e</sub>      | : puissances sensible et latentes fournies par l'installation de climatisation (W)                         |
| V(i)                                 | : Volume de la zone i ( $m^3$ )  |
| V <sub>s</sub> (i)                   | : Volume spécifique de l'air humide dans la zone i ( $m^3$ )   |
| e                                    | : Epaisseur (m)  |
| n                                    | : Numéros du nœud  |

|                   |   |
|-------------------|---|
| $\alpha$          | : Coefficient d'absorption ( $\text{L.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$ )                   |
| $\varepsilon$     | : Emissivité thermique  |
| RG                | : Eclairement solaire incident ( $\text{W m}^{-2}$ )                                |
| $\lambda$         | : Conductivité thermique ( $\text{W K}^{-1} \text{m}^{-1}$ )                        |
| $c_p$             | : Chaleur spécifique ( $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ )                           |
| $\rho$            | : Densité ( $\text{kg m}^{-3}$ )  |
| F                 | : Facteur de forme entre les surfaces d'échanges                                    |
| $\sigma$          | : Constante de Stephan-Boltzmann ( $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$ )                |
| $V_{\text{vent}}$ | : Vitesse du vent ( $\text{m s}^{-1}$ )   |
| $h_{\text{conv}}$ | : Coefficient du transfert de chaleur convectif ( $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ ) |
| MCP               | : Matériaux à changement de phase   |
| DJC               | : Degrés jour de chauffage  |
| DJF               | : Degrés jour de climatisation  |
| CO                | : Mono-oxyde de carbone   |



# **INTRODUCTION**

## **Générale**

## Introduction générale

Le climat de notre planète est basé sur des saisons, ces saisons classées en deux grandes catégories, qui sont des saisons astronomiques et réelles. Les saisons astronomiques dont l'équinoxe sont les saisons printemps et l'automne, et les solstices qui sont l'été et l'hiver. Le comportement reste pratiquement le même à l'échelle mondiale [1], par contre les saisons réelles diffèrent d'une région à l'autre. Cela est dû à plusieurs paramètres [2] : La détermination des périodes intersaisons réelles, thermiquement idéales et confortables d'un manière passif est basée sur plusieurs paramètres [3], parmi elles :

- Le début et la fin de fonctionnement des appareils ; tels que le chauffage et la climatisation [4].
- Les degrés Jour de chauffage (DJC) et les degrés Jour de climatisation (DJF) sont à réduire le plus faiblement possible [5].
- Le confort hygrothermique intérieur est assuré naturellement dans les intervalles de confort par des températures ( $20 < T_c < 29$ ;  $25\% < H_c < 80\%$ )
- Les températures externes sont plus proches des températures internes (Amplitude des températures entre l'extérieur et l'intérieur du logement qui elles, sont faibles).
- Les vitesses des vents.
- La pression atmosphérique, l'ensoleillement et la précipitation.

Donc on peut dire que l'**enjeu** dans ces périodes, c'est d'éviter l'utilisation au maximum les systèmes de chauffage et de climatisation actives et en même temps assurer naturellement le confort hygrothermique (l'inertie du logement et la ventilation naturelle), sur la base de **stockage sensible**; qui est difficile et cela pour à cause de l'influence de plusieurs indices liés aux êtres humains ou les habitations (logements) elles-mêmes [6], tels que le Métabolisme humain (l'âge, le sexe, la fatigue,...etc.), la température ambiante de l'air ( $T_a$ ), les températures moyennes radiantes des parois ( $T_p$ ), l'humidité relative de l'air ( $H_r$ ), la vitesse de l'air, l'orientation du bâtiment, les différents matériaux utilisés, l'isolation,...etc.) .

En plus le déséquilibre thermique interne, tous ces anciens problèmes peuvent être partiellement résolus par l'application de nouvelles techniques et approches, parmi elles, l'utilisation de matériaux intelligents appelés matériaux à changement de phase (**MCPs**), en anglais; Phase change Materials (**PCM**), qui sont des matériaux actifs, basés sur le principe du **stockage latent**, leurs températures de fusion sont plus proches de ces températures de confort souhaité (entre  $18^\circ\text{C}$  et  $30^\circ\text{C}$ ).

Le stockage et le déstockage de ces matériaux basés sur les phénomènes endothermiques-exothermiques dont la forme de leur variation est sinusoïdale (au-dessus et au-dessous de ces températures de fusion).

Plusieurs recherches sur ces utilisations, le choix et l'intégration de ce nouveau matériau ont été faits par de grands scientifiques, cette intégration basée sur l'utilisation des matériaux à changement de phase dans le tissu de la construction et de l'habitat, et en plus de cela, le choix s'est réduit à une **seule** température de fusion dont l'intervalle de confort est entre 17°C et 30°C. Ces problèmes thermiques essentiels liés aux bâtiments, provoquent beaucoup de dangers et problèmes sociaux économiques tels que: les problèmes des mono oxyde de carbone (CO) et des dégâts sur la vie des occupants: En Algérie; par exemple; **Le nombre de personnes décédées est de 49 personnes en 2017 entre le 1er Janvier et 09 Février dû en raison du monoxyde de carbone émis par les différents systèmes de chauffage et systèmes (ECS) au niveau national [7-8]**, Les factures élevées de chauffage et climatisation, les effets de serre ( l'augmentation de CO<sub>2</sub> dans la planète), le déséquilibre thermique dans le logement,...etc. Le climat n'est pas le même dans le monde entier et dans tous les pays eux-mêmes grâce (au changement climatique radicale, la géographie de chaque région, etc.), par exemple dans le cas de notre pays l'Algérie, le climat varie du nord au sud, et il se divise en sept principales zones climatiques (A, B, B', C, D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>), chacune de ces zones est différente climatiquement à l'autre. Notre étude se base sur la région de Ghardaïa, qui présente un climat critique grâce à sa situation au sud de l'Algérie. Elle appartient à la zone climatique **D<sub>1</sub>**. Cette ville a connu un hiver un peu froid qui a duré trois mois (Décembre, Janvier et Février) et un été très chaud et sec de cinq mois (Mai, Juin, Juillet, Août et Septembre). En plus des perturbations printanières à cause des vents de sable entre Avril et Mars, par contre, la saison d'Automne été la plus stable (Octobre et Novembre). Cela a influé sur les dépenses énergétiques de la période estivale des mois [Mai, Juin, Juillet, Août et Septembre], est presque ; **plus avec une fois et demi (3/2)**; avec celles de la période hivernale des mois [Décembre, Janvier et Février]. D'après les travaux de [9] des valeurs de 16893.4 KWH pour l'été 2014 et 12738 KWH pour l'hiver des années [2013\_2014], respectivement, ont été diagnostiqués. Cette étude a donné pour résultats: des dépenses énergétiques de 28 % pour l'hiver, 13 % pour le printemps, 42 % pour l'été et 17 % pour l'automne. Afin de soulever ces problèmes cités au-dessus, notre travail se base sur une **idée nouvelle**. L'intégration des matériaux à changement de phase à différentes températures de fusion (**MCPTf1** et **MCPTf2**), dans les intervalles de confort [19°C, 30°C]; l'un pour la saison d'hiver, situées entre 19°C et 23°C, et l'autre pour la saison d'été situées entre 25°C et 29°C. Les objectifs principaux de ce projet sont l'élimination radicale de chauffage et climatisation active dans les périodes intersaisons. Cela profitera au maximum aux équinoxes (l'automne et le printemps) pour assurer un confort hygrothermique, car la différence entre les températures moyennes (amplitudes) de la nuit et de la journée (diurne et nocturne), des équinoxes ne sont pas grandes, elles restent acceptables [**entre -5 et +5**], par contre les amplitudes des solstices restent importantes dans toutes les régions sahariennes et les hauts plateaux de l'Algérie (**entre 0 et 30**) [10]. Malheureusement, nous restons devant l'échec thermique des deux solstices et surtout dans la période d'été. L'aspect technique de cette nouvelle idée, nous permettra de retarder les rentrées des saisons critiques



thermiquement (l'hiver et l'été) et accélérera la sortie de ces périodes. Une **prolongation** du temps des intervalles réels des deux périodes d'équinoxes se fait par un choix précis et l'intégration spécifique de deux matériaux intelligents (MCPs). Pour le bon fonctionnement du stockage et du déstockage des MCPs, l'utilisation de ces MCPs abaissera la consommation énergétique liée au chauffage, à la climatisation et la diminution des gaz à effets de serres. Ces matériaux retarderont et amortiront les pics des températures dans des périodes de canicule d'une façon diphasée et l'éloignement de temps [marche-arrêt] des appareils. Cela influera sur l'amélioration de l'aspect sociaux-économique et deviendra une réalité tangible avec ces techniques d'intégration.

Notre travail qui est le premier en son genre, et qui consiste à déterminer les saisons réelles de ces régions, les températures et les humidités exactes de confort ainsi que l'utilisation et l'étude réelle des deux MCPs dans le tissu de construction. Dans un premier temps, il consistera par un choix de site, une construction d'une grande base de données météorologique de ce site grâce aux deux stations [ENERCO (Série400et500), Allemande]. Pour comparer ces données avec les données climatologiques du moteur RETScreen de [1980 \_2006] et les données de l'Office National de Météo (ONM) de Ghardaïa. Suite à cela, on calculera les degrés Jour de chauffage (DJC) et les degrés Jour de climatisation (DJF) et afin de déterminer exactement les saisons réelles thermiques et de faire des calculs de simulation. Par la suite, on choisira des journées dans des intervalles entre les saisons et on déduira l'impact socio-économique réel dû à l'intégration des **MCPs** dans le tissu des bâtiments multizones de la région de Ghardaïa. Le plan de travail est reparti comme :

Le premier chapitre contient une étude récapitulative des travaux précédents sur l'incorporation des MCPs .Dans un deuxième chapitre des généralités et des théories des MCPs sont regroupés, tandis que le troisième chapitre est consacré aux résultats avec leurs interprétation et on clôture par une conclusion générale et des perspectives.



# **CHAPITRE I**

*État de l'art*

# CHAPITRE I : Etat de l'art

## 1. Etat de l'art sur le développement des MCPs

Il est bien connu que l'utilisation de systèmes de stockage d'énergie thermique (SET) adéquats dans le secteur du bâtiment et de l'industrie présente un potentiel élevé d'économies d'énergie. L'utilisation du stockage d'énergie thermique peut surmonter l'inadéquation entre l'offre et la demande d'énergie ; Son utilisation dans les systèmes actifs et passifs permet l'utilisation de l'énergie résiduelle, les stratégies de modification des charges de pointe et l'utilisation rationnelle de l'énergie thermique. Les avantages de l'utilisation de SET dans le système électrique sont une efficacité et une fiabilité globales améliorées, ainsi qu'une efficacité accrue, des coûts d'investissement et d'exploitation réduits, moins de pollution environnementale et moins de CO<sub>2</sub> [11].

Les concepts de stockage utilisés dans le secteur de la construction sont divisés en systèmes actifs et passifs. Les systèmes SET passifs peuvent améliorer efficacement les sources de chaleur naturelles pour maintenir le confort dans les bâtiments et minimiser l'utilisation de systèmes mécaniques de chauffage ou de refroidissement. Ces systèmes incluent une utilisation accrue des façades ventilées, de la masse thermique, des effets d'ombrage à lamelles, des vitrages à couches, du chauffage solaire et du refroidissement naturel (ventilation nocturne).

D'autre part, l'utilisation de systèmes SET actifs offre un degré élevé de contrôle sur les conditions internes et améliore la manière dont l'énergie thermique est stockée. Ces systèmes sont généralement intégrés dans les bâtiments pour fournir un refroidissement gratuit ou pour faire passer la demande de chaleur des conditions de pointe aux conditions creuses dans de multiples applications telles que les systèmes d'eau chaude ou les systèmes CVC [12].

Une façon de stocker l'énergie thermique qui a fait l'objet de plusieurs études est l'utilisation de matériaux à changement de phase (PCM). Ces derniers, intégrés aux structures d'enceinte, permettent d'augmenter son inertie thermique grâce à leur chaleur latente, ce qui permet d'accumuler/éprouver des réserves d'une grande quantité d'énergie [13].

Les matériaux à changement de phase, appelés "PCM", sont des matériaux "intelligents" basés sur l'application d'un principe physique simple : ils se liquéfient en absorbant de l'énergie au-delà d'une certaine température caractéristique pour chaque type de matériau (en général, fixé par leurs formulations) et libèrent cette énergie lorsque la température de leur environnement est inférieure à celle-ci. Les matériaux à changement de phase sont utilisés dans divers domaines : stockage de l'énergie solaire, caisses réfrigérantes pour le transport de produits sensibles, systèmes de mémoire permanente en informatique (stockage d'informations sans utilisation d'électricité dans le verre/cristal à changement de phase : PRAM), systèmes de climatisation (réfrigérants). ), l'industrie textile (par exemple l'habillement), ainsi que dans le domaine de la construction de bâtiments, où ils sont utilisés

dans des systèmes passif et actif [14]. Plusieurs chercheurs et intervenants dans le domaine du stockage caché, notamment à l'aide de matériaux intelligents (MCP) ; montrer l'importance de ces substances dans le domaine des bâtiments et de l'efficacité énergétique parmi eux ; D. Arun Kumar et al. En 2020 [15] et dans le cadre de la réduction de la consommation d'énergie pour les applications du bâtiment telles que le refroidissement et le chauffage montrent que le matériau à changement de phase (PCM) joue un rôle important, il peut être intégré dans une conception de bâtiment conventionnelle. Et les matériaux efficacement. Il agit comme une barrière thermique et minimise également le gain de chaleur dans la pièce.

ZX. Li et al en 2019 [16] dans une étude montre qu'une approche passive de stockage d'énergie thermique latente incorporant des matériaux à changement de phase (PCM) est une méthode brillante pour résoudre les problèmes de consommation d'énergie dans les bâtiments. Cet article a étudié la performance thermique des murs de construction conventionnels à Ispahan, en Iran, avec l'inclusion de différents RCP et avec différents emplacements. Les résultats montrent que les caractéristiques de la paroi à base de MCP sont fortement affectées par la conductivité thermique, l'enthalpie de la transition de phase et la température de fusion du MCP.

Yelina Cascone et al en 2018 [17] dans une contribution scientifique à la rénovation d'un bâtiment en Italie construit entre 1946 et 1970, des optimisations ont été réalisées pour minimiser les besoins énergétiques du bâtiment pour le chauffage et le refroidissement et le coût des "investissements ; explique l'importance d'intégrer de nouveaux matériaux à changement de phase (PCM) à différents endroits dans le tissu des bâtiments anciens énergivores sous les climats méditerranéens.

L. Erlback et al en 2018 [18] dans une étude expérimentale donnent ajustement des caractéristiques thermiques en modifiant la forme des inclusions de PCM dans les blocs de béton. Les PKM sont constitués de différentes formes (cube, plaques planes, cylindriques et sphériques) pour étudier l'évolution des transferts de chaleur et de la convection lors des phases de chauffage, de fusion, de cristallisation et de refroidissement. Par conséquent, un système de test a été développé pour chauffer un bloc de béton par rayonnement et le refroidir avec un flux d'air froid, une couche mince

Miriam Bahrar et al. En 2018 [19] avec une étude numérique et expérimentale de l'utilisation de matériaux à changement de phase microencapsulés (MCP) dans des panneaux de béton armé textile pour stocker l'énergie dans un élément de façade afin d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments. Les résultats ont montré une augmentation de la capacité de stockage de chaleur et de l'inertie thermique du béton armé textile avec MCP, ainsi que l'importance de ce type de substance dans le domaine du stockage de chaleur.

Stéphane Guichard en 2016 [20], leur thèse de doctorat s'inscrit dans une démarche de maîtrise de l'énergie dans le bâtiment avec un projet intitulé ; « Contributions à l'étude des parois complexes

contenant des matériaux à changement de phase : modélisation, expérimentation et évaluation des performances énergétiques générales. Composite Materials and Construction », l'objectif de cette contribution est de trouver des solutions passives pour atteindre des performances énergétiques élevées grâce à l'incorporation spécifique de nouveaux matériaux à changement de phase (PCM) dans les tissus corporels. Matériaux aux formes solides-liquides stabilisées sont utilisés pour stocker l'énergie thermique sous forme de chaleur latente, les résultats obtenus prouvent l'effet du MCP sur le confort humain.

Vincent BASECQ en 2015 [21], deux prototypes ont été développés dans le cadre de sa thèse de doctorat intitulée ; « Développement d'un mur collecteur/accumulateur solaire pour le chauffage des bâtiments très basse énergie », le premier est utilisé dans le monde réel en s'intégrant dans la façade d'un bâtiment existant, le second est réalisé dans un banc expérimental contrôlé en laboratoire, et enfin une maquette numérique de ce mur a été développée. Ce modèle Celui développé est composé de trois sous-modèles : l'un pour l'effet de serre, l'autre pour le comportement thermique du STU, qui combine le RCP, et le dernier pour le retour de chaleur à l'air frais entrant. Les résultats expérimentaux obtenus sont comparés à des résultats numériques qui montrent clairement l'importance des matériaux à changement de phase (PCM).

Xing Jin et al. En 2014 [22], ainsi que pour réduire le taux de transfert de chaleur, améliorer la capacité de stockage de chaleur et réduire les fluctuations de la température de l'air intérieur, et décaler le taux de transfert de chaleur maximal d'heures complètes ; et avec une contribution expérimentale, il intègre un écran thermique en matériau à changement de phase (PCM) dans la cavité des murs du bâtiment. La concentration de PCM était de 10 % du poids de la plaque de plâtre. Les flux thermiques de pointe sont réduits à 11 % ; et également dans cette étude, il est prouvé que pour une plus grande réduction des flux de chaleur de pointe, l'emplacement optimal du RCP doit être situé près de la surface intérieure du panneau mural.

Juan Pablo Arcamendia López en 2013 [23], dans ces travaux de sa thèse intitulée "Méthodologie de conception des matériaux architecturaux pour le stockage dissimulé dans le secteur du bâtiment". Il a suggéré la méthodologie est dite "méthodologie top-down", cette dernière comporte trois échelles : échelle construction (haut), échelle système et échelle matériau (bas). Évaluer les indicateurs de performance. Un outil numérique a été développé qui simule un système de stockage de chaleur latente de l'échangeur de chaleur de type air/PCM. Ils montrent ensuite qu'avec une plaque multicouche contenant des clous et du PCM, les propriétés matérielles requises sont atteintes. De plus, pour répondre aux exigences de propriétés fonctionnelles, la conception du système est modifiée en ajoutant des nervures sur la surface.

Julien Borderon en 2012 [24] a soutenu sa thèse de doctorat sur le sujet ; "L'intégration de matériaux à changement de phase dans un système de contrôle dynamique du renouvellement thermique" prouve

clairement l'intérêt, l'importance et l'efficacité de ce type de substances MCHP (Triple Combinaison de Paraffines Microencapsulés). Arrière améliorer le confort thermique et réduire les dépenses énergétiques dans les bâtiments grâce à une nouvelle technologie combinant matériaux à changement de phase (PCM) et ventilation

Serge EcomiAngo, 2011 [25], dans le cadre de sa thèse de doctorat intitulée ; « Contribution à l'accumulation d'énergie thermique dans les bâtiments :développement d'un système actif avec des matériaux à changement de phase", il a conçu, calculé et fabriqué un système actif avec des matériaux à changement de phase (PCM) pour le refroidissement et le chauffage passifs d'une habitation, puis dans cette thèse prouve clairement l'importance du stockage caché (MCP ) et le système installé ont montré leurs performances et refroidi l'air ambiant pendant les 6 jours de démonstration.

Xavier Fauré en 2007 [26], dans leur projet de doctorat, qui s'inscrit dans la thématique dite ; « Coque Hybride pour Bâtiments à Haute Performance Energétique ». Enregistrement de cette thèse sur le thème des structures de fermeture des bâtiments à hautes caractéristiques énergétiques. Un nouveau concept de coque hybride a été proposé : en hiver, le chauffage est assuré par des capteurs solaires thermiques à air reliés à des panneaux inertiels (avec des matériaux à changement de phase). La circulation de l'air dans les cavités à l'intérieur de la coque transfère l'énergie des capteurs vers le dispositif de stockage ; chaleur excessive en été sont absorbés par les panneaux inertiels puis évacués la nuit du fait d'une ventilation excessive des cavités d'air en circuit ouvert. Des études paramétriques montrent l'intérêt du système proposé : une réduction de la consommation de chaleur de 30 à 50% est obtenue, le nombre d'heures de surchauffe est considérablement réduit. L'épaisseur des panneaux inertiels est de 1 cm pour le stockage de chaleur latente contre 5 à 8 cm selon le climat pour le stockage de chaleur sensible.

C.Arkar et al. En 2007 [27] a utilisé MCP comme support de données. Le refroidissement est intégré au système de ventilation mécanique pour le refroidissement passif des bâtiments. Le dispositif était rempli de sphères de paraffine RT20 encapsulées ; La modélisation numérique a montré que le PCM avec un point de fusion de 20°C à 22°C est le plus adapté à ce système dans le cas d'un climat continental. Une analyse de température dans un bâtiment à faible demande a montré que la méthode de refroidissement domestique ventilé/PCM est une méthode efficace.



# **CHAPITRE II**

## **Généralités et théories des MCPs**

## **Chapitre II : Généralités et théories des matériaux à changement de phase (PCM<sub>s</sub>)**

### **1. Introduction**

En Algérie, le secteur de la construction est le secteur le plus énergivore. Sa consommation représente plus de 42 % de la consommation totale. En 2005, la consommation nationale d'énergie totale a atteint 17 millions de tep.

Face à une augmentation constante de la consommation d'électricité, alimentée à la fois par la croissance démographique et l'utilisation accrue des appareils électroménagers en Algérie, le concept d'efficacité énergétique émerge aujourd'hui avec urgence alors que le marché algérien regorge de produits à forte intensité énergétique.

Une répartition de la consommation d'électricité des ménages par usage montre une part de 32 0/0 pour les luminaires, 28 0/0 pour un réfrigérateur, 220/0 pour un téléviseur, 100/0 pour un climatiseur et 40/0 pour un lave-linge. Le post-froid, selon l'APRUE\*, est à l'origine d'une perte d'énergie de 400/0 due au dépassement. Selon l'ONS\*\*, de 2000 à 2006, le parc frigorifique domestique algérien a augmenté de 1 348 276 réfrigérateurs et 1 154 087 climatiseurs.

APRUE\* : Agence Nationale pour le Développement et la Rationalisation des Usages de l'Energie.

ONS\*\* : Service National de la Statistique.

Ainsi : les enjeux en termes d'efficacité énergétique deviennent de plus en plus importants. Le choix d'une conception de bâtiment avec un bilan énergétique satisfaisant est motivé par plusieurs facteurs. La bonne utilisation de l'énergie thermique passe avant tout par une bonne réception et conversion de cette énergie, en contournant les problèmes de stockage et en réduisant les stocks.

En règle générale, les méthodes de stockage et de récupération sont le résultat de changements de température dans le matériau de construction intelligent. Les matériaux intelligents (conventionnels et MCP) sont entrés sur le marché pour réduire le besoin de climatisation en été. Intégrés à l'intérieur des bâtiments, ces matériaux permettent d'améliorer les performances énergétiques de l'enveloppe tout en augmentant l'inertie thermique. De par leur capacité à accumuler et à dégager de grandes quantités de chaleur, ils représentent une solution intéressante aux problèmes de confort.

Les actions de maîtrise de l'énergie proposées pour ce secteur portent notamment sur l'intégration du MCP et de l'isolation thermique dans les bâtiments (rénovation et bâtiments à construire dans le futur) ; ce qui réduira d'environ 40 % les dépenses énergétiques pour le chauffage et la climatisation des logements.



Le besoin de consommation d'énergie est réduit. Perte et donc gain. L'utilisation de matériaux de transition favorables (PCM) dans les murs peut résoudre ce problème en raison de la chaleur latente exceptionnelle qu'ils échangent lors du transfert de chaleur.

Refroidir les bâtiments en stockant l'énergie thermique avec des matériaux à changement de phase (PCM) dans les bâtiments est un processus naturel largement utilisé depuis l'Antiquité.

L'utilisation de matériaux à changement de phase (PCM) encapsulés doit permettre de stocker/récupérer l'énergie solaire ou domestique. L'application dans les bâtiments augmentera le confort thermique des utilisateurs et réduira la consommation d'énergie, ainsi que les émissions de CO<sub>2</sub> dans l'environnement.

Le principe de fonctionnement est le suivant : les matériaux à changement de phase fondent et absorbent l'énergie thermique excédentaire lorsque la température de l'air dans l'enveloppe du bâtiment dépasse leur point de fusion (le jour). Cette transition de phase permet de refroidir l'air correspondant. La nuit, l'air à l'extérieur du bâtiment refroidit et durcit le PCM.

Le niveau de rayonnement sur le mur est significativement plus élevé dans une direction et plus faible dans l'autre. L'efficacité de leur protection dépend donc de leur orientation.

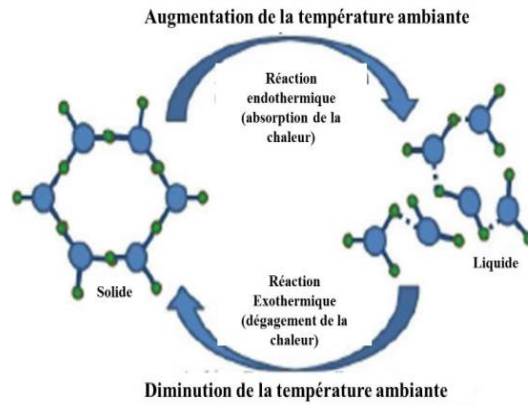
Les matériaux à changement de phase sont des matériaux "intelligents" basés sur l'application d'un principe physique simple : ils se liquéfient, absorbent l'énergie à une température spécifique caractéristique de chaque type de matériau (généralement déterminée par leur composition), et récupèrent cette énergie à une température ambiante plus basse. Que grâce à sa grande capacité de stockage de chaleur latente, le MCP peut être utilisé dans de nombreuses applications : comme stockage d'énergie solaire, pour améliorer le confort thermique des bâtiments.

## **2. Définition**

Un matériau à changement de phase (PCM) est une substance composée de molécules.

Son principe est simple. Lorsque la température augmente, le matériau change de phase de

Solide à liquide. La réaction étant endothermique, le PCM absorbe la chaleur. De la même façon, lorsque la température diminue, le matériau change de phase de liquide à solide (Figure. II.1). La réaction étant exothermique, le RCP dégage de la chaleur [47]

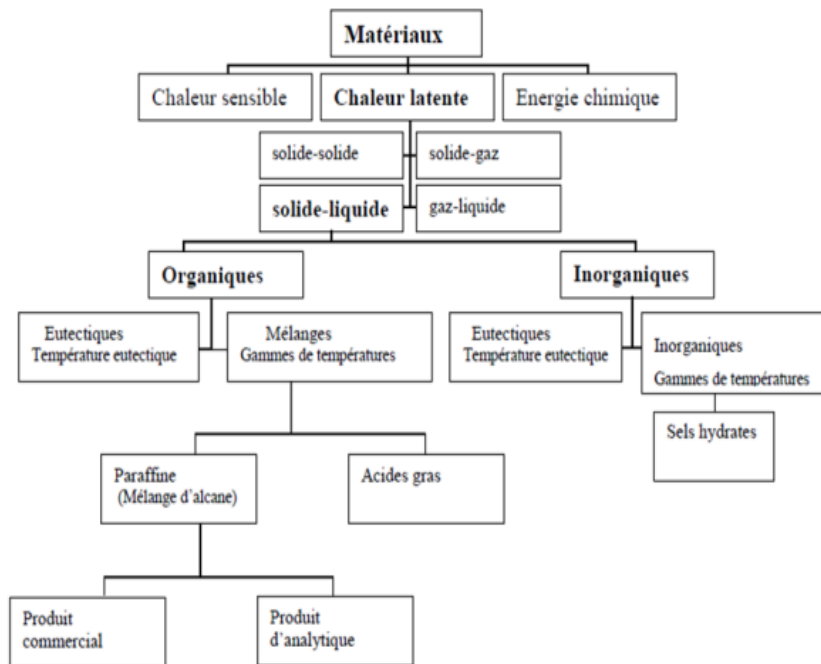


**Fig.II.1** Cycle de fusion [28]

Ce type de matériau a la capacité de stocker et de libérer de l'énergie lorsqu'il change de forme de chaleur latente. La conservation de la chaleur latente peut être obtenue en changeant de phases. Le MCP utilise la chaleur latente du changement de phase pour contrôler la température dans une certaine plage. L'énergie utilisée pour changer de phase le matériau (la température de transition de phase est proche de la température ambiante confortable souhaitée) se traduira par un climat intérieur plus stable et confortable.

### 3. Classification des matériaux à changement de phase

Plusieurs auteurs ont travaillé sur la classification des MCP [50]. Nous avons la classification d'Abhat [4] présentée dans la figure suivante sous forme de tableau récapitulatif, qui répertorie tous les matériaux utilisés pour stocker l'énergie thermique



**Fig.II.2** Classification des matériaux de stockage selon Abhat [29]

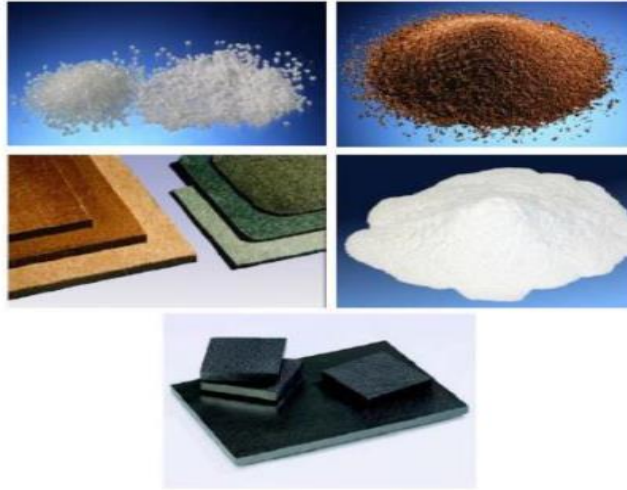
Le PCM peut être divisé en deux groupes : composés organiques et composés inorganiques. Les composés organiques sont principalement composés des paraffines et les acides gras, tandis que les composés inorganiques sont principalement des sels hydratés.

Les substances utilisées comme MCP doivent être conditionnées pour être intégrées dans le bâtiment, soit directement, soit dans un système actif ou passif. Il existe deux manières principales de traiter cela : la macro encapsulation et la micro encapsulation. Le MCP à semi-conducteurs doit toujours rester en place. Souvent, au moins un additif est intégré au MCP lors du scellement pour améliorer une de ses caractéristiques ou éliminer un défaut grave, par exemple, l'ajout de graphite augmente la conductivité thermique du milieu. La macro encapsulation est l'inclusion de MCP dans une "enveloppe" dure, dure ou non. Les flux de chaleur traverseront cette coque, qui ne doit pas avoir une résistance thermique élevée. Dans le cas d'un MCP qui présente un changement d'empreinte lors d'un changement d'état, un espace libre adéquat doit être fourni. Dans une enveloppe. Sur la fig. II. 3 montrent des exemples de macro encapsulation.

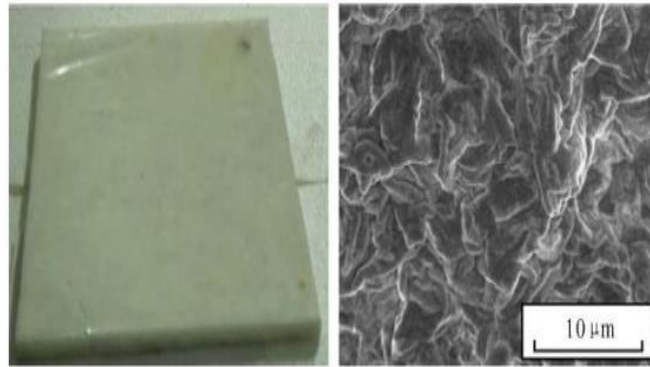


**Fig.II.3** Illustration de MCP macro-encapsulés avec de l'aluminium, des capsules[30]

Rigides, des poches souples en polymère ou des sphères plastiques [54] la micro encapsulation consiste en l'encapsulation de particules sphériques ou oblongues MCP dans un film de polymère moléculaire. Ces particules peuvent ensuite être insérées dans une matrice compatible avec un film pour former un composé macroscopique homogène. Sur la Figure II.4 montre des illustrations de MCHP micro encapsulés. Dans la FigureII.5, le MCP est intégré dans une matrice en polyéthylène haute densité. L'avantage de l'assemblage est qu'il contient plus de 80% de paraffines et a une forme stable dans l'espace jusqu'à ce que le point de fusion du polyéthylène soit atteint.



**Fig.II.4** Illustration de MCP microencapsulés [32]

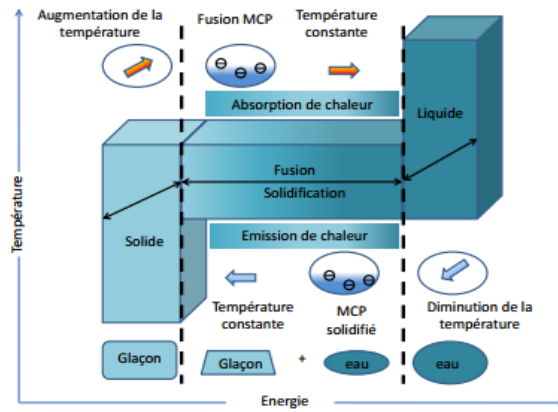


**Fig.II.5** MCP microencapsulés à la forme stabilisée utilisé par Zhou [33]

#### **4. Les matériaux à changements de phase (MCPs)**

Les matériaux à changement de phase (PCM) sont des composés qui retiennent et libèrent la chaleur latente lors de la transformation de phase (solide-liquide) à température constante.

Le principe de leur fonctionnement est simple, il est représenté sur la FigureII.6. Pour la transformation de la glace en eau, qui se produit à des températures supérieures à 0 °C, les matériaux à transition de phase changent d'état (solide-liquide) en fonction de leur point de fusion.

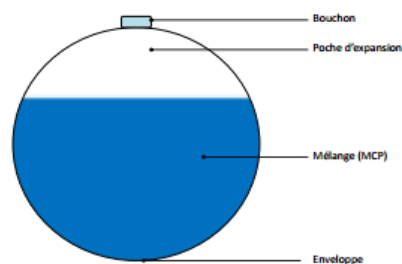


**Fig.II.6** Principe de fonctionnement des matériaux à changements de phase.

Le même principe s'applique aux bâtiments. Une fois que la température du matériau à changement de phase atteint son point de fusion, il commence à fondre et absorbe une partie de l'énergie qui l'entoure afin de la stocker en grande quantité, dès que la température devient plus faible, l'énergie stockée est libérée.

Présents sous forme de microbilles (Fig.II.7), ils sont utilisés pour renforcer l'inertie thermique des bâtiments légers et sont conçus pour faciliter leur intégration dans tous les matériaux de construction tels que trottoirs, parpaings, dalles Placoplatre, etc. De plus, leurs dimensions microscopiques ne permettent pas de casser les billes contenant le produit, et offrent donc un niveau de risque quasi nul, c'est-à-dire le premier ne peut fuir les balles dans aucune phase. Leur cycle de vie est estimé à 30 ans.

Les MCP sont également utilisés dans de nombreuses applications industrielles :



**Fig.II.7** Microbille contenant le MCP [34]

L'isolation thermique des bâtiments, climatisation passive, chauffage et production d'eau chaude sanitaire, applications médicales : transport du sang, thérapie par l'air chaud et froid, réduction des effets exothermiques des réactions chimiques, refroidissement des moteurs dans l'industrie automobile, protection thermique des composants et circuits électroniques, récupération de la chaleur de

l'incinération des déchets (le MCP utilise de l'acétate de sodium tri hydraté), énergie solaire , systèmes thermiques dans l'aérospatiale, l'industrie textile, etc.

## 5. Classification des MCPs

Les matériaux modifiés sont nombreux et disponibles dans toutes les gammes des températures désirée. Les PCM peuvent être divisés selon leur nature chimique en trois catégories (organique, inorganique et eutectique) comme la montre ( Fig. II.8).

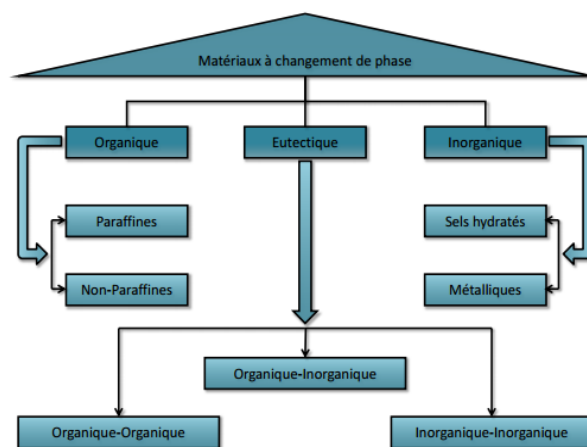
Un grand nombre de matériaux chimiques organiques et inorganiques peuvent être identifiés comme MCP en termes de température et de chaleur latente de transition de phase. D'autre part, le point de transition de phase dans la plage de fonctionnement pour la plupart qui ne répond pas aux critères d'un support de stockage adéquat. Pour pallier ces inconvénients, après considération des différentes familles de matériaux à changement de phase, des solutions seront proposées.

### 5.1. Les MCPs organiques

Dans la matière organique, on distingue les paraffines et les non-paraffines [58]. Les matières organiques ont des mélanges congruents, ce qui signifie qu'elles peuvent être solide et liquide à plusieurs reprises sans provoquer de séparation de phases ni de dégradation depuis leur chaleur latente. La cristallisation se produit à une surfusion presque nulle, dans certains cas, il est non agressif.

### 5.2. Les paraffines

Les paraffines normales de type  $C_nH_{2n+2}$  sont une famille d'hydrocarbures saturés, les propriétés physiques sont très similaires. Paraffines avec nombre d'atomes de carbon 5 à 15 est caractérisé par un liquide et le reste par un solide cireux.



**Fig.II.8** Classification des matériaux à changement de phase [50]

La cire de paraffine est un mélange obtenu à partir de chaînes de n-alcanes  $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_n\text{-CH}_3$ . Lors de la cristallisation de la chaîne ( $\text{CH}_2$ ), une quantité importante de chaleur latente est dégagée. Plus cette chaîne est longue, plus la température et la chaleur latente de fusion seront élevées. La paraffine est largement utilisée car elle est : sûre, fiable et non réactive [Hasnain, 1998], a un cycle de fusion long, non agressif, chimiquement inerte et stable ( $< 500\text{ }^\circ\text{C}$ ). Il est compatible avec tous les contenants métalliques et s'intègre facilement dans les systèmes de stockage d'énergie thermique. Pendant la transition de phase le changement de volume et la pression de vapeur sont faibles. Cependant, il a aussi les propriétés indésirables lors de son utilisation. En effet, la paraffine est inflammable.

Faible conductivité thermique et n'est pas compatible avec les contenants en plastique (imprègne et adoucit ces derniers). Cependant, ces défauts peuvent être atténués en modifiant légèrement ses propriétés thermo physiques et son bloc de stockage. Selon [50], les plus prometteurs d'entre eux sont listés dans le tableau suivant :

| Les paraffines               |   |  |
|------------------------------|---|--|
| Numéro de l'atome de carbone | Température de mélange ( $^\circ\text{C}$ ) | Chaleur latente de fusion ( $\text{Kj} \cdot \text{Kg}^{-1}$ ) |
| 16                           | 16.7  | 237.1  |
| 18                           | 28  | 244  |
| 20                           | 36.7  | 246  |

**Tableau. II.1** Température de changement de phase et chaleur latente de fusion de quelques paraffines.

### 5.3. Les non-paraffines

Il s'agit de la plus grande famille de matériaux à changement de phase dont les propriétés sont vraiment différentes. Ils sont considérés comme la catégorie la plus nombreuse pouvant servir le stockage d'énergie thermique. Des études ont été menées [51] pour identifier les candidats potentiels pour stocker l'énergie thermique.

Cette étude portait principalement sur certaines gammes d'esters, d'acides gras, d'alcools et de glycols. Qui ont conclu que ces matériaux hautement inflammables et ne doit jamais être exposé à des températures élevées flamme ou oxydants. Ces substances organiques peuvent être divisées en groupes:

Acides gras et autres non-paraffines organiques. Pour le sous-groupe "autres non-paraffines organiques", les caractéristiques de ces matières sont les suivantes :

➤ Chaleur de fusion élevée .

- Inflammabilité .
- Faible conductivité thermique .
- Niveau de toxicité variable .
- Instabilité à haute température.

Selon [Sharma et al., 2009a], les meilleurs candidats sont présentés dans (le tableau II.2) :

| Les non-paraffines |                             |  |
|--------------------|-----------------------------|--|
| Matériau           | Température de mélange (°C) | Chaleur latente de fusion (kJ . Kg <sup>-1</sup> ) |
| Acide D-Lactique   | 26                          | 284  |
| Trimyristine       | 33-57                       | 201-213  |

**Tableau.II.2** Température de changement de phase et chaleur latente de fusion de quelques non-paraffines [52]

#### 5.4. Les acides gras

Le sous-groupe "acides gras" à une chaleur de fusion comparable à la chaleur de fusion

Paraffines. De plus, ils sont peu ou pas affectés par l'hypothermie et montrent peu de corrosion. Les acides gras peuvent être considérés comme des matières du stockage d'énergie thermique. A basse température, le tableau II.3 montre quelques acides.

Les acides gras les plus prometteurs[52]:

| Les acides gras         |                             |  |
|-------------------------|-----------------------------|--|
| Matériau                | Température de mélange (°C) | Chaleur latente de fusion (kJ . Kg <sup>-1</sup> ) |
| Acide acétique          | 16.7                        | 184  |
| Polyéthylène glycol 600 | 20-25                       | 146  |
| Acétamide               | 81                          | 241  |

**Tableau.II.3** Température de changement de phase et chaleur latente de fusion de quelques acides gras [40].

### 6. Synthèse des travaux dans le domaine du bâtiment

Les MCP peuvent être directement intégrés dans divers murs de bâtiment pour qu'il peut atteindre des performances énergétiques élevées.



Les développements MCP ont facilité leur intégration dans les murs, les toitures, les volets, les plafonds et les planchers chauffants Trombe.

L'intégration dans les enveloppes de bâtiments dépend fortement de diverses applications intentionnellement, utilisant ainsi des configurations et des caractéristiques uniques. Dans le secteur bâtiments, deux usages principaux sont identifiés, d'une part, l'usage naturel obtenu par l'énergie solaire pour le chauffage ou les nuits froides pour le refroidissement, etc.

D'autre part, l'utilisation de chaleur ou de froid provenant de sources artificielles. Disponibilité, c'est-à-dire la demande de temps et la capacité de production sont des atouts clés pour stocker l'énergie thermique. Utiliser PCM pour chauffer ou refroidir un bâtiment peut ce faire par trois manières différentes [56] :

- Intégration dans les murs du bâtiment .
- Intégration dans les éléments de construction, à l'exception des murs .
- Intégration dans des chambres chaudes et/ou froides.

### **6.1 MCP intégrés dans les murs**

Parmi toutes les applications existantes, l'intégration du PCM dans les murs est la plus populaire. Et le plus utilisé car la zone d'échange thermique est grande et efficace, mais aussi sa mise en œuvre le travail simple est pratique. Deux méthodes pour intégrer le PCM dans les murs : "immersion" et "attachement"

La méthode "immersion" consiste à intégrer des matériaux à transition de phase dans les matériaux de construction des structures enveloppantes, telles que le béton, la brique et gypse. Cette intégration peut se faire par trempage direct, macro encapsulation et Micro encapsulation. Selon l'état de l'art réalisé [67], la méthode de micro encapsulation MCP est la mieux adaptée car le MCP est encapsulé dans des polymères et la taille de la capsule de l'ordre du micromètre ne permet pas sa rupture, à condition donc consommation quasi nulle de MCP en phase liquide.

La méthode « d'attachement » consiste à attacher une ou plusieurs couches du MCP à Mur. La différence entre les deux méthodes est que MCP s'intègre directement dans le panneau mural au lieu d'être présent dans le mur principal du bâtiment. En plus de son économie et la réduction du coût global, cette méthode permet de rendre la coque esthétique bâtiments une fois achevés. C'est à ces fins que la méthode "liante" est destinée.

Plus courante et utilisée que la méthode "d'immersion". Par exemple, nous pouvons Apporter des panneaux fabriqués par Du Pont TME nergainR.

Il existe de nombreuses études et diverses applications dans la littérature concernant l'intégration du RCP au mur ont déjà été réalisés et peuvent être divisés en deux catégories :

1. un mur situé entre l'environnement interne et externe .
2. paroi intérieure.

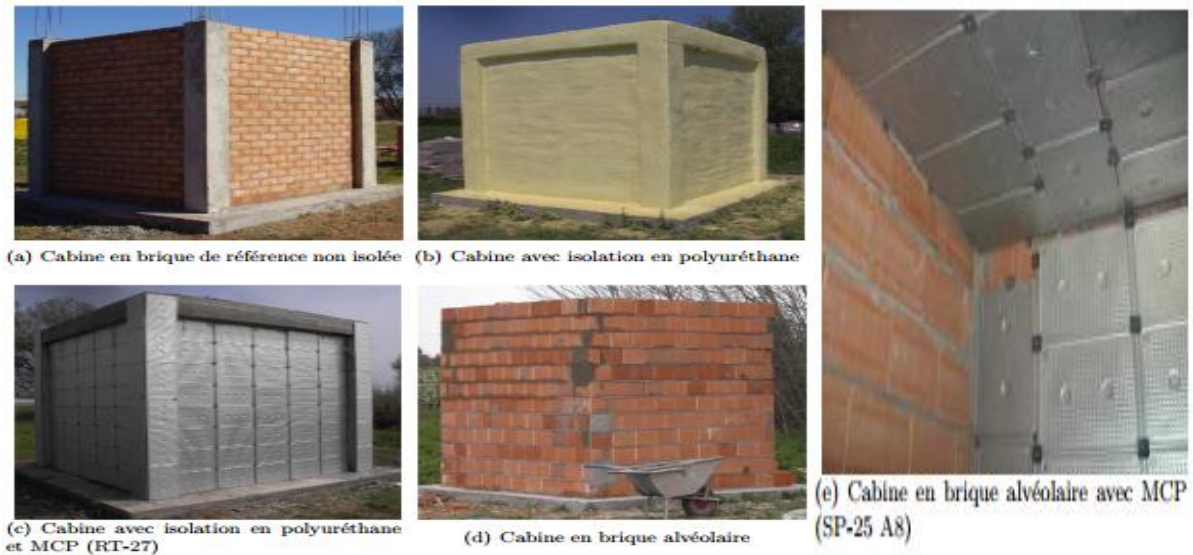
Les structures d'enceinte tiennent compte des murs situés entre l'environnement interne et externe, qui, selon des études expérimentales et théoriques, jouent un rôle important.

Comparé à mur traditionnel, les résultats de l'étude montrent que le stockage d'énergie thermique pour le mélange {béton + MCP} a une meilleure inertie thermique et permet donc des fluctuations des températures plus basses.



**Fig.II.9** Photo de la cabine de dimensions 2.4 m × 2.4 m × 2.4 m [41]

En été, en août 2008, et toujours dans le cadre du projet de l'Union européenne et le mené des recherches sur la combinaison de PCM avec des structures en briques. Spectacle l'influence du MCP, cinq chalets ont été construits avec des structures d'enceinte et différents matériaux trois maisons sur cinq sont construites en brique perforé et deux autres en briques alvéolaires MCP utilisés avec Briques creuses - RT-27, cellulaires - SP-25 A8.



**Fig.II.10** Les différentes cabines des expérimentations [42].

| Groupe                          | Type de cabine                         | Composition des couches du mur (extérieur vers intérieur)   |
|---------------------------------|--|---|
| Cabine avec briques perforées   | Cabine de référence sans isolation     | Mortier de ciment, briques creuses, lame d'air (5 cm), briques perforées, placoplâtre                                   |
|                                 | Cabine + isolation en polyuréthane     | Mortier de ciment, briques creuses, lame d'air (5cm), isolation en polyuréthane (5 cm) , briques perforées, placoplâtre |
|                                 | Cabine + isolation en polyuréthane+MCP | Mortier de ciment, briques creuses, lame d'air (5cm), isolation en polyuréthane (5 cm) , briques perforées, placoplâtre |
| Cabine avec briques alvéolaires | Cabine de référence                    | Mortier de ciment, briques alvéolaires, placoplâtre   |
|                                 | Cabine en MCP                          | Mortier de ciment, briques alvéolaires, MCP (SP-25 A28 sel hydraté), placoplâtre  |

**Tableau.II.4** Compositions des différentes couches des parois des cinq cabines [43]

| Propriétés  | RT-27     | SP-25 A28 |
|---|-----------|-----------|
| Température de fusion [°C]  | 28        | 26        |
| Température de solidification [°C]  | 26        | 25        |
| Chaleur latente [kJ .kg <sup>-1</sup> ]                                     | 179       | 180       |
| Densité solide/liquide [kg . L <sup>-1</sup> ]                              | 0.87/0.75 | 1.38      |
| Capacité thermique Solide/liquide [kJ . kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ] | 1.8/2.4   | 2.5       |
| Conductivité thermique [W . m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]              | 0.2       | 0.6       |

**Tableau.II.5** Propriétés thermo physiques des MCP.

Des deux méthodes mentionnées ci-dessus, sont divisés en deux catégories, la méthode de fixation a été retenue.. L'un correspond à une « fluctuation libre de température » sans il n'y a pas de système de refroidissement, et l'autre peut être associé à un "environnement contrôlé connecté au système de refroidissement pour obtenir une température interne constante et fixée à 24 °C. Les résultats ont conduit à des conclusions similaires à [70-71].À effet, ils ont observé une baisse de température de 1°C et des fluctuations à l'intérieur cabine cubique.

De plus, cette expérience a permis de poser le problème de la solidification pendant la nuit. Ce problème est un mauvais contrôle de la température le lendemain. Pour pallier cette lacune, une des solutions proposées est d'installer un système de refroidissement passif ou actif, ainsi que l'utilisation d'un système de ventilation associée à la coque de la cabine, y compris le MCP. En ce qui concerne les expériences sur les résultats "environnement maîtrisé" sont probants en termes d'économies d'énergie. La comparaison d'une cabine avec MCP (RT-27) et d'une cabine sans MCP conduit une réduction de 15% de la consommation d'électricité. Pour la cabine avec MCP avec température de transition de phase 25 °C (SP-25), diminution 17% de consommation d'énergie reçue. Ainsi, la réduction des émissions de CO2 est d'environ 1 - 1,5 kg • an-1 • m-2 peut être retiré.[72].

## **6.2 Les MCP sont intégrés au toit**

Les charges solaires sont plus importantes au niveau du toit d'un bâtiment car c'est la surface la plus exposée au rayonnement solaire. Le toit agit comme un "tampon". Thermique" entre l'environnement interne et externe. Pour réduire cette consommation d'énergie trois solutions peuvent être envisagées depuis le toit [73] :

Les lecteurs peuvent trouver plus d'informations sur cette expérience :

- Cas 1 : arrêter le rayonnement solaire avant qu'il n'atteigne le mur .
- Cas 2 : limitation de l'absorption d'énergie par le mur .

➤ Cas 3 : limitation du transfert d'énergie précédemment absorbée par la paroi.

Dans les cas (1) et (2) l'intervention est réalisée à l'extérieur du toit en utilisant pour le cas(1) aux toits et dans le cas de (2) aux revêtements réfléchissants. En raison de restrictions matériel, les deux premières méthodes sont limitées et nécessitent l'utilisation d'une troisième méthode qui consiste à utiliser une isolation thermique. A Chennai (Inde), [74] ; ont étudié l'effet de l'effet tampon thermique du matériau sur la transition de phase est intégrée dans le toit. Cette étude combine expérimentation et simulation numérique. Les différents composants de leur RCP intégrés au toit sont représentés sur ( fig.II.11). Des conduites d'eau sont intégrées au panneau MCP pour son refroidissement, si la température du PCM est supérieure à sa température de transition de phase.[76]



**Fig.II.11** Toiture avec MC[74]

La transition de phase est de 32°C, l'épaisseur de la couche supérieure est de 4cm. La simulation numérique montre que la couche inférieure du MCP à une température constante est proche de sa température de transition de phase, ce qui favorise la méthode PCM intégrée sur le toit. Pour des conditions climatiques données et lors de l'utilisation de la méthode de montage dans un boîtier deux MCP successifs ayant des points de fusion différents, correctement intégrés à l'enveloppe du bâtiment a fourni une nouvelle méthode pour améliorer l'effet tampon thermique et l'isolation thermique.[77]

MCP, à la fois avec des caloducs au-dessus du plafond et avec un faux plafond. ROYAUME-UNI, produits de matériaux à changement de phase limité [limité, n.d.a] diverses applications pour le contrôle passif de la température à l'intérieur des bâtiments, tandis que recourir à l'utilisation de MCP intégrés au plafond. Parmi les différentes applications, un exemple peut être donné au Royaume-Uni [Limited, b.d.]. L'entreprise a utilisé PCM comme stockage d'énergie thermique et caloducs entre le toit et le plafond dans une classe comme le montre la Figure II.12. Configurations d'application sont différents et peuvent être variés, mais en général leurs principes de base sont presque identiques [78].



**Fig.II.12** Salle de classe [79]

### 6.3 Protection solaire avec MCP :

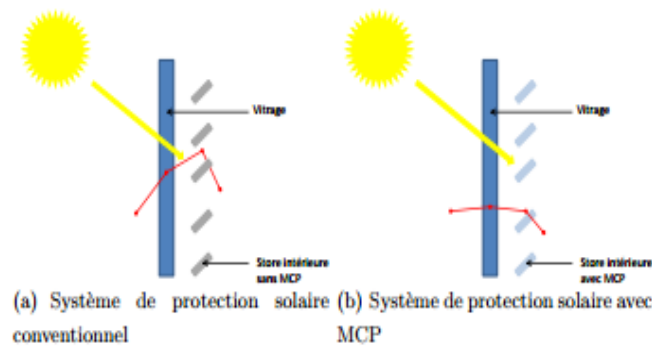
Une autre façon de renforcer l'effet tampon thermique du bâtiment consiste à utiliser des brise-soleil MCP.

Les stores solaires sont le plus souvent installés à l'intérieur des fenêtres afin qu'ils ne soient pas exposés au vent fort à l'extérieur de la fenêtre. Cependant, il s'avère que son installation à l'intérieur des fenêtres provoquera un échauffement rapide de la pièce. Partie en absorbant le rayonnement solaire à la surface des stores. Selon [79], c'est à partir de ces observations et dans la figure. II.13.

La proposé d'un système de protection énergie solaire utilisant  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  hydraté comme PCM pour augmenter la capacité de stockage la chaleur des stores et ainsi retarder la montée en température l'après-midi et faciliter la ventilation de la chaleur accumulée vers l'extérieur. Le système de protection solaire (exemple d'illustration fig. II.13 (a) et II.13 (b)) adaptée aux climats chauds l'été et est particulièrement adapté aux zones à fortes fluctuations de température jour et nuit. [80]

Les principaux résultats pour les crèmes solaires développées et testées en laboratoire sont les suivants :

- Diminution de la température maximale de l'obturateur d'environ 10–15 K.
- Diminution de la température de fonctionnement (environ 3 K) .
- Décalage de l'apport de chaleur de midi au soir .
- Amélioration du confort thermique .
- L'utilisation de RMB dans les stores les empêche d'agir comme une source Chauffer.



**Fig.II.13** Schémas représentatifs des systèmes de protections solaires avec et sans MCP[45]

La synthèse bibliographique nous a montré l'efficacité des matériaux à transition de phase.

Solide/liquide et intérêt pour l'inertie thermique pour diverses conditions climatiques. Ils augmentent le confort thermique, réduisent les factures énergétiques et réduisent l'impact environnemental.

## 7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous expliquons revue les différents types de stockage de l'énergie thermique et en identifiant le type de matériau associé. Pour contrôler les dépenses et la régulation de la consommation énergétiques, il devient donc indispensable de stocker l'énergie thermique. Pour ce faire, différents types d'unités de stockage existent et connaissent des applications grandissantes dans de nombreux domaines, en particulier dans l'isolation thermique de l'habitat. Ainsi, le choix d'une unité de stockage de l'énergie thermique doit être retenu pour l'application souhaitée. Il est donc important d'évaluer les différents types de stockage que nous pouvons rencontrer, et afin de guider le choix d'un procédé de stockage de l'énergie thermique.

En outre, dans le domaine du bâtiment, il est de première nécessité d'identifier le type de matériau pouvant servir de stockage et de déterminer ses différentes applications. Cette étape légitimera son utilisation en tant que moyen de réguler le comportement énergétique d'une ambiance donnée. Son comportement physique devra par ailleurs être décrit au moyen des équations mathématiques qui permettront de mettre en œuvre un modèle, afin de pouvoir simuler et prédire le plus fidèlement possible son comportement physique et ses impacts énergétiques.



# **CHAPITRE III**

## *Résultats et interprétations*



## Chapitre III : Résultat et interprétations

### 1. Introduction

Le changement climatique mondial a provoqué un changement majeur de comportement Des hommes dont les préoccupations actuelles luttent contre ce fléau. Pour lutter activement contre le réchauffement climatique, ils accordent une grande attention à la gestion des ressources.

L'énergie et les effets nocifs qui peuvent survenir sur l'environnement, lorsque la production et la consommation d'énergie. En effet, l'énergie est généralement produite soit par de l'énergie fossile, soit par de l'énergie nucléaire, et est donc très polluante.

Dans ce chapitre, nous vous proposons le choix du site d'étude (Ghardaïa ) et quelques matériaux utilisés dans le calcul et les mesures. Nous avons également appris certaines des caractéristiques météorologiques de la zone, qui nous aident à calculer le (DG) pour en déduire les saisons de refroidissement et de chauffage. Enfin, nous donnerons un aperçu de l'impact ou Influence des MCPs sur le confort hygrothermique.

### 2. Materials et méthodes

#### 2.1 Partie expérimentale

##### 2.1.1 Le choix du site

Notre étude a été menée sur un habitat situé dans une cité des logements fonctionnels ; URAER ; Ghardaïa d'une surface habitable de 71,3 m<sup>2</sup>, de 66 m<sup>2</sup> surface réel à chauffé et/ou refroidie, dont la hauteur des murs est de 2,8 m. Les fenêtres sont des vitrages simples, clair d'un coefficient de transmission thermique égal à  $U=5.91 \text{ W/ (m}^2\cdot\text{K)}$ . Les portes sont en bois et d'une épaisseur de 2 cm :  $\lambda = 0,14 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ,  $\rho = 500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  et  $C_p = 2500 \text{ J. kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . ( $\lambda$ ,  $\rho$  et  $C_p$  étant respectivement la conductivité thermique, la masse volumique et la chaleur spécifique).

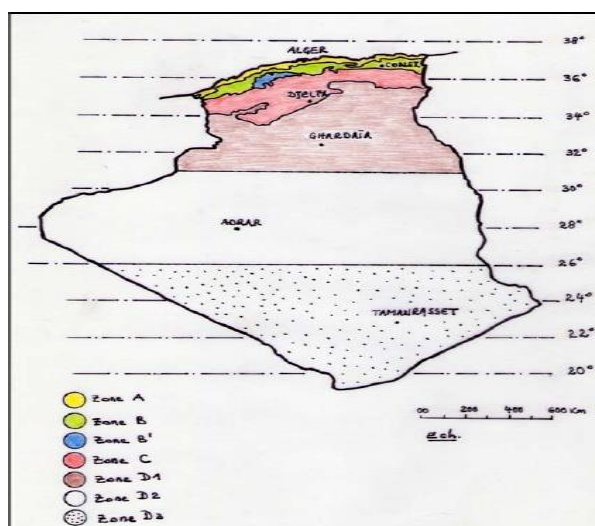


Fig.III.1 Les sept zones climatiques de l'Algérie [07]

## 2.1.2 Matériels utilisés

C'est une station performante et très spécifique, équipée avec des équipements qui mesurent plusieurs paramètres tels que : les températures, humidités, vitesse du vents, pression, rayonnement solaire, ..., etc, cette station fonctionne avec un pas de temps d'une heure (01 h), avec une précision de 0.01 (°C).



**Fig.III.2** Station météorologique de L'URAER Ghardaïa, ENERCO

Mêmes équipements comme la première (ENERCO), sauf qu'il fonctionne avec un pas de temps de dix minute (10 min) et une précision de 0.005 (°C).



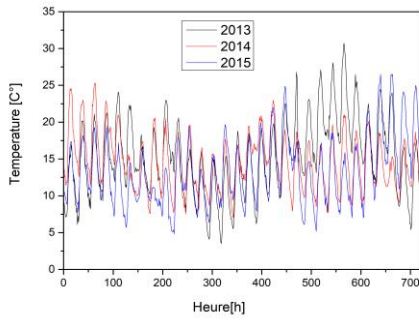
**Fig.III.3** Station météorologique de L'URAER Ghardaïa, allemande

## 3. Détermination des paramètres

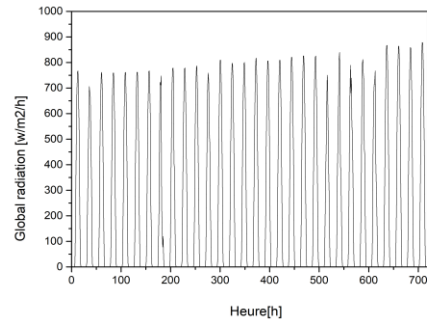
### 3.1 Evolutions des températures, humidités et incidences solaire entres les saisons

Nous rassemblons les données réelles de quatre périodes séparables entre les saisons qui début de 2013 jusqu'à 2015, nos choix commence avec les données météorologiques de la station ENERCO pendant les trois ans, pour des températures, des humidités externes, des vitesses des vents, des pressions atmosphériques et rayonnements solaire globales, des périodes sont : [14 février- 14 mars], [16 mai- 14 juin], [16 aout-14 septembre] et [15 novembre-14 décembre].

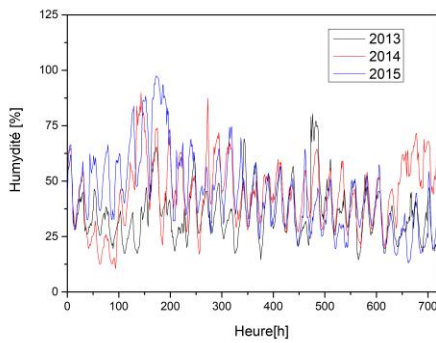
- Période 01 ; [14 février- 14 mars] de 2013 jusqu'au 2015



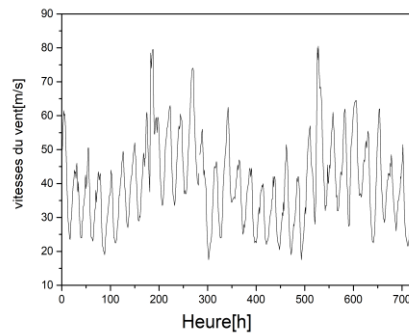
**Fig.III.4** Evolutions des températures externes réelles pendant la période1 en 2013 jusqu'au 2015



**Fig.III.5** Radiations solaire réelles pendant la période1 en 2013

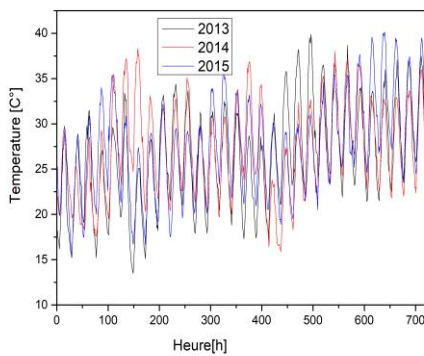


**Fig.III.6** Variations des humidités externes réelles pendant la période1 en 2013 jusqu'au 2015

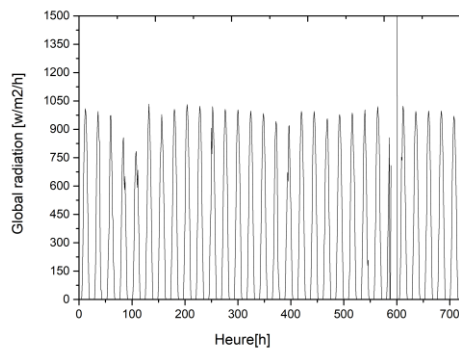


**Fig.III.7** Variations des vitesses du vent externes réelles pendant la période1 en 2013

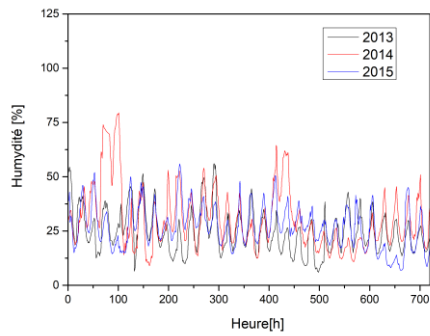
- Période 02 ; [16 mai-14 juin] de 2013 jusqu'au 2015



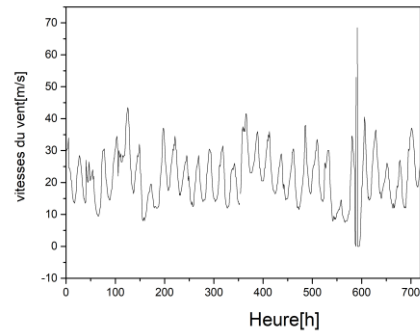
**Fig.III.8** Evolutions des températures externes réelles pendant la période2 en 2013 jusqu'au 2015



**Fig.III.9** Radiations solaire réelles pendant la période2 en 2013

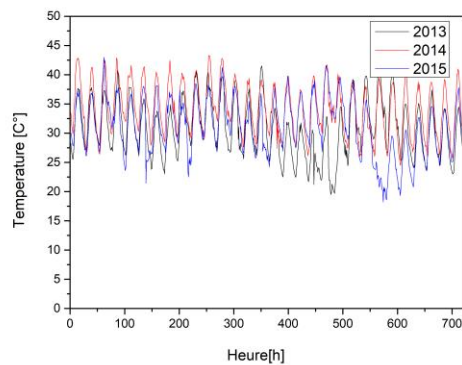


**Fig.III.10** Variations des humidités externes réelles pendant la période2 en 2013 jusqu'au 2015

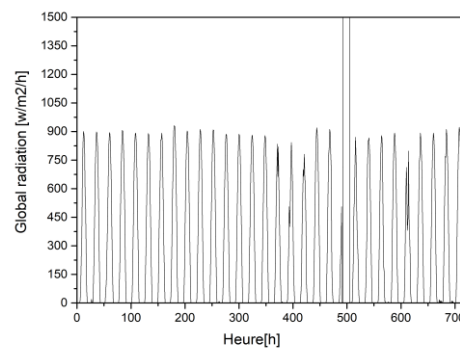


**Fig.III.11** Variations des vitesses du vent externes réelles pendant la période2 en 2013

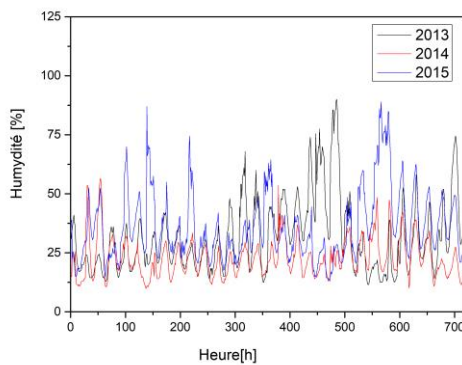
• Période 03 ; [16 août-14 septembre] de 2013 jusqu'au 2015



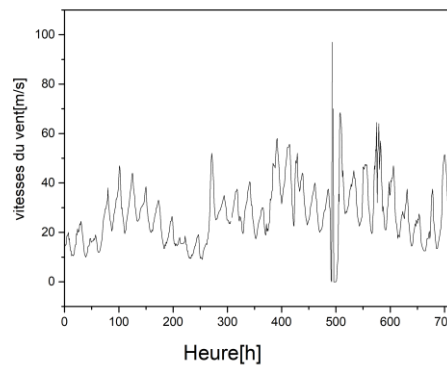
**Fig.III.12** Evolutions des températures externes réelles pendant la période3 en 2013 jusqu'au 2015



**Fig.III.13** Radiations solaire réelles pendant la période3 en 2013

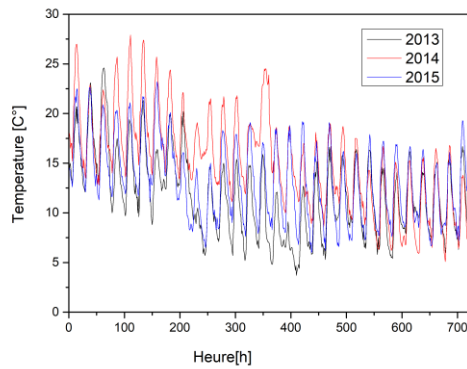


**Fig.III.14** Variations des humidités externes réelles pendant la période3 en 2013 jusqu'au 2015

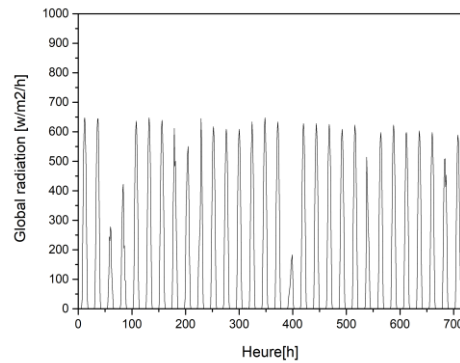


**Fig.III.15** Variations des vitesses du vent externes réelles pendant la période3 en 2013

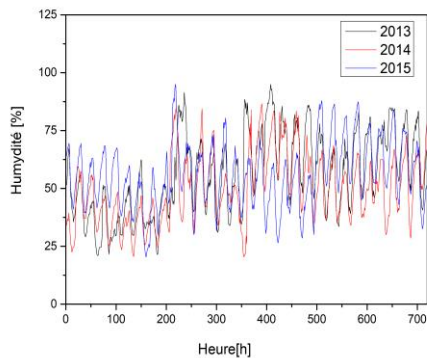
- **Période 04 ; [16 novembre-14 décembre] de 2013 jusqu'au 2015**



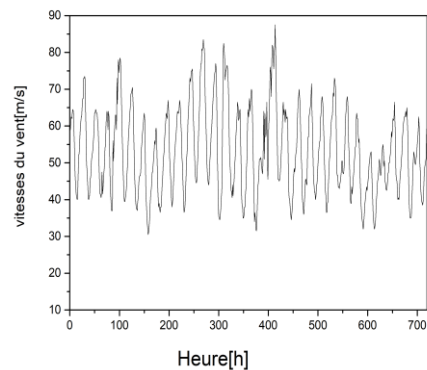
**Fig.III.16** Evolutions des températures externes réelles pendant la période4 en 2013 jusqu'au 2015



**Fig.III.17** Radiations solaire réelles pendant la période4 en 2013



**Fig.III.18** Variations des humidités externes réelles pendant la période4 en 2013 jusqu'au 2015



**Fig.III.19** Variations des vitesses du vent externes réelles pendant la période4 en 2013

Dans les figures (Fig.III.4 jusqu'à Fig.III.19) ont observé les variations les valeurs des températures, humidités, les radiations solaires réelles et les vitesses de vent pendant les quatre périodes pour la détermination des paramètres de notre région d'étude ont déduire que l'augmentation de température et déminer les radiations solaire réelles et l'humidités de 50% jusqu'à 25% , la vitesse du vent varie entre les périodes selon la saison .

Cette étude permet de connaître les caractéristiques de la zon sur laquelle notre étude est menée .

#### 4. Calcul du DJC et DJF

Pour calculer les degrés-jours ; qu'il s'agisse de chauffage (DJC) ou de climatisation (DJF), il existe plusieurs façons de le faire, dont la plus courante est ; la méthode actuelle s'appelle la "méthode experte en énergie" (cohérente avec Costco et méthodes réglementaires pour le marché de l'exploitation de la climatisation, pour la surveillance), est une méthode "météo" de calcul simple pour le moteur RETScreen [08]. L'importance du calcul des degrés-jours est que la consommation d'énergie associée au chauffage (chauffage et climatisation) du bâtiment peut être estimée. C'est donc une

évaluation de la rigueur climatique d'une année sur l'autre et d'un territoire à l'autre (comparer des bâtiments situés dans des zones climatiques différentes et comparer des années de chauffage entre elles, par exemple après un investissement).

Un degré-jour sur n'importe quel site sélectionné est une valeur représentant la différence entre les deux températures d'une journée donnée et un seuil de température préétabli.

$T_{min}$  : Température minimale du jour J mesurée à 2 mètres du sol sous abri et relevée entre J-1 (la veille) à 18h et J à 18h UTC.

$T_{max}$  : Température maximale du jour J mesurée à 2 mètres du sol sous abri et relevée entre J à 06h et

J+1 (le lendemain) à 06h UTC.  $T_{moy} = \frac{T_{min} + T_{max}}{2}$ , température moyenne de la journée.

$T_{cs}$  : Température de consigne ou seuil de température de référence choisi.

Pour notre étude :  $T_{cs1}=18^{\circ}\text{C}$  et  $T_{cs2}=27^{\circ}\text{C}$ .

Dans notre calcul, appliqué les deux méthodes suivantes :

#### 4.1 Méthode Météo

si  $(T_{cs1} < T_{moy})$ ,  $DJC = 0$ ; si  $(T_{cs1} > T_{moy})$ ,  $DJC = T_{cs1} - T_{moy}$

#### 4.2 Méthode professionnelle de l'énergie

Pour le début et la fin de la période de chauffage :

$$DJC = (T_c - T_{min}) * (0.08 + 0.42 * (T_c - T_{min}) / (T_{max} - T_{min}))$$

Pour le début et la fin de la période de climatisation :

$$DJF = (T_{max} - T_c) * (0.08 + 0.42 * (T_{max} - T_c) / (T_{max} - T_{min}))$$

| Degrés Jour de Chauffage (DJC)          | Période1 [Février-Mars] |              |       | Période4 [Novembre-Décembre] |              |       |
|---|-------------------------|--------------|-------|------------------------------|--------------|-------|
|   | 2013                    | 2014         | 2015  | 2013                         | 2014         | 2015  |
| M*: DJC, Réels                          | 16,94                   | 15,67        | 16,39 | 16,64                        | 16,38        | 15,76 |
| M*: DJC « Météo »                       | 2,60                    | 3,42         | 4,55  | 6,19                         | 2,81         | 4,79  |
| Données Recréentmoy de [1980_2005],18°C | <b>101.50</b>           |              |       | <b>138.00</b>                |              |       |
| <b>Différence Absolue</b>               | 14.34                   | 12.25        | 11.84 | 10.45                        | 13.57        | 10.97 |
| DJC moy                                 | <b>P1</b>               | <b>16.33</b> |       | <b>P4</b>                    | <b>16.26</b> |       |

**Tableau.III.1** Degrés Jour de Chauffage pour le site de Ghardaïa ; de trois ans [2013 jusqu'au 2015] de la base de 18°C ; d'après la méthode réelle (M\*: DJC, Réels) et la méthode Météo (M\*: DJC « Météo »), et comparer avec des données du moteur RETScreen moyen de 26 ans.

| Degrés Jour de Climatisation (DJF)   | Période2 [Mai-Juin] |             |      | Période3 [août- Septembre] |      |      |
|--------------------------------------|---------------------|-------------|------|----------------------------|------|------|
|                                      | 2013                | 2014        | 2015 | 2013                       | 2014 | 2015 |
| M*: DJF, Réels                       | 3,68                | 3,30        | 3,99 | 5,17                       | 7,24 | 5,62 |
| M*: DJF « Météo »                    | 0                   | 0           | 0    | 0                          | 0    | 0    |
| Données Recréent de [1980_2005],27°C | <b>82.5</b>         |             |      | <b>103</b>                 |      |      |
| <b>Différence Absolue</b>            | 3,68                | 3,30        | 3,99 | 5,17                       | 7,24 | 5,62 |
| DJF moy                              | <b>P2</b>           | <b>3.64</b> |      | <b>P3</b>                  | 6.01 |      |

**Tableau.III.2** Degrés Jour de Climatisation pour le site de Ghardaïa ; de trois ans [2013 jusqu'au 2015] de la base de 27°C ; d'après la méthode réelle (M\*: DJC, Réels) et la méthode Météo (M\*: DJC « Météo »), et comparer avec des données du moteur RETScreen de 26 ans.

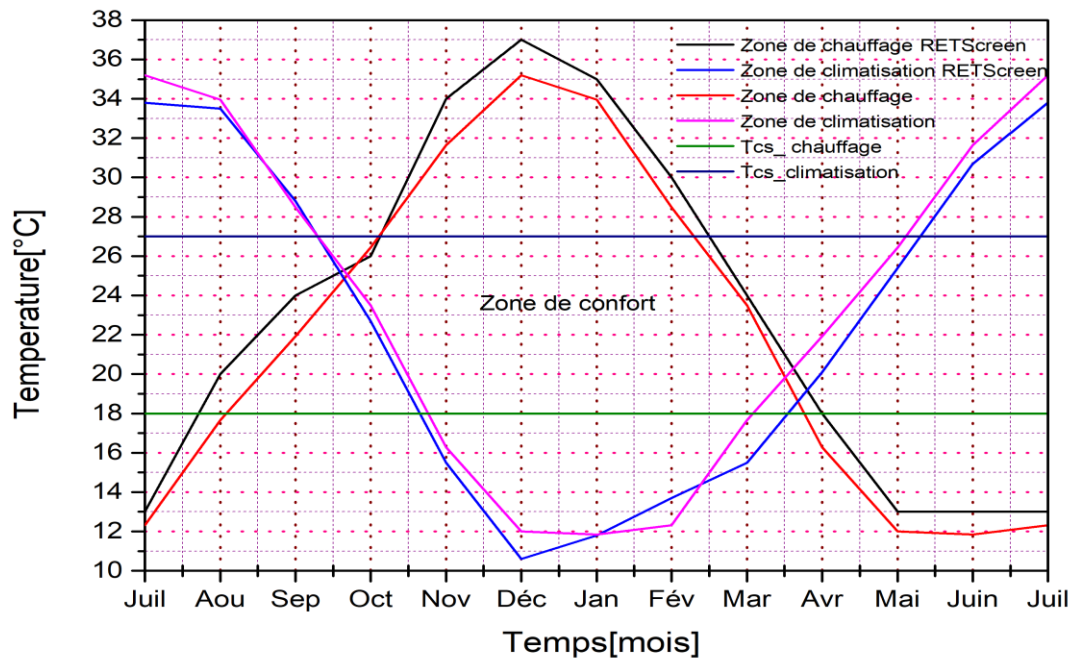
En remarquant que les résultats dans les deux tableaux (III.1 et III.2) sont comparables les uns avec les autres et en coïncidente avec celle de RETScreen, les différences soit moins, soit plus à cause de l'influence de réchauffement climatique qui est devenue une réalité en Algérie .

## 5. Détermination des saisons réelles

### 5.1 Détermination graphique

Après le calcul des Degrés Jour de Chauffage et Climatisation (DJC et DJF) pour le site de Ghardaïa, de trois ans [2013-2015], de la base des températures de seilles de 18 °C et 27 °C ; par les deux méthodes réelle et Météo, et comparées ces résultats avec celle du moteur RETScreen depuis 26 ans

(1981\_2006), les résultats obtenus sont tracés en un seul graphe représentatif, appelé le schéma intégral, qui nous donne le début et la fin de chaque saison d'une façon claire.



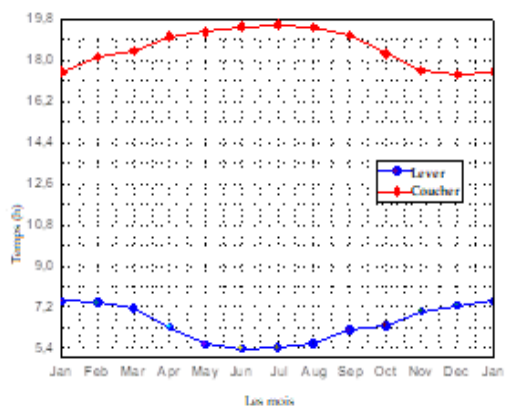
**Fig.III.20** Détermination réelle des zones de chauffage , zone de confort [18 ° C: 27 ° C] et zones de climatisation dans la région de Ghardaïa selon les données RETScreen depuis 1960.

(Fig.III.20), donne clairement et réellement par les méthodes [DJC et DJF] le début et la fin ; de saison froide (fin d'octobre jusqu'au le début de mars), les saisons de surchauffe (le début de mai jusqu'au le mi-septembre) et les saisons de confort ; pour le printemps (début mars jusqu'au la fin d'avril) et pour l'automne (la mi-septembre jusqu'au la fin d'octobre). Ces résultats pour les années (2013-2015) et bien coïncides à titre de comparaison avec celle de RETScreen depuis 1960 ; de la région de Ghardaïa. En constatant que la rentrée des saisons critiques les dernières années (été et hiver) perturbées, avancés et leur intervalle élargis et croitre à l'impact de changement climatique qui a frappé le monde entier, et devenue une réalité même pour notre pays l'Algérie.

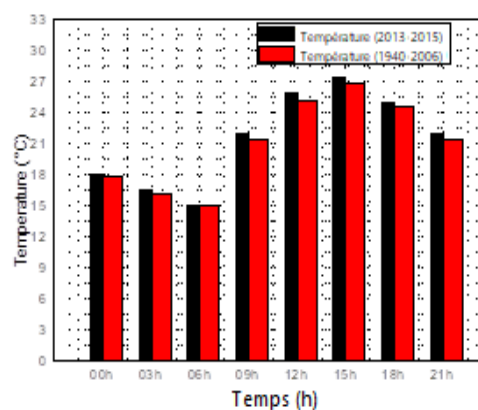
D'après ce schéma (Fig.III.20), en peut déterminer facilement par la méthode intégrable la consommation soit en chauffage, soit en climatisation et aussi la zone de confort. Suite de ça en détermine quel objectif en recherche (élimination ou réduction de l'utilisation du chauffage et climatisation), qu'elle matériau en intègre et qu'elle investissement en réalise.



## 5.2 Evolutions des températures



**Fig.III.21** Le (Lever et coucher) annuel du soleil, ainsi la longueur du jour pendant l'année à Ghardaïa [09]



**Fig.III.22** Evolution des températures moyenne aux heures synoptiques de Ghardaïa (2013\_2015) et comparées avec celles de (1940\_2006) [11]

Dans (Fig.III. 22), l'évolution des températures moyennes (Ghardaïa ) pendant les trois ans concédées dans notre travail (2013-2015); sont supérieures par rapport aux données du NASA de (1940-2006), à cause peut être du réchauffement climatique.

Dans (Fig.III. 21), représenté le lever et le coucher du soleil pour une année ce qui nous une idée grenela e su la longueur du jour .pour l'été le jour commence de 5 du matin jusqu'à 19h du soir tandis que l'hiver est très court, commencent du 7h du matin jusqu'à 5 h soir.

## 5.3 Détermination des intervalles des saisons

| Nombres d'heurs                    |  | 2013        | 2014         | 2015         | Totaux      |      |
|------------------------------------|--|-------------|--------------|--------------|-------------|------|
| <b>Périodes 1</b><br>[14/02_15/03] | T<18°C                                 | 502         | 588          | 611          | 2925        |      |
|                                    | T>18°C                                 | 214         | 129          | 106          | 654         |      |
|                                    | T>27°C                                 | 11          | 0            | 0            | 11          |      |
|                                    | <b>18°C &lt;T&lt;27°C</b>              | <b>203</b>  | <b>129</b>   | <b>106</b>   | <b>643</b>  |      |
|                                    | T <sub>moy</sub> RETS=<br><b>14,5</b>  | T=18°C      | 4            | 3            | 3           | 21   |
|                                    |  | T=27°C      | 0            | 0            | 0           | 0    |
|                                    |  | Totl        | 720          | 720          | 720         | 3600 |
| T moy S, A=<br><b>15,07</b>        | T <sub>min</sub> = en °C               | 3,5         | 7            | 4,8          |             |      |
|                                    | T <sub>max</sub> = en °C               | 30,7        | 25,3         | 26,5         |             |      |
|                                    | <b>Tmoy= en °C</b>                     | <b>15,4</b> | <b>14,58</b> | <b>13,45</b> |             |      |
| <b>Périodes 2</b><br>[16/05_14/06] | T<18°C                                 | 45          | 18           | 16           | 91          |      |
|                                    | T>18°C                                 | 673         | 702          | 701          | 3503        |      |
|                                    | T>27°C                                 | 333         | 358          | 380          | 2128        |      |
|                                    | <b>18°C &lt;T&lt;27°C</b>              | <b>340</b>  | <b>344</b>   | <b>321</b>   | <b>1376</b> |      |
|                                    | T <sub>moy</sub> RETS=<br><b>27,25</b> | T=18°C      | 2            | 0            | 3           | 6    |
|                                    | T=27°C                                 | 3           | 5            | 8            | 24          |      |

|  |   |                          |              |              |              |
|--|---|--------------------------|--------------|--------------|--------------|
| T <sub>mov</sub> S, A=<br><b>29,68</b> | Totl                                    | 720                      | 720          | 720          | 3600         |
|  | T <sub>min</sub> = en °C                | 13,5                     | 15,9         | 15,6         |              |
|  | T <sub>max</sub> = en °C                | 39,9                     | 38,3         | 40,1         |              |
|  | T <sub>moy</sub> = en °C                | <b>26,53</b>             | <b>27,1</b>  | <b>27,47</b> |              |
| <b>Périodes 3</b><br>[16/08_14/09]     | T<18°C                                  | 0                        | 0            | 0            | 0            |
|  | T>18°C                                  | 720                      | 720          | 720          | 3600         |
|  | T>27°C                                  | 549                      | 689          | 575          | 3024         |
|  | <b>18°C &lt;T&lt;27°C</b>               | <b>171</b>               | <b>31</b>    | <b>145</b>   | <b>576</b>   |
|  | T=18°C                                  | 0                        | 0            | 0            | 0            |
|  | T=27°C                                  | 4                        | 4            | 1            | 19           |
| T <sub>mov</sub> RETS=<br><b>30,25</b> | Totl                                    | 720                      | 720          | 720          | 3600         |
|  | T <sub>min</sub> = en °C                | 19,5                     | 24,5         | 18,2         |              |
|  | T <sub>max</sub> = en °C                | 41,5                     | 43,3         | 43           |              |
|  | T <sub>mov</sub> S, A=<br><b>29,305</b> | T <sub>moy</sub> = en °C | <b>30,85</b> | <b>34,18</b> | <b>31,17</b> |
| <b>Périodes 4</b><br>[16/11_15/12]     | T<18°C                                  | 664                      | 529          | 626          | 3048         |
|  | T>18°C                                  | 55                       | 182          | 92           | 532          |
|  | T>27°C                                  | 0                        | 4            | 0            | 4            |
|  | <b>18°C &lt;T&lt;27°C</b>               | <b>55</b>                | <b>178</b>   | <b>92</b>    | <b>528</b>   |
|  | T=18°C                                  | 1                        | 9            | 2            | 20           |
|  | T=27°C                                  | 0                        | 2            | 0            | 2            |
| T <sub>mov</sub> RETS=<br><b>13,5</b>  | Totl                                    | 720                      | 720          | 720          | 3600         |
|  | T <sub>min</sub> = en °C                | 3,7                      | 5,1          | 6            |              |
|  | T <sub>max</sub> = en °C                | 24,6                     | 27,9         | 23,2         |              |
|  | T <sub>mov</sub> S, A=<br><b>12,56</b>  | T <sub>moy</sub> = en °C | <b>11,81</b> | <b>15,19</b> | <b>13,21</b> |

**Tableau.III.3.** Evolutions des températures réelles des intervalles limites les saisons ; de site de Ghardaïa, pendant les trois ans de (2013 jusqu'au 2015), comparées avec les données de RETScreen de (1980\_2006).

Les tableaux (III.3 III.4) ; fournissent une vision claire et crédible du retardement de l'entrée des deux saisons critiques en matière de chaleur (été et hiver) et de l'accélération de la sortie de l'hiver en raison d'un changement de température accru. Les chances sont surtout l'humidité ; sont approches du voisinage des intervalles de confort ; de manière sinusoïdale (au-dessus et en dessous de ces températures et humidité de confort). Mais ces temps difficiles ont accéléré le retrait de la canicule estivale. D'autres observations sur la température moyenne mesurée sont comparables à celles du

moteur RETScreen et de la station allemande, et les mêmes notes pour l'humidité. Ainsi, les problèmes de confort du côté de l'humidité ne sont pas un problème pour les humains car la plupart des variations de ce dernier se situent dans la plage de confort [20%\_80%]

| Nombres d'heurs   |                          | 2013         | 2014         | 2015         | Totaux      |
|---|--------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| <b>Périodes 1</b><br><b>[14/02_15/03]</b><br><br>H <sub>moy</sub> RETS=<br><b>44.4 %</b><br><br>H <sub>moy</sub> S, A= <b>42,07 %</b>     | H<25                     | 121          | 69           | 85           | 477         |
|   | H>=76                    | 4            | 16           | 47           | 75          |
|   | <b>25&lt;=H&lt;=75</b>   | <b>595</b>   | <b>635</b>   | <b>588</b>   | <b>3048</b> |
|   | Total1                   | 720          | 720          | 720          | 3600        |
|   | H-max %                  | 80,5         | 90           | 97,5         |             |
|   | H-min %                  | 14,5         | 10,5         | 13           |             |
|   | <b>H-moy %</b>           | <b>35,72</b> | <b>44,52</b> | <b>44,52</b> |             |
| <b>Périodes 2</b><br><b>[16/05_14/06]</b><br><br>H <sub>moy</sub> RETS=<br><b>29.1 %</b><br><br>H <sub>moy</sub> S, A=<br><b>27,12 %</b>  | H<25 %                   | 412          | 303          | 312          | 1978        |
|   | H>=76 %                  | 0            | 5            | 0            | 5           |
|   | <b>25&lt;=H&lt;=75 %</b> | <b>308</b>   | <b>412</b>   | <b>408</b>   | <b>1617</b> |
|   | Total2                   | 720          | 720          | 720          | 3600        |
|   | H-max %                  | 56           | 79,5         | 56           |             |
|   | H-min %                  | 6            | 9            | 7            |             |
|   | <b>H-moy %</b>           | <b>26,65</b> | <b>30,58</b> | <b>26,94</b> |             |
| <b>Périodes 3</b><br><b>[16/08_14/09]</b><br><br>H <sub>moy</sub> RETS=<br><b>30,45 %</b><br><br>H <sub>moy</sub> S, A=<br><b>26,34 %</b> | H<25 %                   | 301          | 471          | 148          | 1566        |
|   | H>=76 %                  | 11           | 0            | 11           | 22          |
|   | <b>25&lt;=H&lt;=75 %</b> | <b>408</b>   | <b>249</b>   | <b>561</b>   | <b>2012</b> |
|   | Total3                   | 720          | 720          | 720          | 3600        |
|   | H-max %                  | 90           | 50,5         | 89           |             |
|   | H-min %                  | 11,5         | 10           | 13           |             |
|   | <b>H-moy %</b>           | <b>31,69</b> | <b>22,8</b>  | <b>35,78</b> |             |
| <b>Périodes 4</b><br><b>[16/11_15/12]</b><br><br>H <sub>moy</sub> RETS=<br><b>56.55 %</b><br><br>H <sub>moy</sub> S, A=<br><b>54,68 %</b> | H<25                     | 16           | 22           | 9            | 51          |
|   | H>=76                    | 120          | 43           | 58           | 368         |
|   | <b>25&lt;=H&lt;=75</b>   | <b>584</b>   | <b>655</b>   | <b>653</b>   | <b>3181</b> |
|   | Total4                   | 720          | 720          | 720          | 3600        |
|   | H-max %                  | 95           | 86,5         | 95           |             |
|   | H-min %                  | 21           | 20,5         | 20,5         |             |
|   | <b>H-moy %</b>           | <b>56,56</b> | <b>49,79</b> | <b>55,85</b> |             |

**TableauIII.4.** Evolutions des humidités réelles des intervalles limites les saisons ; de site de Ghardaïa, pendant les trois ans de (2013 jusqu'au 2015), et comparées les données de RETScreen de (1980\_2006).

#### 5.4 Calcul de la longueur thermique réel moyen de chaque saison

|                  | Schéma chauffage | Schéma climatisation | DJC, DJF (météo) | Moyenne    |
|------------------|------------------|----------------------|------------------|------------|
| Hiver [jours]    | 135              | 127                  | 110              | <b>124</b> |
| Printemps[jours] | 51               | 54                   | 58               | <b>54</b>  |
| Eté [jour]       | 138              | 141                  | 126              | <b>135</b> |
| Automne [jours]  | 41               | 43                   | 71               | <b>52</b>  |
| Total [jours]    | 365              | 365                  | 365              | <b>365</b> |

**TableauIII.5.** Longueur moyen de chaque saison de Ghardaïa [2013-2015]

|                     | Lever du soleil     | Coucher du soleil   | Longueur du jour    | Durée d'insolation orientation pleine sud |           |                 |           |                 |           |                 |           |                 |           |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|
|                     |                     |                     |                     | Est                                       | %         | Sud             | %         | Ouest           | %         | Nord            | %         | Taux            | %         |
| <b>21 Décembre</b>  | 07 <sup>h</sup> 43' | 17 <sup>h</sup> 44' | 10 <sup>h</sup> 01' | 05 <sup>h</sup>                           | <b>50</b> | 09 <sup>h</sup> | <b>90</b> | 04 <sup>h</sup> | <b>40</b> | 00 <sup>h</sup> | <b>00</b> | 09 <sup>h</sup> | <b>90</b> |
| <b>21 Mars</b>      | 06 <sup>h</sup> 47' | 18 <sup>h</sup> 57' | 12 <sup>h</sup> 10' | 06 <sup>h</sup>                           | <b>50</b> | 07 <sup>h</sup> | <b>58</b> | 06 <sup>h</sup> | <b>50</b> | 00 <sup>h</sup> | <b>00</b> | 10 <sup>h</sup> | <b>83</b> |
| <b>21 Juin</b>      | 05 <sup>h</sup> 39' | 19 <sup>h</sup> 55' | 14 <sup>h</sup> 16' | 07 <sup>h</sup>                           | <b>50</b> | 09 <sup>h</sup> | <b>64</b> | 07 <sup>h</sup> | <b>50</b> | 07 <sup>h</sup> | <b>50</b> | 12 <sup>h</sup> | <b>86</b> |
| <b>21 Septembre</b> | 06 <sup>h</sup> 32' | 18 <sup>h</sup> 42' | 12 <sup>h</sup> 10' | 06 <sup>h</sup>                           | <b>50</b> | 07 <sup>h</sup> | <b>58</b> | 06 <sup>h</sup> | <b>50</b> | 00 <sup>h</sup> | <b>00</b> | 08 <sup>h</sup> | <b>67</b> |

**TableauIII.6.** Lever et coucher du soleil du début de chaque saison ; durée d'insolation de chaque façade ainsi le taux d'enseillement pour chaque façade à Ghardaïa, pour un ciel clair orientation pleine sud.

|                     | Lever du soleil     | Coucher du soleil   | Longueur du jour    | Durée d'insolation orientation Est Sud de 35° (situation réelle) |           |                 |           |                 |           |                 |           |                 |           |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|
|                     |                     |                     |                     | Est  | %         | Sud             | %         | Ouest           | %         | Nord            | %         | Taux            | %         |
| <b>21 Décembre</b>  | 07 <sup>h</sup> 43' | 17 <sup>h</sup> 44' | 10 <sup>h</sup> 01' | 05 <sup>h</sup>  | <b>50</b> | 08 <sup>h</sup> | <b>80</b> | 05 <sup>h</sup> | <b>50</b> | 02 <sup>h</sup> | <b>20</b> | 09 <sup>h</sup> | <b>90</b> |
| <b>21 Mers</b>      | 06 <sup>h</sup> 47' | 18 <sup>h</sup> 57' | 12 <sup>h</sup> 10' | 06 <sup>h</sup>  | <b>50</b> | 06 <sup>h</sup> | <b>50</b> | 06 <sup>h</sup> | <b>50</b> | 03 <sup>h</sup> | <b>25</b> | 10 <sup>h</sup> | <b>83</b> |
| <b>21 Juin</b>      | 05 <sup>h</sup> 39' | 19 <sup>h</sup> 55' | 14 <sup>h</sup> 16' | 07 <sup>h</sup>  | <b>50</b> | 09 <sup>h</sup> | <b>64</b> | 07 <sup>h</sup> | <b>50</b> | 08 <sup>h</sup> | <b>57</b> | 12 <sup>h</sup> | <b>86</b> |
| <b>21 Septembre</b> | 06 <sup>h</sup> 32' | 18 <sup>h</sup> 42' | 12 <sup>h</sup> 10' | 06 <sup>h</sup>  | <b>50</b> | 06 <sup>h</sup> | <b>50</b> | 06 <sup>h</sup> | <b>50</b> | 03 <sup>h</sup> | <b>25</b> | 08 <sup>h</sup> | <b>67</b> |

**Tableau III.7.** Lever et coucher du soleil du début de chaque saison ; durée d'insolation ainsi le taux d'ensevelissement pour chaque façade à Ghardaïa, ciel clair orientation Est sud avec 35° .

Dans (le tableau III.5), on constate que la longueur moyenne du printemps et l'automne sont plus petites en comparaison avec l'été et l'hiver, ils représentent respectivement ;54 jours, 52 jours, 135 jours et 124 jours, les deux tableaux (III.6 et III.7), nous constatons que l'orientation pleine sud est meilleure par rapport à l'orientation étudiée est-sud 35° (état réel du logement), car la durée d'insolation des périodes chaudes de ces derniers est plus significative que la première (pleine sud). Donc il y a plus de consommation liée à la climatisation

| Les périodes des saisons choisies de cinq ans [2012_2016] | Nombres des jours de saison choisie | Nombres des heures De saison | Nombres des heures de confort naturel sans chauffage et sans climatisation | Nombres des jours De dépenses [chauffage-climatisation] |
|---|-------------------------------------|------------------------------|--|---|
| P1[01/12_28/02]   | 90                                  | 2160                         | 215h= presque 9jours   | <b>81</b>   |
| P2[01/03_31/05]   | 92                                  | 2208                         | 1165h= presque 49 jours  | <b>43</b>   |
| P3[01/06_31/08]   | 92                                  | 2208                         | 360h=presque 15 jours  | <b>77</b>   |
| P4[01/09_30/11]   | 91                                  | 2184                         | 927h= presque 39 jours   | <b>52</b>   |
| <b>Totaux</b>   | <b>365</b>                          | <b>8760</b>                  | <b>112</b>   | <b>253</b>  |

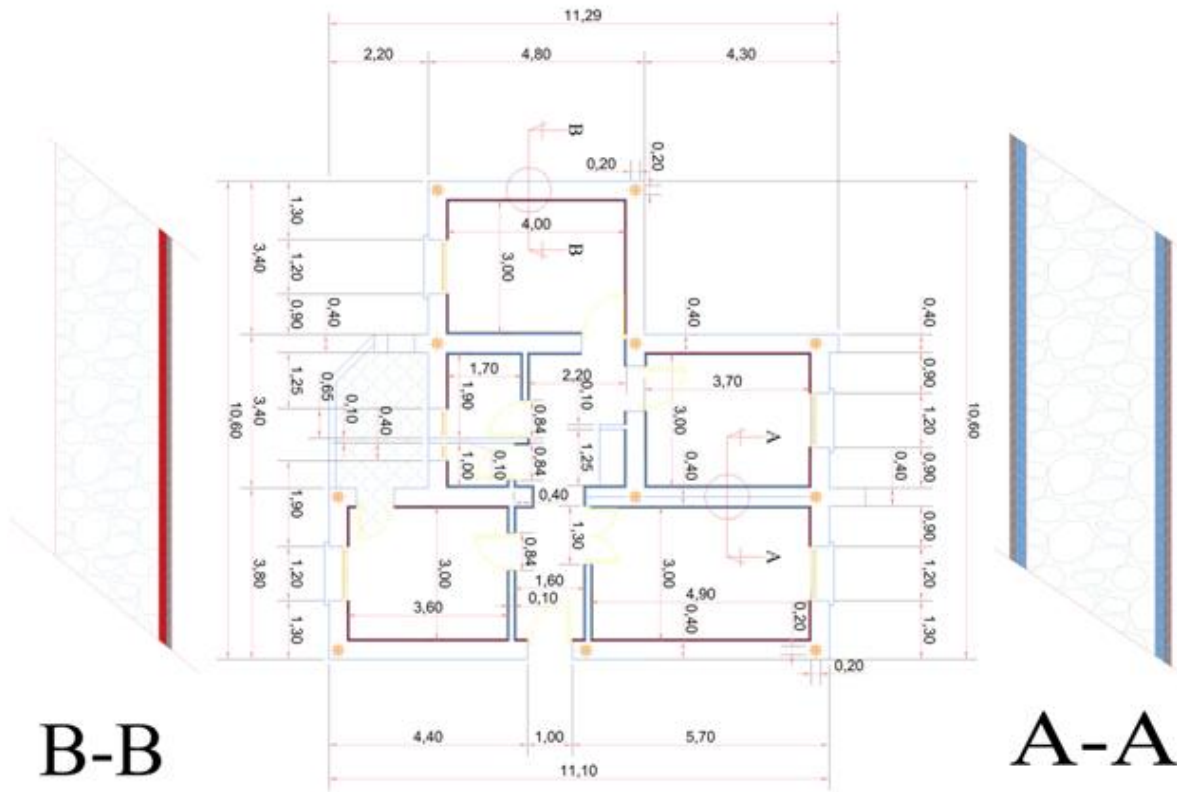
**Tableau III.8.** Les jours des dépenses énergétiques moyennes aux cours de toutes les saisons pendant les trois ans sélectionnés [2013\_2015]

|                  | 2013        |              | 2014        |              | 2015        |              |
|------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
|                  | <b>Tmoy</b> | <b>Tconf</b> | <b>Tmoy</b> | <b>Tconf</b> | <b>Tmoy</b> | <b>Tconf</b> |
| <b>Janvier</b>   | 12.57       | 21.83        | 12.38       | 21.46        | 10.72       | 20.92        |
| <b>Février</b>   | 12.43       | 21.91        | 14.54       | 22.43        | 11.15       | 21.31        |
| <b>Mars</b>      | 18.57       | 23.29        | 15.90       | 22.89        | 16.50       | 22.78        |
| <b>Avril</b>     | 21.58       | 24.52        | 22.87       | 25.09        | 23.00       | 25.13        |
| <b>Mai</b>       | 25.52       | 26.17        | 26.75       | 26.21        | 28.19       | 26.67        |
| <b>Juin</b>      | 30.00       | 27.95        | 30.04       | 27.32        | 30.62       | 27.59        |
| <b>Juillet</b>   | 34.61       | 28.86        | 35.40       | 28.94        | 33.41       | 28.77        |
| <b>Août</b>      | 32.00       | 28.13        | 35.57       | 29.05        | 33.59       | 28.82        |
| <b>Septembre</b> | 29.20       | 26.98        | 31.43       | 27.29        | 29.04       | 26.75        |
| <b>Octobre</b>   | 26.77       | 26.02        | 24.64       | 24.98        | 23.11       | 24.88        |

|          |       |       |       |       |       |       |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Novembre | 16.30 | 23.05 | 17.71 | 23.31 | 16.45 | 22.81 |
| Décembre | 10.59 | 21.08 | 11.49 | 21.36 | 12.47 | 21.67 |

**Tableau III.9.** Températures réelles de confort de la région de Ghardaïa

## 6. Incorporation du MCP dans l'enveloppe



**Fig.III.23** Cotation et différents emplacements du MCP dans le logement étudiant ; en rouge le par tour du logement (MCPTf1), et en bleu la séparation interne et toit (MCPTf2)

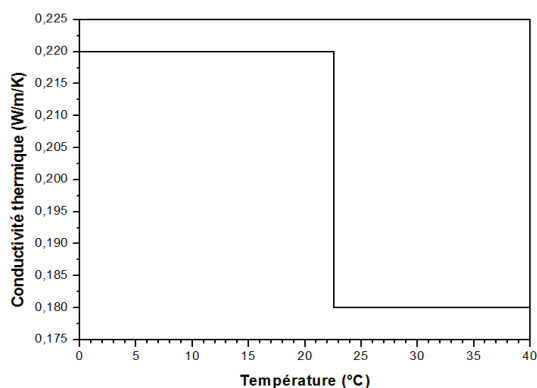
L'utilisation de matériaux à changement de phase (PCM) devrait permettre de stocker/récupérer l'énergie de l'énergie solaire ou du gain interne. L'intérêt et l'efficacité du MCP dépendent largement du choix des propriétés des matériaux (principalement température de fusion, chaleur latente et coût) pour une application donnée. Le choix de la température de fusion est particulièrement important selon le type d'intégration et l'application recherchée. Afin de profiter de la chaleur latente, la température de fusion du matériau doit être proche de la température moyenne de l'environnement d'installation, comme dans le secteur du bâtiment, la température issue de la zone de confort réelle dans la zone de Ghardaïa, entre 20 °C et 30°C (tableau III.8). Le panneau MCP est intégré dans la finition intérieure de toutes les parois verticales de l'enceinte. (La Simulation à l'aide d'un modèle de nœud à nœud unique comparez à chaque fois avec des panneaux PCM (3 cm) pour le mur).

La température de fusion d'un MCP est l'une des caractéristiques fondamentales d'un matériau, et elle représente la limite qui déclenche le stockage (fusion) ou le déstockage (solidification). Les MCP sont donc intéressants dans les bâtiments à faible inertie, car ils permettent de limiter les fluctuations de

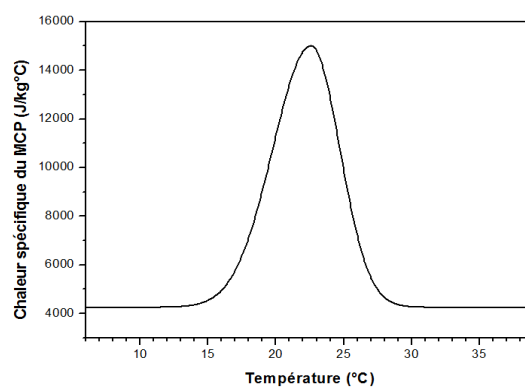
température en été et/ou de puissance en hiver. Par exemple, ils peuvent être placés à l'intérieur de plaques de plâtre, un matériau compatible avec de nombreux PCM. Cette dernière doit être proche d'une température de confort comprise entre 20°C et 30°C. Le modèle de base utilisé dans notre méthode est celui développé par Kuznik et al 2008, et l'équation développée pour reproduire au mieux la courbe de capacité calorifique est la suivante

$$: C_p = \begin{cases} 4250+10750 \exp\left(-\left(\frac{22.6-T}{4}\right)^2\right) & \text{si } T \leq 22.6^\circ\text{C} \\ 4250+10750 \exp\left(-\left(\frac{22.6-T}{3}\right)^2\right) & \text{si } T > 22.6^\circ\text{C} \end{cases} \quad \lambda = \begin{cases} 0.22 & \text{si } T \leq 22.6^\circ\text{C} \\ 0.18 & \text{si } T > 22.6^\circ\text{C} \end{cases}$$

Le but de cette simulation est de mettre en évidence l'intérêt des MCP (3 cm d'épaisseur) situés à l'intérieur d'un mur de pierre. Les résultats ont été calculés sous un ciel totalement clair et en utilisant les données climatiques de Ghardaïa du 28 au 31 Mars 2015.



**Fig.III.24** La conductivité thermique du MCP choisi

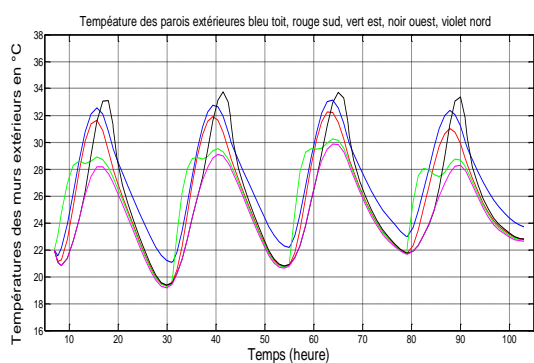


**Fig.III.25** La chaleur spécifique du MCP choisi

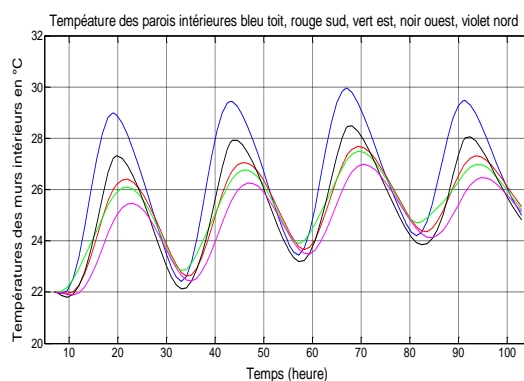
## 7. Simulation des paramètres du confort

La (fig. III.23) représente le profil de la température de l'air intérieure pour une période d'intersaison qui s'étend du 28 au 31 Mars.

Les (fig. III.26) et (figIII.27) représentent respectivement la variation des températures des parois intérieures et extérieures correspondante à cette zone thermique pour la même période.

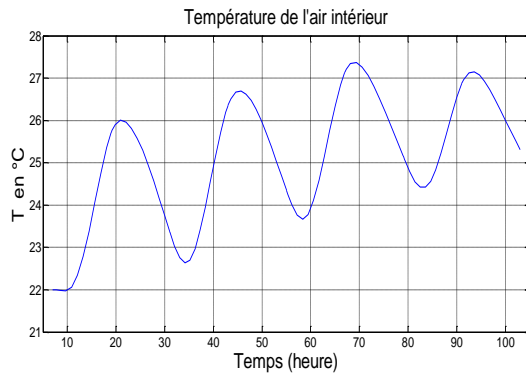


**Fig.III.26** Variation de la température des



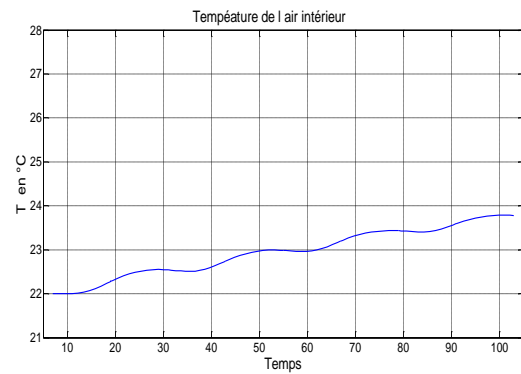
**Fig.III.27** Variation de la température des

parois extérieures de la zone thermique considérée, du 28 au 31 Mars



**Fig.III.28** Variation de la température intérieure pour la chambre 1 orientée au Sud, du 28 au 31 Mars

parois intérieures de la zone thermique considérée, du 28 au 31 Mars



**Fig.III.29** Variation de la température intérieure pour la chambre 1 orientée au Sud, du 28 au 31 Mars (avec MCP)

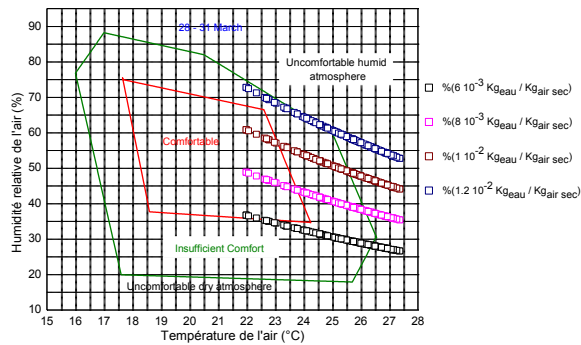
Nous remarquons que les températures obtenues (sans MCP) de l'air intérieur dépassent largement la température de la fusion (22.6 °C) du matériau. L'écart dépasse parfois les 4.5 °C.

Selon cette (fig. III.29), l'intégration des MCP coté intérieure est fortement favorable pour maintenir le confort. Ce concept passif permet parfois de diminuer la température intérieure de plus de 3 °C pour une période de 4 jours. Nous constatons aussi que ce nouveau matériau donne donc la possibilité d'accroître l'inertie thermique et de réduire les besoins en climatisation. Par conséquent, une stabilisation menée par une diminution des fluctuations en température apparait nettement vu que cette intégration a provoqué un retard significatif du transfert de chaleur.

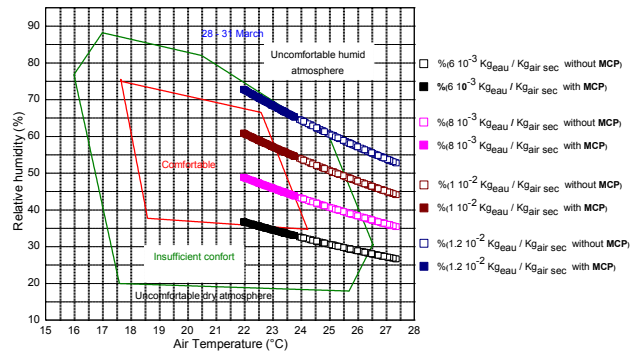
## 8. Influence des MCPs sur le confort hygrothermique

Cette expérimentation s'est choisie l'appellation due commodité "hygrothermique" au lieu-dit due "confort thermique" puis pourquoi ce dernier-né concerne exclusivement la climatisation cependant pourquoi le confort ne dépend rien uniquement de la variable climatisation pourtant aussi pour l'hygrométrie pour l'air environnant. L'humidité soit élevée rend l'atmosphère inconfortable lorsqu'elle est inférieure de 20% porte l'aridité et le fourmillement et élevée de 80% résulte l'étouffement. Les figures ci-dessous montrent de la corrélation pour la climatisation ambiante les valeurs d'humidité relatives sont ressenties contrairement confortables. Ces diagrammes pour l'air détrempe montrent régulièrement la palette pour le confort interne tolérable suivant la norme DIN 1946.





**Fig.III.30** Evaluation du confort intérieur en fonction de l'humidité de l'air relative et de la température ambiante selon la norme DIN 1946



**Fig.III.31** Evaluation du confort intérieur en fonction de l'humidité de l'air relative et de la température ambiante selon la norme DIN 1946

## 9. Conclusion

A la fine de notre travail qui est le premier en son genre, et qui consiste à déterminer les saisons réelles de ces régions, les températures et les humidités exactes de confort ainsi que l'utilisation et l'étude réelle des deux MCPs dans le tissu de construction. Dans un premier temps, il consistera par un choix de site, une construction d'une grande base de données météorologique de ce site grâce aux deux stations [ENERCO (Série400et500), Allemande]. Pour comparer ces données avec les données climatologiques du moteur RETScreen de [1980 \_2006] et les données de l'Office National de Météo (ONM) de Ghardaïa. Suite à cela, on calculera les degrés Jour de chauffage (DJC) et les degrés Jour de climatisation (DJF) et afin de déterminer exactement les saisons réelles thermiques et de faire des calculs de simulation. Par la suite, on choisira des journées dans des intervalles entre les saisons et on déduira l'impact socio-économique réel dû à l'intégration des MCPs dans le tissu des bâtiments multizones de la région de Ghardaïa.



**CONCLUSION**

**Générale**

## Conclusion générale

L'étude proposée dans ce travail fait partie d'un objectif final permettant une régulation passive de la température intérieure d'un bâtiment saharien, durant une période estivale, hivernal ou surtout d'intersaison. Un diagnostic réel sur le climat saharien a été fait et une approche de modélisation de bâtiments multizones en climat saharien a été introduite .

La méthode nodale thermique a été utilisée pour appréhender le comportement thermique de l'air soumis à des sollicitations diverses.

Le choix du MCP est basé sur sa température de fusion (22.6 °C) préférablement proche de la température du confort thermique d'intersaison avec une chaleur latente importante.

La préservation de la vie des êtres humains où des occupants ; c'est le rêve et la chose la plus chère et la plus importantes ; dans n'importe quel projet et études ; et notre idée fait ça par l'élargissement des périodes d'intersaisons le plus maximum possible ; donc ; ce rêve-là, devenue une réalité vécue dans notre cas comme suit :

➤ Réduirais les dépenses énergétiques du logement aux solstices ; donc réduira la consommation du m<sup>2</sup> habitable (Wh/m<sup>2</sup>, doit être diminuer). Tout ça ouvrera la porte sur les énergies nouvelles et renouvelables pour concurrencer les énergies fossiles.

➤ La réduction des dépenses du (Wh/m<sup>2</sup>) ; nous allons nous guider vers la diminution des compresseurs des appareils de climatisations, de réfrigérations et de chauffages ; et aussi ouvrent la rentrer du fluide de remplacement à faible effets de serre : telles que : les mélanges du nouveaux fluides frigorigènes R410A et R407C).

➤ Suivants ces techniques fiables, modernes et rentables ; peut déterminer les caractéristiques climatiques de n'importe quelle zone, du pays et région.

Pour notre cas, nous avons prouvé que l'incorporation de ces matériaux peut être aussi bénéfique même pour les murs inertes soumises à des conditions sahariennes. Ils peuvent jouer le rôle de régulateur de température grâce à leurs capacités à stocker et restituer la chaleur de manière déphasée durant la saison estivale, hivernale et intersaisons.

Les résultats obtenus basés sur la norme DIN 1946 prouvent que l'utilisation des MCPs dans le bâtiment améliore nettement le confort et retarde les pics des températures et ceci en fonction de la teneur en eau de l'air. Comme perspectives nous proposons la réalisation d'une maison avec intégration des MCPs, dans notre labo pour les futures travaux 'c'est l'expérimentale et même d'intégrer ces matériaux dans les serres agricoles .



**Références**

**Bibliographiques**

## Références bibliographiques

- [1]. A. Bertrand, N. Mastrucci, R. Schüler, F. Aggoune, Maréchal, characterisation of domestic hot water end-uses for integrated urban thermal energy assessment and optimisation, *Appl. Energy* 186 (2017) 152–166, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.107>.
- [2]. B. Marszal-Pomianowska, V. Valeva, O.K. Georgieva, R.L. Larsen, C. Jensen, Zhang, high resolution measuring system for domestic hot water consumption, development and field test, *Energy Procedia* 158 (2019), <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.1022>, 2859-2464.
- [3]. P.A. Hohne, K. Kusakana, B.P. Numbi, A review of water heating technologies: an application to the south African context, *Energy Rep.* 5 (2019) 1–19, <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2018.10.013>.
- [4]. K. Ahmed, P. Pylsy, J. Kurnitski, Hourly consumption profiles of domestic hot water for different occupant groups in dwellings, *Sol. Energy* 137 (2016) 516–530, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.08.033>.
- [5]. M.C. Rodríguez-Hidalgo, P.A. Rodríguez-Aumente, A. Lecuona, M. Legrand, R. Ventas, Domestic hot water consumption vs. solar thermal energy storage: the optimum size of the storage tank, *Appl. Energy* 97 (2012) 897–906, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.12.088>.
- [6]. C. Artur, D. Neves, B.C. Cuamba, A.J. Leão, Comparison of two dynamic approaches to modelling solar thermal systems for domestic hot water, *Sustainable Energy Technol. Assess.* 30 (2018) 292–303, <https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.10.012>.
- [7]. J. Rouleau, L. Gosselin, A. Ramallo-González, Sizing methodology for domestic hot water systems based on simulated occupant behaviour, in: 2017 ASHRAE Annual Conference presented at the, 2017.
- [8]. J. Rouleau, A.P. Ramallo-González, L. Gosselin, P. Blanchet, S. Natarajan, A unified probabilistic model for predicting occupancy, domestic hot water uses and electricity use in residential buildings, *Energy Build.* 202 (2019), 109375, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109375>.
- [9]. J. Široky, F. Oldewurtel, J. Cigler, S. Privara, Experimental analysis of model predictive control for an energy efficient building heating system, *Appl. Energy* 88 (2011) 3079–3087, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.03.009>.
- [10]. H. Kazmi, S. D’Oca, C. Delmastro, S. Lodeweyckx, S.P. Corgnati, Generalizable occupant-driven optimization model for domestic hot water production in NZEB, *Appl. Energy* 175 (2016) 1–15, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.04.108>.
- [11]. A. Rahmatmand, M. Vratonjic, P.E. Sullivan, Energy and thermal comfort performance evaluation of thermostatic and electronic mixing valves used to provide domestic hot water of buildings, *Energy Build.* 212 (2020), 109830, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109830>.

- [12]. J. Fern´andez-Seara, F.J. Uh´a, ´A. Pardi˜nas, S. Bastos, Experimental analysis of an on demand external domestic hot water production system using four control strategies, *Appl. Energy* 103 (2013) 85–96, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.10.030>.
- [13]. Y.P. Chandra, T. Matuska, Stratification analysis of domestic hot water storage tanks: a comprehensive review, *Energy Build.* 187 (2019) 110–131, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.01.052>.
- [14]. Y. Zhao, S. Zhou, L. Li, Dynamic characteristics modeling of a heat exchanger using neural network, in: *First International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems*, Date Added to IEEE Xplore, 21 November 2008, pp. 13–18, <https://doi.org/10.1109/ICINIS.2008.16>.
- [15]. U. Atikol, L.B.Y. Aldabbagh, the impact of two-stage discharging on the exergoeconomic performance of a storage-type domestic water-heater, *Energy* 83 (2015) 379–386, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.02.031>.
- [16]. M.A. G´omez, J. Collazo, J. Porteiro, J.L. M´iguez, Numerical study of an external device for the improvement of the thermal stratification in hot water storage tanks, *Appl. Therm. Eng.* 144 (2018) 996–1009, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.09.023>.
- [17]. V.V. Tyagi, K. Chopra, B. Kalidasan, A. Chauhan, U. Strithi, S. Anand, A.K. Pandey, A. Sari, R. Kothari, Phase change material based advance solar thermal energy storage systems for building heating and cooling applications: a prospective research approach, *Sustainable Energy Technol. Assess.* 47 (2021), 101318, <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101318>.
- [18]. A.K. Pandey, M.S. Hossain, V.V. Tyagi, N. Abd Rahim, A. Jeyraj, L. Selvaraj, A. Sari, Novel approaches and recent developments on potential applications of phase change materials in solar energy, *Renew. Sust. Energ. Rev.* 82 (Part 1) (2018) 281–323, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.043>.
- [19]. M.Y. Abdelsalam, H.M. Teamah, M.F. Lightstone, J.S. Cotton, Hybrid thermal energy storage with phase change materials for solar domestic hot water applications: direct versus indirect heat exchange systems, *Renew. Energy* 147 (2020) 77–88, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.121>.
- [20]. B. Zalba, J.M. Mar´ın, L.F. Cabeza, H. Mehling, Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications, *Appl. Therm. Eng.* 23 (2003) 251–283, [https://doi.org/10.1016/S1359-4311\(02\)00192-8](https://doi.org/10.1016/S1359-4311(02)00192-8).
- [21]. A. Sharma, V.V. Tyagi, C.R. Chen, D. Buddhi, Review on thermal energy storage with phase change materials and applications, *Renew. Sust. Energ. Rev.* 13 (2009) 318–345, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.10.005>.
- [22]. L.F. Cabeza, M. Ib´a˜nez, C. Sol´e, J. Roca, M. Nogu´es, Experimentation with a water tank including a PCM module, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 90 (9) (2006) 1273–1282, <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2005.08.002>.

- [23]. D.N. Nkwetta, P.E. Vouillamoz, F. Haghghat, M. El-Mankibi, A. Moreau, A. Daoud, Impact of phase change materials types and positioning on hot water tank thermal performance: using measured water demand profile, *Appl. Therm. Eng.* 67 (1–2) (2014) 460–468, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.03.051>.
- [24]. L. Mongibello, M. Atrigna, N. Bianco, M. Di Somma, G. Graditi, N. Risi, Experimental test of a hot water storage system including a macro-encapsulated phase change material (PCM), *IOP Conf. Ser.: J. Phys. Conf. Series* 796 (2017), 012030, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/796/1/012030>.
- [25]. Z. Wang, H. Zhang, B. Dou, G. Zhang, W. Wu, L. Zhou, An experimental study for the enhancement of stratification in heat-storage tank by equalizer and PCM module, *J. Energy Storage* 27 (2020), 101010, <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.101010>.
- [26]. D. Erdemir, H. Atesoglu, N. Altuntop, Experimental investigation on enhancement of thermal performance with obstacle placing in the horizontal hot water tank used in solar domestic hot water system, *Renew. Energy* 138 (2019) 187–197, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.075>.
- [27]. G. Rosengarten, M. Behnia, G. Morrison, some aspects concerning modelling the flow and heat transfer in horizontal mantle heat exchangers in solar water heaters, *Int. J. Energy Res.* 23 (11) (1999) 1007–1016, [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-114X\(199909\)23:11<1007::AID-ER537>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-114X(199909)23:11<1007::AID-ER537>3.0.CO;2-1).
- [28]. M.F. Young, J.W. Baughn, An investigation of thermal stratification in horizontal storage tanks, *J. Sol. Energy Eng.* 103 (4) (1981) 286–290, <https://doi.org/10.1115/1.3266255>.
- [29]. G. Rosengarten, G.L. Morrison, M. Behnia, Mixed convection in a narrow rectangular cavity with bottom inlet and outlet, *Int. J. Heat Fluid Flow* 22 (2) (2001) 168–179, [https://doi.org/10.1016/S0142-727X\(00\)00087-4](https://doi.org/10.1016/S0142-727X(00)00087-4).
- [30]. S. Fertahi, A. Jamil, A. Benbassou, Review on solar thermal stratified storage tanks (STSST): insight on stratification studies and efficiency indicators, *Sol. Energy* 176 (2018) 126–145, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.10.028>.
- [31]. E. Fuentes, L. Arce, J. Salom, A review of domestic hot water consumption profiles for application in systems and buildings energy performance analysis, *Renew. Sust. Energ. Rev.* 81 (2018) 1530–1547, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.229>.
- [32]. K.A.A. Arthur, I. Gabriel, T. Medina, Analysis of the effects of climatic conditions, loading level and operating temperature on the heat losses of two-tank thermal storage systems in CSP, *Sol. Energy* 176 (2018) 358–369, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.10.020>.
- [33]. H. Huang, Y. Xiao, J. Lin, T. Zhou, Y. Liu, Q. Zhao, Improvement of the efficiency of solar thermal energy storage systems by cascading a PCM unit with a water tank, *J. Clean. Prod.* 245 (2020), 118864, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118864>.

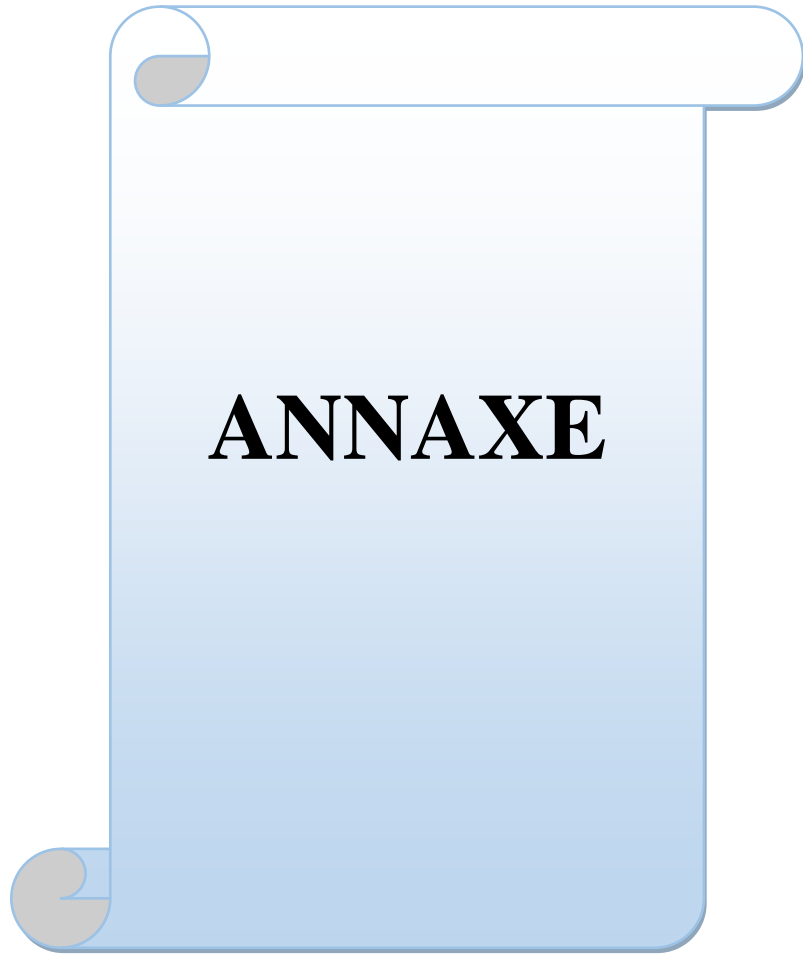
- [34]. T. Huang, X. Yang, S. Svendsen, Multi-mode control method for the existing domestic hot water storage tanks with district heating supply, *Energy* 191 (2020), 116517, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116517>.
- [35]. T. Kitzberger, D. Kilian, J. Kotik, T. Pröll, Comprehensive analysis of the performance and intrinsic energy losses of centralized domestic hot water (DHW) systems in commercial (educational) buildings, *Energy Build.* 195 (2019) 126–138, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.05.016>.
- [36]. How to calculate heat loss. <https://industrialheatingsystems.com/How-calculate-heat-loss.html>, 2022. Consulted in January.
- [37]. Composition de la graisse de mouton (pourcentage massique). [https://saveurs-du-monde.fandom.com/fr/wiki/Agneau#Composition\\_de\\_la\\_graisse\\_de\\_mouton\\_.28pourcentage\\_massique.29](https://saveurs-du-monde.fandom.com/fr/wiki/Agneau#Composition_de_la_graisse_de_mouton_.28pourcentage_massique.29), 2022. Consulted in January.
- [38]. P. Tittlein, S. Gibout, E. Franquet, K. Johannes, L. Zalewski, F. Kuznik, J. Dumas, S. Lassue, J. Bédécarrats, D. David, Simulation of the thermal and energy behaviour of a composite material containing encapsulated-PCM: influence of the thermodynamical modelling, *Appl. Energy* 140 (2015) 269–274,
- [39]. K. Sinnappoo, R. Nayak, L. Thompson, R. Padhye, Application of sustainable phase change materials in motorcycle helmet for heat-stress reduction, *J. Text. Inst.* (2020), <https://doi.org/10.1080/00405000.2020.1715606>. Article in press.
- [40]. E. Hoseinynezhad, F. Varaminian, the effect of sodium halide salts on the kinetics of tetrahydrofuran hydrate formation by using a differential scanning calorimetry method, *J. Mol. Liq.* 292 (2019), 111279, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111279>.
- [41]. Z. Younsi, L. Zalewski, S. Lassue, D.R. Rousse, A. Joulin, A novel technique for experimental thermophysical characterization of phase-change materials, *Int. J. Thermophys.* 32 (2011) 674–692, s10765-010-0900-z.
- [42]. M. Hamdani, S.M.A. Bekkouche, S. Al-Saadi, M.K. Cherier, R. Djeflal, M. Zaiani, Judicious method of integrating phase change materials into a building envelope under Saharan climate, *Int. J. Energ. Res.* 45 (12) (2021) 18048–18065, <https://doi.org/10.1002/er.6951>.
- [43]. S. Tarhan, A. Sari, M.H. Yardim, Temperature distributions in trapezoidal built in storage solar water heaters with/without phase change materials, *Energy Convers. Manag.* 47 (2006) 2143–2154, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2005.12.002>.
- [44]. Enthalpie de fusion. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Enthalpie\\_de\\_fusion](https://fr.wikipedia.org/wiki/Enthalpie_de_fusion), 2022. Consulted in January.
- [45]. Belgherras and al, Prospective analysis of the energy efficiency in a farm studio under Saharan weather conditions, Contents lists available at Science Direct, *Energy and Buildings* 145 (2017) 342–353



- [46]. D. Lalmi, A. Benseddik, H. Bensaha, M. T. Bouzaher, T. Arrif, M. Guermoui & A. Rabehi (2019): Evaluation and estimation of the inside greenhouse temperature, numerical study with thermal and optical aspect, *International Journal of Ambient Energy*, DOI:10.1080/01430750.2019.1594369
- [47]. Bekkouche, S. M. A., Benouaz, T., Hamdani, M., Cherier, M. K., Yaiche, M. R., & Benamrane, N. (2015). Judicious choice of the building compactness to improve thermo-aeraulic comfort in hot climate. *Journal of Building Engineering*, 1, 42–52
- [48]. Bekkouche, S. M. A., Benouaz, T., & Cheknane, A. (2009). A modelling approach of thermal insulation applied to a Saharan building. *Thermal Science*, 13, 233–244.
- [49]. Carbonari, A., Naticchia, B., & D’Orazio, M. (2015). Innovative evaporative cooling walls, eco-efficient materials for mitigating building cooling needs. In *Design, properties and applications*, (pp. 215–40). <http://www.sciencedirect.com/science/book/9781782423805>
- [50]. Stojanovi, B. V., Janevski, J. N., Mitkovi, P. B., Stojanovi, M. B., & Ignjatovi, M. G. (2014). Thermally activated building systems in context of increasing building energy efficiency. *Thermal Science*, 18(3), 1011–1018.
- [51]. Zaiani, Mohamed, Djelloul Djafer, and Fatima Chouireb. 2017. New Approach to Establish a Clear Sky Global Solar Irradiance Model. *International Journal of Renewable Energy Research* 7 (3).
- [52]. Fang, Z., Li, N., Li, B., Luod, G., & Huang, Y. (2014). The effect of building envelope insulation on cooling energy consumption in summer. *Energy and Buildings*, 77, 197–205.
- [53]. Choi, I. Y., Cho, S. H., & Kim, J. T. (2012). Energy consumption characteristics of high-rise apartment buildings according to building shape and mixed-use development. *Energy and Buildings*, 46, 123–131.
- [54]. Castellani, B., Morini, E., Filippini, M., Nicolini, A., Palombo, M., Cotana, F., & Rossi, F. (2014). Clathrate hydrates for thermal energy storage in buildings: Overview of proper hydrate-forming compounds. *Sustainability*, 6(10), 6815–6829. doi:10.3390/su6106815
- [55]. Bekkouche, S. M. A., Benouaz, T., Hamdani, M., Cherier, M. K., Yaiche, M. R., & Benamrane, N. (2015). Judicious choice of the building compactness to improve thermo-aeraulic comfort in hot climate. *Journal of Building Engineering*, 1, 42–52.
- [56]. Venko, S., de Ventós, D. V., Arkar, C., & Medved, S. (2014). An experimental study of natural and mixed convection over cooled vertical room wall. *Energy and Buildings*,
- [57]. Tsikaloudaki, K., Theodosiou, Th., Laskos, K., & Bikas, D. (2012). Assessing cooling energy performance of windows for residential buildings in the Mediterranean zone. *Energy Conversion and Management*, 64, 335–343.

- [58]. Tsikaloudaki, K., Laskos, K., Theodosiou, T., & Bikas, D. (2015). The energy performance of windows in Mediterranean regions. *Energy and Buildings*, 92, 180–187
- [59]. Tsanasa, A., & Xifarab, A. (2012). Accurate quantitative estimation of energy performance of residential buildings using statistical machine learning tools. *Energy and Buildings*, 49, 560–567.
- [60]. Lü, X., Lu, T., & Kibert, C. J. (2015). Martti Viljanen a Modeling and forecasting energy consumption for heterogeneous buildings using a physical–statistical approach. *Applied Energy*, 144, 261–275.
- [61]. F. Agyenim, N. Hewitt, P. Eames, M. Smyth, A review of materials, heat transfer and phase change problem formulation for latent heat thermal energy storage systems (LHTESS). *Renew. Sustain. Energy Rev.* vol. 14 (2010) 615–628
- [62]. C. Santos. A.P., L. Matias, Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios. ICT Informações Científicas e Técnicas, Edifícios - Ite 50, Edited by Laboratório Nacional de Engenharia Civil. LNEC, Lisboa (2007)
- [63]. J. Aguiar, S. Cunha, M. Kheradmand, Phase Change Materials: Contribute to Sustainable Construction (2014) [33] G.A. Lane, "Solar Heat Storage: Latent Heat Material", vol I, Background and Scientific Principles, CRC Press, Florida, 1983.
- [64]. G.A. Lane. "Solar Heat Storage: Latent Heat Material", vol. II, Technology, CRC Press, Florida, 1986.
- [65]. I. Dincer, M.A. Rosen, "Thermal energy storage, Systems and Applications", John Wiley & Sons, Chichester (England), 2002.
- [66]. D. Buddhi, R.L. Sawhney, "Proceeding of Thermal Energy Storage and Energy Conversion", School of Energy and Environmental Studies, Devi Ahilya University, Indore, India, 1994.
- [67]. RUBITHERM "Pin Thermal Energy Storage Applications" site: [www.rubitherm.com](http://www.rubitherm.com)
- [68]. Les exemples d'illustrations présentés ici sont issus du rapport final de l'annexe 17 de l'agence énergie international : [ftp://ftp.grenoble.cstb.fr/Public/MESSIB-CSTB/TASK%201/ANNEX-17-eces\\_FINAL%20REPORT.pdf](ftp://ftp.grenoble.cstb.fr/Public/MESSIB-CSTB/TASK%201/ANNEX-17-eces_FINAL%20REPORT.pdf)
- [69]. Résultats issus du rapport final de l'annexe 17 de l'agence énergie international Les lecteurs trouveront plus d'informations sur cette expérimentation à l'adresse suivante : [http://energain.fr/Energain/fr\\_FR/assets/downloads/documentation/news/french.pdf](http://energain.fr/Energain/fr_FR/assets/downloads/documentation/news/french.pdf)
- [70]. Un des produits des matériaux à changement de phase de la société Climator Sweden AB créé en 1970. Les caractéristiques du MCP Climsel C-32 sont consultables à l'adresse suivante : <http://www.climator.com/files/products/climsel-c32.pdf>
- [71]. L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, C. Pout, "A review on buildings energy consumption information". *Energy Build*, vol. 40, (2008) 394–8.

- [72]. A. Pasupathy R. Velraj, RV. Seeniraj, “Phase change material-based building architecture for thermal management in residential and commercial establishments”. *RenewSustain Energy Rev*, vol. 12, (2008) 39–64.
- [73]. B. Givoni, “Passive and low energy cooling of buildings”. 1st ed New York: John Wiley and Sons; 1994.
- [74]. S. Szokolay “Introduction to architectural science”. 1st Oxford :Elsevier ; 2004.
- [75]. M. Santamouris, D. Asimakopoulos, “Passive cooling of buildings”. Earthscan; 1996.
- [76]. G. Tiwari, M. Upadhyay, S. Rai. ”A comparison of passive cooling techniques”. *Building and Environment*, vol. 29, (1994) 21–31.
- [77]. S. Furbo, “Using water for heat storage in thermal energy storage (TES) systems” *Adv. Therm. Energy Storage Syst.* (2015) 31-47
- [78]. A.M. VazSá, *Sustentabilidade na construção: comportamentotérmico de edifícioemPortugalusandomateriais de mudança de fase*. Ph.D. Thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto—FEUP, 2013. (InPortuguese)
- [79]. R. Baetens, B.P. Jelle, A. Gustavsen, “Phase change materials for building applications: a state of-the-art review”. *Energy Build.* (2010) 1361–1368
- [80]. H. Johra, P. Heiselberg, Influence of internal thermal mass on the indoor thermal dynamics and integration of phase change materials in furniture for building energy storage: a review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* (2017) 19–32.
- [81]. Sharma, Atul, Tyagi, V.V., Chen, C.R., & Buddhi, D. 2009b. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and sustainable energy reviews*, 13(2), 318 – 345.



## Annexes :



Fig.A.1. RETScreen Logiciel de gestion d'énergies propres

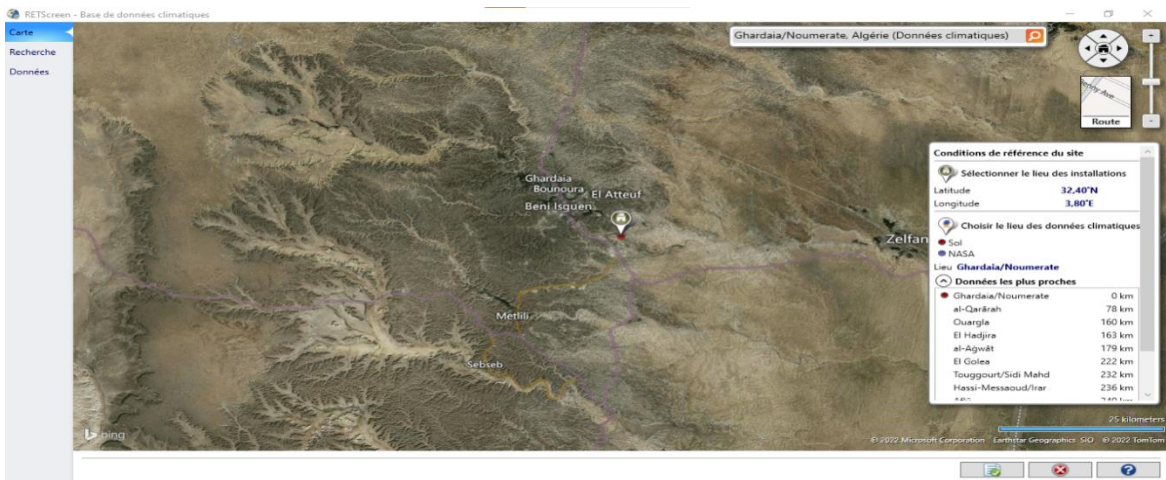


Fig.A.2. Lieu des données climatique Ghardaia/Noumerate, Algérie (Données climatiques)

|   | Unité | Lieu des données climatiques | Lieu des installations | Source      |
|---|-------|------------------------------|------------------------|-------------|
| Latitude  |       | 32,4                         | 32,4                   |             |
| Longitude   |       | 3,8                          | 3,8                    |             |
| Zone climatique                                   |       | 2B - Chaud - Sec             |                        |             |
| Élévation   | m     | 469                          | 446                    | Sol + NASA  |
| Température extérieure de calcul de chauffage     | °C    | 4,8                          |                        | Sol - Carte |
| Température extérieure de calcul de climatisation | °C    | 41,8                         |                        | Sol         |
| Amplitude des températures du sol                 | °C    | 26,1                         |                        | NASA        |

| Mois          | Température de l'air |              | Humidité relative % | Précipitation mm | Rayonnement solaire quotidien - horizontal kWh/m <sup>2</sup> /j | Pression atmosphérique kPa | Vitesse du vent m/s | Température du sol °C | Degrés-jours de chauffage 18 °C °C·j | Degrés-jours de climatisation 10 °C °C·j |
|---------------|----------------------|--------------|---------------------|------------------|--|----------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------------|--|
|               | °C                   | °C           |                     |                  |  |                            |                     |                       |                                      |  |
| Janvier       | 10,9                 | 54,8%        | 11,47               | 3,83             | 96,8   | 3,9                        | 8,0                 | 220                   | 28                                   |  |
| Février       | 13,4                 | 47,1%        | 3,36                | 4,78             | 96,5   | 4,0                        | 10,6                | 129                   | 95                                   |  |
| Mars          | 15,6                 | 41,7%        | 11,47               | 5,92             | 96,3   | 4,3                        | 15,2                | 74                    | 174                                  |  |
| Avril         | 19,5                 | 35,6%        | 5,70                | 6,97             | 95,9   | 4,7                        | 20,3                | 0                     | 285                                  |  |
| Mai           | 24,5                 | 30,9%        | 4,96                | 7,67             | 95,9   | 4,6                        | 26,0                | 0                     | 450                                  |  |
| Juin          | 30,0                 | 27,3%        | 2,70                | 7,89             | 95,8   | 4,1                        | 31,7                | 0                     | 600                                  |  |
| Juillet       | 32,7                 | 24,2%        | 0,93                | 7,89             | 95,9   | 3,7                        | 35,0                | 0                     | 704                                  |  |
| Août          | 32,5                 | 25,3%        | 2,48                | 7,44             | 95,9   | 3,5                        | 34,4                | 0                     | 698                                  |  |
| Septembre     | 28,0                 | 35,6%        | 9,60                | 6,17             | 96,1   | 3,6                        | 29,1                | 0                     | 540                                  |  |
| Octobre       | 21,6                 | 45,2%        | 11,47               | 5,11             | 96,3   | 3,1                        | 22,0                | 0                     | 360                                  |  |
| Novembre      | 15,4                 | 54,3%        | 9,30                | 3,94             | 96,6   | 3,3                        | 14,2                | 78                    | 162                                  |  |
| Décembre      | 11,6                 | 58,8%        | 9,61                | 3,50             | 96,8   | 3,8                        | 9,2                 | 198                   | 50                                   |  |
| <b>Annuel</b> | <b>21,4</b>          | <b>40,0%</b> | <b>83,05</b>        | <b>5,93</b>      | <b>96,2</b>  | <b>3,9</b>                 | <b>21,4</b>         | <b>700</b>            | <b>4 144</b>                         |  |
| Source        | Sol                  | Sol          | NASA                | Sol              | Sol  | Sol                        | NASA                | Sol                   | Sol                                  |  |
| Mesuré à      |                      |              |                     |                  |  | m                          | 10                  |                       | 0                                    |  |

Fig.A.3. Les données climatiques annuelles

**Estimation des saisons réelles de la région de Ghardaïa pour l'incorporation  
spécifique des matériaux actifs (MCPs)**

HAMITER Nadir, BELLI Amira and LALMI Djemoui,

<sup>1</sup>**Laboratory of Materials, Energy Systems Technology and Environment**, Faculté des  
Science et Technologie, Département d'automatique et électromécanique Université de  
Ghardaia, Algeria

*Emails : eldjemoui@gmail.com,*

**ABSTRACT**

Ce travail est supposé comme le diagnostic du climat des régions arides et semi arides, en prenant Ghardaïa comme exemple. L'objectif essentiel c'est la détermination réelle des caractéristiques du climat de cette dernière, pour voir quels investissements sont réalisables afin de développer ces régions qui contiennent des potentiels solaires énormes et quels matériaux innovants intégrant pour: Combattre les canicules surtout dans la période d'été, diminuer la consommation énergétique et réduire les CO<sub>2</sub>, sans oublier d'assurer la vie des êtres humains et le confort hygrothermique des occupants. Cela concerne: la climatisation, le chauffage, le froid, la ventilation, l'eau thermique,..., etc. Pour tout ça, nous utilisons des données météorologiques calculer le degrés jour chauffage et climatisation (DJC et DJF) comparées avec celles du moteur RETScreen de . Notre approche nous a permis de découvrir : une méthode graphique simple afin de caractériser les saisons de Ghardaïa ; applicable pour n'importe quelle région du monde entier. En plus, elle permet la détermination réelle du confort hygrothermique de la région ainsi que les caractéristiques thermiques des MCPs adaptables au climat saharien.

**KEYWORDS** : Climat, Saisons, Ghardaïa, hygrothermique, MCP et DJC