



République Algérienne démocratique et populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université de SAAD DAHLEB BLIDA 1  
Institut d'architecture et d'urbanisme

Master professionnel en efficacité énergétique dans les bâtiments

## Rapport de soutenance

### « Atténuation de la consommation énergétique en procédant via l'enveloppe : Elaboration d'un matériau biosourcé pour l'isolation thermique »

**Réalisé par :**  
ABDAOUI Nawel

**Dirigé par :** Dr. OUKACI Soumia

**Co-dirigé par :** DR Derradji Lotfi

Soutenu le : 27/06/2024

Devant le jury composé de :

- Président : LAFER Abdelkader (MCB)
- Examineur : TIBERMACHINE Islam

**Année universitaire : 2023/2024**

## PRÉAMBULE

Le taux de chômage en Algérie ne cesse d'augmenter depuis des décennies dû principalement à un manque de compétences transversales (Soft Skills) des jeunes diplômés mais également à une formation répondant de moins au moins aux besoins du marché de l'emploi, un marché qui s'oriente désormais vers une transition énergétique et environnementale visant d'alléger la pression sur l'environnement et la protection de ses ressources.

C'est dans ce contexte que la formation du master professionnalisant « *efficacité énergétique dans le bâtiment* » s'inscrit et plus particulièrement dans le cadre de la mise en œuvre du projet AEDA « amélioration de l'employabilité des diplômés des formations professionnels et universitaires en Algérie » qui est financé par le ministère fédéral de la coopération économique et du développement allemand (BMZ- Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung).

L'objectif principal de la formation est d'améliorer l'employabilité des jeunes diplômés dans les domaines professionnels ayant un lien avec l'efficacité énergétique du bâtiment et la gestion de l'énergie. La formation est axée principalement sur la pratique et le renforcement des compétences transversales (Soft-skills).

La formation a été mise en place en vue de mettre à la disposition du marché local, régional et national des spécialistes pouvant intervenir dans le domaine de la réduction de la consommation énergétique des bâtiments. Plus particulièrement, l'apprenant au terme de cette formation est en mesure de participer à l'élaboration de diagnostics énergétiques en rapport à la « performance énergétique et environnementale du bâtiment » et participer pleinement à l'élaboration des projets au sein des équipes pluridisciplinaires. L'apprenant a été également formé pour pouvoir mener des travaux de recherche et de développement en entreprise en adoptant des actions à entreprendre avec plus de professionnalisme et efficacité dans la gestion des problèmes environnementaux.

La formation élaborée est orientée pour préparer un cadre possédant les compétences requises pour prendre en charge une multitude de missions et des tâches diverses telle que :

- Une conception environnementale : en incluant, notamment, les obligations réglementaires liées aux multiples certifications nationales (DTR et autres) ou internationales (HQE, BBC, Passivhauss...) ainsi que l'incorporation des énergies renouvelables.
- Une optimisation énergétique du bâti : en incorporant des solutions pragmatiques basées sur des approches unifiées de la faisabilité du projet (la construction) et de son efficacité énergétique ainsi que du choix avisé des matériaux.
- Un management efficient des projets : en associant les dispositifs de gestion technique de projets à des notions portant sur les transactions et droit de l'édifice, le montage financier et la conduite opérationnelle des projets.

- Une administration intelligente des équipements techniques : en insérant des solutions adéquates, fondées sur les nouveaux procédés de communication, de régulation et de contrôle pour améliorer le fonctionnement de ces équipements ainsi que leurs interdépendances avec l'occupant.
- Application transversale des connaissances interdisciplinaires acquises lors de la formation.
- Appui à la gestion de projets : prise en compte des impératifs techniques et de l'environnement industriel avec une vision globale du projet.
- Soutien au Chef de Projet : mécanismes de management, la délégation des tâches, la formulation des messages.
- Travail en équipe : entrevue, échange, organisation et complémentarité au sein de l'équipe.
- Aptitudes : rectitude, autogestion, efficacité, jugement, esprit de synthèse.
- Capacité à travailler avec des groupes multidisciplinaires pour créer des solutions

Au cours de ces deux années universitaires 2022/2023 et 2023/2024, les apprenants ont reçu une formation aussi diverse qu'enrichissante par des experts nationaux et internationaux notamment allemands tout en effectuant des stages dans des centres de recherche et des bureaux spécialisés, ce qui leur a permis de développer différentes thématiques pour leur projets de soutenances traitant la réhabilitation énergétique, la diversité climatique et son impact sur l'efficacité énergétique, les matériaux et systèmes modulaires innovants, les systèmes CVC, les systèmes passifs de refroidissement, le mur solaire, la façade vitrée, l'optimisation de la consommation énergétique des bâtiments et la conversion des bâtiments abandonnés en bâtiments plus durables et écologiques.

Le défi à relever était difficile mais capital pour préserver notre environnement, réduire les impacts générés par nos bâtiments, optimiser leurs comportements thermique et énergétique pour une préservation optimale de nos ressources environnementales et surtout pour contribuer à la transition énergétique et environnementale qui est au cœur de la politique nationale.

Les objectifs ont été finalement atteints et le défi a été relevé avec succès!

Dr.KAOULA Dalel

Responsable du master professionnalisant  
«Efficacité énergétique dans le bâtiment»

# *Remerciements*

Je remercie dieu de m'avoir donné la force et le courage d'accomplir ce travail, mes sincères remerciements vont à toutes les personnes et institutions qui ont contribué à la réalisation de mon projet de fin d'étude.

Tout d'abord, je souhaite remercier profondément mon encadrante Oukaci Soumia. Votre soutien constant, votre encouragement, vos conseils avisés, et votre patience infinie ont été des éléments clés pour la réussite de ce projet. Votre engagement et votre passion pour la recherche m'ont inspiré et motivé tout au long de cette aventure, jamais je ne saurais vous remercier assez.

Je remercie également notre porteur de master Dr.Kaoula Dalel pour sa bienveillance, son soutien constant et son engagement tout au long de ce master.

Je remercie profondément la GIZ pour leur collaboration et financement dans le cadre de ce master professionnel en efficacité énergétique dans le bâtiment. Votre contribution a été indispensable à la réussite de ce programme.

Un sincère gratitude à M. BARADIIY et à RENAC pour la qualité exceptionnelle de leurs formations. Les compétences et connaissances acquises grâce à votre programme ont été fondamentales pour mener à bien ce master.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance au Centre National de l'Étude et de la Recherche Intégrées du Bâtiment (CNERIB). Merci pour votre suivi attentif et votre soutien technique tout au long de ce projet. Un remerciement particulier à mon co-encadrant, Dr.DERRADJI Lotfi, à Mme LIMAM et à Mme SLEYMI dont les conseils précieux et l'encadrement rigoureux ont été d'une aide inestimable.

Enfin, je souhaite remercier tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail. Votre soutien et votre collaboration ont été essentiels à la réussite de ce projet.

Merci à tous.

# *Dédicaces*

À la mémoire de mon père que j'ai perdu plus tôt cette année...

Tu étais mon idole, ma source d'inspiration et mon exemple et tu es devenue la source de ma force et de ma persévérance, j'espère te rendre fière comme tu l'as toujours été.

A ma mère

Ton amour, ton soutien inconditionnel et tes sacrifices sont une source de motivation. A côté de papa Vous m'avez inculqué les principes les valeurs du travail acharné et de la persévérance.

Je vous dédie ce travail avec une profonde gratitude.

À ma famille,

Vos encouragements constants et votre présence réconfortante m'ont porté tout au long de ce parcours. Merci pour votre patience et votre compréhension durant ces mois de travail.

À mon encadrante,

Votre guidance, vos conseils précieux et votre soutien continu ont été essentiels à la réalisation de ce travail. Merci pour votre dévouement et votre confiance en mes capacités.

À mes amis et collègues,

Votre amitié, vos encouragements et vos moments de partage ont rendu ce master plus enrichissant et agréable. Merci pour votre soutien et vos encouragements.

À tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire,

Votre aide, vos encouragements et votre soutien ont été inestimables. Merci pour tout.

Avec toute ma gratitude,

*Abdaoui Nawel*

## ملخص

تمثل المواد البيولوجية بدائل مستدامة للمواد التقليدية المستخدمة في البناء، حيث يتم تصنيعها من مواد خام بيولوجية. تتميز هذه المواد بكونها متجددة وتأثيرها البيئي المنخفض. في الجزائر، كما هو الحال في جميع دول المغرب العربي، تعد صناعة الحبوب واحدة من الصناعات الزراعية الرئيسية، حيث تغطي ما يقرب من 48٪ من المساحة الزراعية الصالحة (SAU) الإجمالية، مع هيمنة القمح (حوالي 1.9 مليون هكتار). هذه الإنتاجية تولد كميات كبيرة من النفايات، خاصة القش. يهدف العمل الحالي إلى استغلال هذا الإمكان في قطاع البناء من خلال تطوير مادة جديدة بيولوجية تعتمد على قش القمح للعزل الحراري. تم إجراء توصيف فيزيائي حراري للعينات المطورة في المركز الوطني للدراسة والبحث المتكامل في البناء (CNERIB).

أظهرت نتائج هذا التوصيف موصلية حرارية تتراوح من 0.049 إلى 0.19 واط/متر<sup>2</sup>ك. تم إجراء محاكاة حرارية ديناميكية (STD) باستخدام برنامج بليادس (الإصدار 6.24.4.2) لتقييم السلوك الحراري للمواد المطورة. أظهرت النتائج أن استخدام المواد البيولوجية المحلية يمكن أن يقلل من احتياجات التدفئة والتكييف بما يصل إلى 50٪.

في سياق المحاكاة بدون تعليمات الترموستات، تتراوح الفروق في درجات الحرارة الداخلية مقارنة بالحالة الأولية للفترات الصيفية والشتوية بين 0.4 درجة مئوية و3.6 درجة مئوية مقارنة بالحالة المرجعية. تؤكد هذه النتائج على أهمية استخدام المواد البيولوجية ومساهمتها في تحسين السلوك الحراري للمساكن المعاصرة في الجزائر.

### الكلمات المفتاحية:

بيولوجي المصدر، الأداء الطاقوي، استهلاك الكهرباء، عازل حراري، محاكاة حرارية ديناميكية، قش القمح، توصيف فيزيائي حراري.

## Résumé :

Les matériaux biosourcés représentent des alternatives durables aux matériaux conventionnels utilisés dans la construction, étant fabriqués à partir de matières premières biologiques. Ils se distinguent par leur caractère renouvelable et leur faible impact environnemental.

En Algérie, comme dans l'ensemble des pays du Maghreb, la filière céréalière est l'une des principales filières agricoles, couvrant près de 48 % de la surface agricole utile (SAU) totale, avec une prédominance du blé (environ 1,9 million d'hectares). Cette production génère de grandes quantités de déchets, notamment de la paille.

Le présent travail vise à exploiter ce potentiel dans le secteur du bâtiment par le développement d'un nouveau matériau biosourcé à base de paille de blé pour l'isolation thermique. La caractérisation thermophysique des échantillons élaborés a été réalisée au Centre National de l'Étude et de la Recherche Intégrées du Bâtiment (CNERIB).

Les résultats de cette caractérisation ont révélé les conductivités thermiques qui varient de 0.049 à 0.19 W/m<sup>2</sup>K.

Des simulations thermiques dynamiques (STD) ont été effectuées à l'aide du logiciel Pléiades (version 6.24.4.2) pour évaluer le comportement thermique des matériaux élaborés. Les résultats montrent que l'utilisation de matériaux biosourcés locaux permet de réduire les besoins en chauffage et en climatisation jusqu'à près de 50 %.

Dans le cadre des simulations sans consigne de thermostat, les écarts de températures intérieures par rapport au cas initial pour les périodes estivale et hivernale varient entre 0,4°C et 3,6°C par rapport au cas de référence. Ces résultats mettent en évidence l'importance de l'utilisation de matériaux biosourcés et leur contribution à l'amélioration du comportement thermique des logements contemporains standards en Algérie

## Mots clés :

Matériau Biosourcé, performance énergétique, consommation énergétique, isolant thermique, paille de blé, simulation thermique dynamique, caractérisation thermophysique

## Abstract :

Bio-sourced materials offer sustainable alternatives to conventional construction materials, being made from biological raw materials. They are renewable and have a low environmental impact.

In Algeria, as in the rest of the Maghreb countries, the cereal industry is a major agricultural sector, covering nearly 48% of the total usable agricultural area, with wheat predominating (approximately 1.9 million hectares). This production generates large quantities of waste, particularly straw.

This study aims to exploit this potential in the building sector by developing a new bio-sourced material based on wheat straw for thermal insulation. Thermophysical characterization of the developed samples was conducted at the National Center for Integrated Building Study and Research (CNERIB).

The results revealed thermal conductivities ranging from 0.049 to 0.19 W/m<sup>2</sup>K.

Dynamic thermal simulations (STD) using the software Pléiades (version 6.24.4.2) were performed to evaluate the thermal behavior of the developed materials. The findings show that using local bio-sourced materials can reduce heating and cooling needs by up to 50%.

In simulations without thermostat settings, the indoor temperature variations compared to the initial case for summer and winter periods range between 0.4°C and 3.6°C compared to the reference case. These results highlight the importance of using bio-sourced materials and their contribution to improving the thermal performance of standard contemporary housing in Algeria.

### Keywords:

Bio-based, energy performance, energy consumption, thermal insulator, wheat straw; dynamic thermal simulation, thermophysical characterization

## Table des matières

I.	CHAPITRE I.....	16
I.1	Introduction générale.....	16
I.2	Contexte de la thématique :.....	17
I.3	La stratégie nationale de la maîtrise d'énergie et de préservation de l'environnement :....	18
I.4	La réglementation thermique algérienne : .....	19
I.4.1	Le plan national de la maîtrise d'énergie PNME : .....	19
I.4.2	Le programme ECO-BAT :.....	21
I.5	L'amélioration de la performance énergétique de l'enveloppe : .....	21
I.5.1	L'isolation thermique : .....	22
I.6	L'intérêt apporté aux matériaux biosourcés : .....	24
II.	Méthodologie d'élaboration des matériaux : .....	29
II.1	Introduction :.....	29
II.2	Les matériaux utilisés : .....	30
II.2.1	La paille de blé.....	30
II.2.2	La gomme arabique :.....	30
II.2.3	L'amidon :.....	31
II.2.4	Le plâtre :.....	31
II.2.5	La pouzzolane .....	32
II.3	Le matériel utilisé : .....	32
II.4	Méthodologie d'élaboration : .....	33
II.4.1	Préparation des différents composants : .....	33
II.4.2	La préparation des différents échantillons :.....	33
II.4.3	Définition des configurations des différents échantillons :.....	34
II.4.4	Caractérisation des matériaux :.....	45
II.4.5	Résultats et discussion .....	47
II.4.6	Conclusion : .....	55
III.	Présentation du cas d'étude :.....	57
III.1	Introduction :.....	57
III.2	Les zones climatiques en Algérie :.....	57
III.3	Présentation des villes étudiés :.....	58
III.3.1	Introduction :.....	58
III.3.2	Donnés géographique : .....	58
III.3.3	Donnés climatiques : .....	58
III.4	Présentation du cas d'étude :.....	61
III.4.1	Identification des espaces intérieures :.....	61

III.4.2	Caractéristiques thermo-physiques des éléments constructifs : .....	62
III.5	Méthodologie du travail : .....	63
III.6	Caractéristiques thermo-physiques des matériaux développés proposés pour l'amélioration de l'enveloppe : .....	63
IV.	Chapitre IV : La simulation thermique dynamique : .....	65
IV.1	Introduction : .....	65
IV.2	Présentation du logiciel : .....	65
IV.3	Les détails des composants du logiciel Pléiades : .....	65
IV.3.1	Objectifs de la simulation .....	66
IV.3.2	Procédures d'injection des données sur pléiades : .....	67
IV.4	Processus d'application des logiciels : .....	68
IV.4.1	Création d'un fichier météorologique : .....	68
IV.4.2	Sous Pléiades : .....	68
IV.4.3	Sous Modeleur : .....	70
V.	Résultats et discussions .....	81
V.1	Introduction : .....	81
V.2	Les simulations du logement dans les différents sites d'études : .....	81
V.2.1	Variante 01 : Cas de référence .....	81
V.2.2	Variante 02 : Cas amélioré .....	85
VI.	Conclusion générale .....	102

## Table des figures :

<b>Figure 1:</b> le secteur du bâtiment au cœur du phénomène des changements climatiques .....	17
<b>Figure 2:</b> la consommation énergétique par secteur 2021 [1]. .....	18
<b>Figure 3:</b> l'efficacité énergétique face au défi des changements climatiques .....	18
<b>Figure 4:</b> les objectifs du programme ECO-BAT .....	21
<b>Figure 5:</b> Les déperditions thermique dans le bâtiment.....	22
<b>Figure 6:</b> Méthodologie du travail .....	25
<b>Figure 7:</b> Méthodologie d'élaboration des différents échantillons .....	29
<b>Figure 8:</b> La paille de blé utilisée .....	30
<b>Figure 9:</b> La gomme arabique utilisé dans ce travail .....	30
<b>Figure 10:</b> L'amidon de Maïs utilisé dans ce travail .....	31
<b>Figure 11:</b> Le plâtre utilisé dans notre travail.....	31
<b>Figure 12:</b> La pouzzolane utilisée.....	32
<b>Figure 13:</b> Matériels utilisés : -a- Un concasseur -b- Un malaxeur -c- Une balance -d- Une étuve -e- Un broyeur -f- Moules métalliques .....	32
<b>Figure 14:</b> Processus de préparation des composants.....	33
<b>Figure 15:</b> -a- Le laboratoire de préparation des matériaux -b- La salle de conservation des matériaux.....	33
<b>Figure 16:</b> Etapes de l'élaboration des matériaux .....	34
<b>Figure 17:</b> Echantillon du Groupe 01 C1G1 .....	36
<b>Figure 18:</b> Echantillon du groupe 2 C1G2 .....	37
<b>Figure 19:</b> Echantillon du groupe 03 C1G3 .....	38
<b>Figure 20:</b> Echantillon raté dû à un rapport d'eau inadéquat.....	39
<b>Figure 21:</b> Echantillon du groupe 01 C2G1 .....	40
<b>Figure 22:</b> Echantillon du groupe 02 C2G2 .....	41
<b>Figure 23:</b> Echantillon de la configuration 03 Paille-Amidon .....	42
<b>Figure 24:</b> Assemblage du panneau.....	43
<b>Figure 25:</b> Panneau sandwich à base de paille et de gomme arabique.....	44
<b>Figure 26:</b> -a- : Essais à l'aide de CT-METRE -b- : Les moules utilisés.....	45
<b>Figure 27:</b> -a- : Le FLUXMETRE -b- : Les moules utilisés .....	46
<b>Figure 28:</b> l'appareil MTS.....	47
<b>Figure 29:</b> Force maximale de la compression des échantillons de la configuration 01 .....	48
<b>Figure 30:</b> Force maximale de la compression KN des échantillons de la configuration 02 ..	49
<b>Figure 31:</b> Force de la compression KN de l'échantillon de la configuration 03 .....	49
<b>Figure 32:</b> Force maximale de la compression KN de l'échantillon de la configuration 04 ...	50
<b>Figure 33:</b> résistance mécanique des matériaux élaborés.....	51
<b>Figure 34:</b> conductivité thermique des différents échantillons .....	54
<b>Figure 35:</b> représentation des zones climatiques selon le classement hivernal.....	57
<b>Figure 36:</b> représentation des zones climatiques selon le classement estival.....	57
<b>Figure 37:</b> durée d'insolation -Alger- .....	58
<b>Figure 38:</b> Températures mensuelles -Alger- .....	59
<b>Figure 39:</b> durée d'ensoleillement de la ville d'Adrar.....	59
<b>Figure 40:</b> Températures mensuelles de la ville d'Adrar .....	60
<b>Figure 41:</b> Présentation du logement étudié.....	61
<b>Figure 42:</b> Méthodologie du travail de STD .....	63
<b>Figure 43:</b> Les composants du logiciel Pléiades.....	65

<b>Figure 44:</b> procédures d'injection des données [16] .....	67
<b>Figure 45:</b> Interface du logiciel Méteonorme.....	68
<b>Figure 46:</b> caractéristiques des matériaux utilisés .....	69
<b>Figure 47:</b> étapes de création d'un nouveau matériau .....	69
<b>Figure 48:</b> définition des éléments constructifs sur modèle .....	70
<b>Figure 49:</b> Plan du logement étudié.....	71
<b>Figure 50:</b> La 3D du logement étudié.....	71
<b>Figure 51:</b> scénario d'occupation du séjour .....	72
<b>Figure 52:</b> scénario proposé pour la chambre 01.....	73
<b>Figure 53:</b> scénario proposé pour la chambre 02 .....	73
<b>Figure 54:</b> scénario d'occupation de la cuisine .....	74
<b>Figure 55:</b> scénario d'occupation du hall.....	74
<b>Figure 56:</b> scénario puissance dissipée du séjour.....	75
<b>Figure 57:</b> Scénario la puissance dissipée de la cuisine .....	75
<b>Figure 58:</b> scénario puissance dissipée du hall.....	76
<b>Figure 59:</b> scénario puissance dissipée des salles d'eau .....	76
<b>Figure 60:</b> Ventilation avec consigne .....	77
<b>Figure 61:</b> Ventilation sans consigne .....	77
<b>Figure 62:</b> scénario de consigne de thermostat de chauffage .....	78
<b>Figure 63:</b> scénario de consigne de thermostat de climatisation.....	78
<b>Figure 64:</b> L'interface du lancement de la simulation .....	79
<b>Figure 65:</b> Evolution des températures internes en hiver pendant la semaine la plus froide dans la région d'Adrar .....	81
<b>Figure 66:</b> Evolution des températures internes en hiver pendant la semaine la plus froide dans la région d'Alger.....	82
<b>Figure 67:</b> Evolution des températures internes en été pendant la semaine la plus chaude dans la région d'Adrar.....	83
<b>Figure 68:</b> Evolution des températures internes en été pendant la semaine la plus chaude dans la région d'Alger.....	83
<b>Figure 69:</b> Evolution de température en hiver cas amélioré Par l'isolant C1G1 pendant la semaine la plus froide dans la région d'Adrar .....	85
<b>Figure 70:</b> Evolution de température en hiver cas amélioré Par l'isolant C1G1 pendant la semaine la plus froide dans la région d'Alger .....	86
<b>Figure 71:</b> Evolution de température en hiver cas amélioré Par l'isolant C1G2 pendant la semaine la plus froide dans la région d'Alger .....	86
<b>Figure 72:</b> Evolution de température en hiver cas amélioré Par l'isolant C1G2 pendant la semaine la plus froide dans la région d'Adrar .....	87
<b>Figure 73:</b> Evolution de température en hiver cas amélioré Par l'isolant C1G3 pendant la semaine la plus froide dans la région d'Alger .....	87
<b>Figure 74:</b> Evolution de température en hiver cas amélioré Par l'isolant C1G3 pendant la semaine la plus froide dans la région d'Adrar .....	88
<b>Figure 75:</b> Evolution de température en hiver cas amélioré Par l'isolant (paille-Amidon) pendant la semaine la plus froide dans la région d'Alger.....	88
<b>Figure 76:</b> Evolution de température en hiver cas amélioré Par l'isolant (Paille-Amidon) pendant la semaine la plus froide dans la région d'Adrar.....	89
<b>Figure 77:</b> Evolution de température en hiver cas amélioré par le panneau sandwich pendant la semaine la plus froide dans la région d'Alger.....	89

<b>Figure 78:</b> Evolution de température en hiver cas amélioré par le panneau sandwich pendant la semaine la plus froide dans la région d'Adrar.....	90
<b>Figure 79:</b> Evolution de température en été cas amélioré Par l'isolant C1G1 pendant la semaine la plus chaude dans la région d'Adrar .....	93
<b>Figure 80:</b> Evolution de température en été cas amélioré Par l'isolant C1G1 pendant la semaine la plus chaude dans la région d'Alger.....	93
<b>Figure 81:</b> Evolution de température en été cas amélioré Par l'isolant C1G2 pendant la semaine la plus chaude dans la région d'Adrar .....	94
<b>Figure 82:</b> Evolution de température en été cas amélioré Par l'isolant C1G2 pendant la semaine la plus chaude dans la région d'Alger.....	94
<b>Figure 83:</b> Evolution de température en été cas amélioré Par l'isolant C1G3 pendant la semaine la plus chaude dans la région d'Adrar .....	95
<b>Figure 84:</b> Evolution de température en été cas amélioré Par l'isolant C1G3 pendant la semaine la plus chaude dans la région d'Alger.....	95
<b>Figure 85:</b> Evolution de température en été cas amélioré Par l'isolant Paille-Amidon pendant la semaine la plus chaude dans la région d'Adrar .....	96
<b>Figure 86:</b> Evolution de température en été cas amélioré Par l'isolant Paille-Amidon pendant la semaine la plus chaude dans la région d'Alger.....	96
<b>Figure 87:</b> Evolution de température en été cas amélioré Par le panneau sandwich pendant la semaine la plus chaude dans la région d'Adrar .....	97
<b>Figure 88:</b> Evolution de température en été cas amélioré Par le panneau sandwich pendant la semaine la plus chaude dans la région d'Alger.....	97
<b>Figure 89:</b> Comparaison des besoins de chauffage dans la région d'Adrar pour les différents isolants.....	99
<b>Figure 90:</b> Comparaison des besoins de chauffage dans la région d'Alger pour les différents isolants.....	99
<b>Figure 91:</b> Comparaison des besoins de climatisation dans la région d'Adrar pour les différents isolants .....	100
<b>Figure 92:</b> Comparaison des besoins de climatisation dans la région d'Alger pour les différents isolants .....	100

**Table des tableaux :**

<b>Tableau 1:</b> Analyse de la littérature .....	26
<b>Tableau 2:</b> échantillons des premiers essais expérimentaux .....	35
<b>Tableau 3:</b> Composition des échantillons du groupe 01.....	36
<b>Tableau 4:</b> Composition des échantillons du Groupe 02.....	37
<b>Tableau 5:</b> Composition des échantillons du groupe 03.....	38
<b>Tableau 6:</b> Composition des échantillons du groupe 01- Configuration 02.....	40
<b>Tableau 7:</b> Composition des échantillons du Groupe02-Configuration 02 .....	41
<b>Tableau 8:</b> Composition de l'échantillon de la configuration 3.....	42
<b>Tableau 9:</b> Composition du panneau sandwich.....	43
<b>Tableau 10:</b> Résistance à la compression Groupe 1-2-3 Configuration 01 .....	47
<b>Tableau 11:</b> Résistance à la compression Groupes 1-2 Configuration 02.....	48
<b>Tableau 12:</b> Résistance à la compression des échantillons de la configuration 03 .....	49
<b>Tableau 13:</b> Résistance à la compression des échantillons de la configuration 04 .....	50
<b>Tableau 14:</b> Caractéristiques thermiques des échantillons de la configuration 01 .....	52
<b>Tableau 15:</b> Caractéristiques thermiques des échantillons de la configuration 02.....	52
<b>Tableau 16:</b> Caractéristiques thermique des échantillons de la configuration 03 .....	53
<b>Tableau 17:</b> Caractéristiques thermiques des échantillons de la configuration 04 .....	53
<b>Tableau 19:</b> caractéristiques des pièces du logement étudié .....	61
<b>Tableau 20:</b> Composition des parois .....	62
<b>Tableau 21:</b> Types d'ouvertures .....	62
<b>Tableau 22:</b> composition du mur extérieur.....	70
<b>Tableau 23:</b> Composition du mur intérieur .....	70
<b>Tableau 24:</b> Composition des planchers.....	70
<b>Tableau 25:</b> variation de température dans la semaine la plus froide dans les zones étudiées	82
<b>Tableau 26:</b> variation de température dans la semaine la plus chaude dans les zones étudiées .....	84
<b>Tableau 27:</b> Les besoins de chauffage et de climatisation dans les villes étudiées pour le cas de référence .....	84
<b>Tableau 28:</b> l'écart de température du cas amélioré avec l'isolant C1G1 par rapport au cas de référence dans les régions étudiées .....	90
<b>Tableau 29:</b> l'écart de température du cas amélioré avec l'isolant C1G2 par rapport au cas de référence dans les régions étudiées .....	91
<b>Tableau 30:</b> l'écart de température du cas amélioré avec l'isolant C1G1 par rapport au cas de référence dans les régions étudiées .....	91
<b>Tableau 31:</b> Les besoins de chauffage et de climatisation des cas de référence et cas amélioré dans les régions étudiés .....	98

---

*Chapitre I : Chapitre introductif*

---

# I. CHAPITRE I

## I.1 Introduction générale

A l'instar des pays du bassin méditerranéen, l'Algérie est particulièrement vulnérable aux effets des changements climatiques déjà palpables, dont un déficit en pluviométrie, raréfaction des ressources hydriques, désertification, incendies et inondations en plus d'une augmentation remarquable des températures saisonnières.

Ces dernières années, la demande en énergie a considérablement augmenté, en particulier pendant la saison estivale, caractérisée par des vagues de chaleur. Cela a entraîné des pics significatifs de consommation énergétique, principalement dus à l'utilisation incontrôlée des équipements de refroidissement pendant les heures de pointe en saison estivale et des équipements de chauffage en saison hivernale

D'une autre part les matériaux du bâtiment sont souvent vus comme des « émetteurs de GES », à l'image des matériaux cimentaires et des produits de la sidérurgie. Pour ces secteurs, l'effort écologique consiste à limiter la production de GES liée à leurs produits : optimisation des procédés, filières de combustibles alternatifs, utilisation d'énergies renouvelables, économie circulaire, filières de matières premières à faible impact environnemental.

Les matériaux biosourcés, au contraire, captent du CO<sub>2</sub> au cours de leur croissance via la photosynthèse. L'usage de ces matériaux pour la construction pourrait compenser les émissions des autres matériaux à l'échelle d'un bâtiment, voire permettre de considérer les bâtiments comme des puits de carbone.

La condition pour cela est que leur gisement soit géré de manière durable, notamment dans le cas du bois d'œuvre ou des matériaux d'isolation issus de bois d'arbre : en termes de bilan carbone, une forêt exploitée est dite durable si la biomasse extraite durant une année est compensée par la biomasse créée durant cette même année. Ceci nécessite de prendre en compte plusieurs facteurs tel que la croissance d'un arbre et donc la période de révolution au sein d'une exploitation forestière qui dure entre quelques dizaines d'années (minimum 20 ans pour certains résineux) et quelques centaines d'années (jusqu'à 300 ans pour certains feuillus)

Cependant, la période de croissance d'un arbre doit être mise en vis-à-vis de la durée de vie du bâtiment.

Compte-tenu de cette problématique, **les matériaux agro-sourcés**, qui sont des plantes annuelles, pourraient être considérés comme de meilleurs candidats pour répondre à la demande croissante de matériaux de construction tout en stockant temporairement du carbone.

## I.2 Contexte de la thématique :

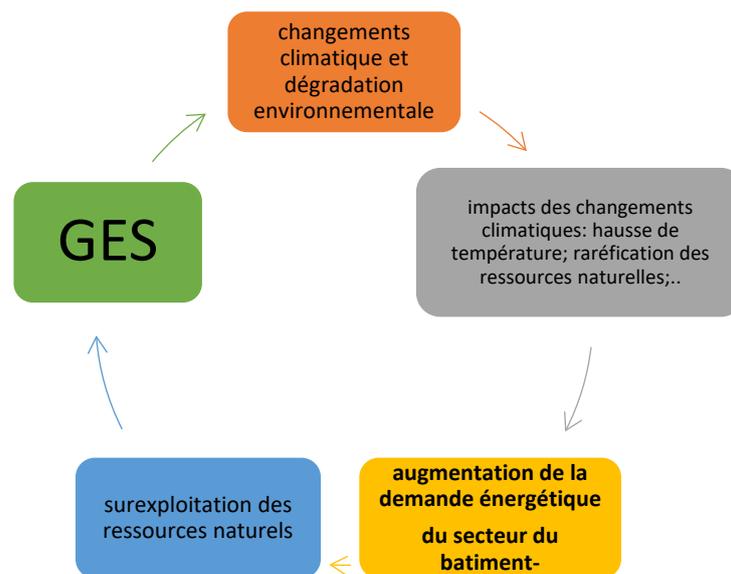
Ces dernières années, le monde fait face à de nombreux problèmes et enjeux, liés principalement au phénomène du changement climatique qui est à l'origine d'immenses impacts négatifs sur l'environnement naturels et la qualité de vie des êtres vivants.

Les effets des changements climatiques ne cessent d'augmenter, malgré les efforts fournis et les engagements sérieux de certains pays.

L'environnement est au cœur de cet enjeu planétaire, compte tenu que la demande des ressources mondiales ne cesse d'accroître, surtout de la part des pays en voie de développement et les grands producteurs.

Cette croissance est alimentée par :

- La croissance démographique et ce qu'elle engendre en termes d'urbanisation et surexploitation des sols.
- La mentalité de consumérisme
- La dépendance aux énergies fossiles ; ...



*Figure 1: le secteur du bâtiment au cœur du phénomène des changements climatique*

En Algérie, le secteur du bâtiment est responsable de 47% de la consommation totale de l'énergie [1], c'est pourquoi une démarche d'efficacité énergétique est à entreprendre.

De ce fait, M. Arkab Ministre de l'Energie et des mines, a affirmé que son secteur œuvre à la consolidation de l'efficacité et de la sobriété énergétiques, tout en préservant les ressources, à travers un programme multisectoriel qui vise à intégrer les mesures de l'efficacité énergétique dans les secteurs de la construction, des transports et de l'industrie et en encourageant une industrie locale.

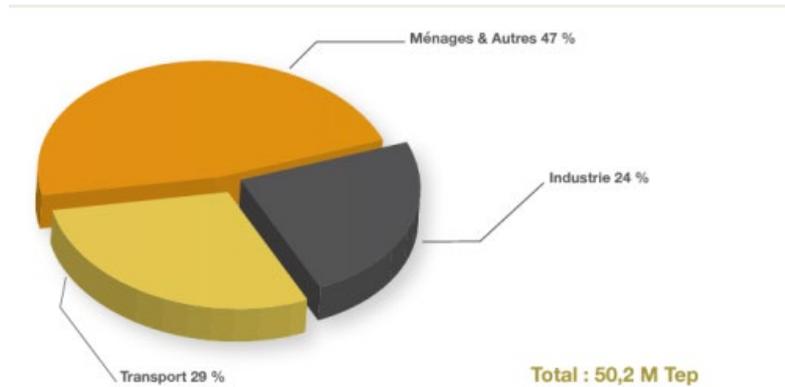


Figure 2: la consommation énergétique par secteur 2021 [1].

### I.3 La stratégie nationale de la maîtrise d'énergie et de préservation de l'environnement :

L'Algérie a adhéré complètement à la dynamique internationale de lutte contre le changement climatique et de lutte contre l'empreinte carbone, en offrant des solutions palpables, conformément à ses engagements dans le cadre de l'accord de Paris et l'agenda de l'ONU 2030 [2], déployant de grands efforts pour lutter contre les effets et adopter une voie proactive pour sa réalisation.

La question de l'efficacité énergétique se positionne comme un élément majeur pour parvenir à résoudre les défis environnementaux contemporains. (voir figure3) C'est une action prioritaire à mettre en œuvre pour répondre aux engagements mondiaux et nationaux.

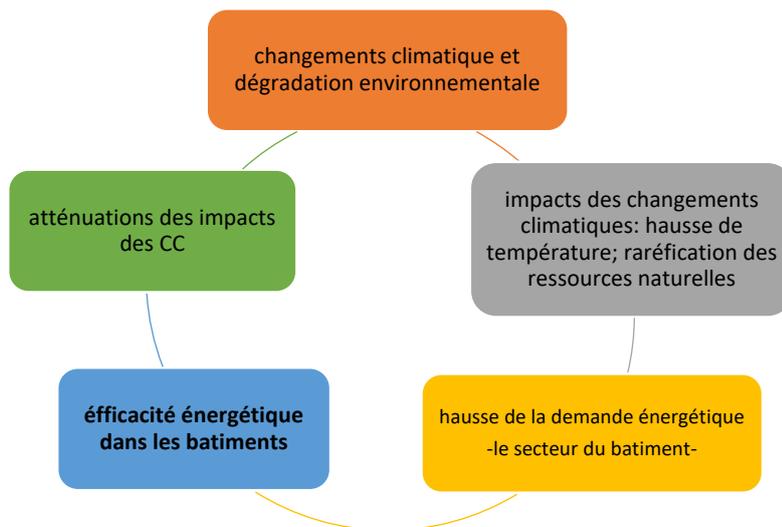


Figure 3: l'efficacité énergétique face au défi des changements climatiques

## **I.4 La réglementation thermique algérienne :**

Depuis plusieurs années, le gouvernement algérien mène une politique d'amélioration de la gestion des ressources énergétiques. Cette politique se décline à travers la loi N°99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie et de ses textes d'application, en autres le décret exécutif N°2000- 90 du 24 avril 2000 portant réglementation thermique dans les bâtiments neufs.

En 1999, le Ministère du Logement et de l'Urbanisme élabore le premier code énergétique algérien du bâtiment. Ce document qui se présente sous forme de deux fascicules : un pour l'hiver **DTR C3.2** et un deuxième pour l'été **DTR C3.4** avait pour objectif de réduire la consommation énergétique destinée au chauffage de 20% à 30%.

Une version révisée de cette réglementation est élaborée, avec comme principales modifications :

1. Rassemblement des deux fascicules en un seul document ;
2. Renforcement des exigences thermiques réglementaires ;
3. modification du zonage climatique ;

La réglementation thermique algérienne actuellement en vigueur est le **DTR C3.2/4** [3].

### **I.4.1 Le plan national de la maîtrise d'énergie PNME :**

Plan d'Action en Matière d'Efficacité Energétique, l'efficacité énergétique est appelée à jouer un rôle important dans le contexte énergétique national, caractérisé par une forte croissance de la consommation tirée, notamment, par le secteur du bâtiment avec la construction de nouveaux logements, plus de 8 millions de logements construits en 2017[4]

La réalisation de ce programme par une diversité d'actions et de projets, devrait favoriser l'émergence, à terme, d'un marché durable de l'efficacité énergétique en Algérie. Les retombées économiques et sociales de l'intégration de la dimension efficacité énergétique dans les différents secteurs d'activité sont multiples. Cette intégration permet d'améliorer le cadre de vie du citoyen mais constitue, également, une réponse appropriée au défi de conservation de l'énergie avec ses implications bénéfiques sur l'économie nationale, en termes de création d'emplois et de richesse, en plus de la préservation de l'environnement. Le programme se focalise sur les secteurs de consommation qui ont un impact significatif sur la demande d'énergie. Il s'agit principalement du bâtiment, du transport et de l'industrie.

Le Plan National de Maîtrise de l'Énergie (PNME) en Algérie est une initiative visant à promouvoir l'efficacité énergétique et la conservation des ressources énergétiques à l'échelle nationale. Ce plan comprend des stratégies et des mesures pour réduire la consommation d'énergie, augmenter l'utilisation des énergies renouvelables, améliorer les normes de

construction et d'équipement économes en énergie, ainsi que sensibiliser la population et les entreprises aux avantages de la gestion efficace de l'énergie. Le PNME vise à réduire la dépendance du pays aux importations d'énergie tout en contribuant à la lutte contre le changement climatique [2].

Le Plan National de Maîtrise de l'Énergie (PNME) en Algérie comprend plusieurs volets et détails pour atteindre ses objectifs :

**Stratégies et Objectifs** : Le PNME établit des objectifs clairs pour améliorer l'efficacité énergétique et réduire la consommation d'énergie à travers divers secteurs économiques, notamment l'industrie, le transport, le résidentiel et le tertiaire.

**Promotion des Énergies Renouvelables** : Il encourage l'investissement dans les énergies renouvelables comme le solaire, l'éolien et la biomasse pour diversifier le mix énergétique et réduire la dépendance aux combustibles fossiles.

**Réglementation et Normes** : Le PNME inclut l'élaboration et l'application de réglementations et de normes efficaces pour l'efficacité énergétique dans les bâtiments, les appareils électriques et les équipements industriels.

**Sensibilisation et Formation** : Il prévoit des programmes de sensibilisation publique et de formation pour encourager l'adoption de comportements et de pratiques énergétiques responsables.

Le programme vise à encourager la mise en œuvre de pratiques et de technologies innovantes, autour de l'isolation thermique des constructions existantes et nouvelles. Des mesures adéquates seront prévues au niveau de la phase de conception architecturale des logements

Il s'agit également de favoriser la pénétration massive des équipements et appareils performants sur le marché local, notamment les chauffe-eaux solaires et les lampes économiques : l'objectif étant d'améliorer le confort intérieur des logements en utilisant moins d'énergie. La mise en place d'une industrie locale des isolants thermiques et des équipements et appareils performants (chauffe-eaux solaires ; lampes économiques) constitue l'un des atouts pour le développement de l'efficacité énergétique dans ce secteur

**La consistance physique de ce programme est de :**

- L'isolation thermique de 100 000 logements/an ;
- La diffusion de 10 millions/an de lampes basse consommation (LBC),
- La diffusion de chauffe-eau solaires (CES) à raison de 100 000 CES/an,
- L'introduction de 1.1 million de lampes à sodium pour l'éclairage public. [2]

#### **I.4.2 Le programme ECO-BAT :**

Le secteur du bâtiment résidentiel est à l'origine de 36% de la consommation d'énergie finale en Algérie, dont 70 % de la consommation d'énergie de ce secteur est affectée au chauffage et au refroidissement [5]

Les perspectives du développement du parc immobilier et le développement du secteur tertiaire engendrera un accroissement certain de la consommation d'énergie.

Par ailleurs, avec son climat aride et semi-aride, l'Algérie est très vulnérable aux changements climatiques. En effet, on assiste à des caniculaires et des hivers très rude, d'où la nécessité d'isoler les maisons pour à la fois améliorer le confort et réduire les consommations de chauffage et de rafraichissement.

L'enjeu économique est de taille, et de ce fait la maîtrise de la consommation énergétique dans le bâtiment devient primordiale et constitue un défi pour les prochaines décennies.

Le programme ECO-BAT répond justement à cette problématique, il a pour objet d'intégrer progressivement les mesures d'efficacité énergétique dans ce secteur stratégique.



*Figure 4: les objectifs du programme ECO-BAT*

#### **I.5 L'amélioration de la performance énergétique de l'enveloppe :**

L'amélioration énergétique des bâtiments vise à réduire la consommation d'énergie et à accroître l'efficacité énergétique des structures existantes et nouvelles. Cette démarche comprend diverses stratégies et interventions pour optimiser la performance énergétique, améliorer le confort des occupants et diminuer l'empreinte écologique des bâtiments.

Les possibilités d'amélioration se répartissent dans les catégories suivantes :

- a) Conception optimisée des bâtiments, intégrant des systèmes passifs et l'aménagement paysager.
- b) Renforcement de l'enveloppe du bâtiment, y compris les toits, murs et fenêtres.
- c) Équipements améliorés pour le chauffage, le refroidissement de l'air et l'élimination de l'humidité.
- d) Stockage d'énergie thermique intégré à la structure du bâtiment ou via des équipements séparés.

Dans notre étude, nous nous focaliserons sur le point de l'isolation thermique comme levier d'amélioration énergétique à travers l'optimisation du comportement thermique de l'enveloppe.

### I.5.1 L'isolation thermique :

L'isolation thermique est un ensemble de techniques et de matériaux utilisés pour réduire les échanges de chaleur entre un espace intérieur et l'environnement extérieur. L'objectif principal de l'isolation thermique est d'améliorer l'efficacité énergétique d'un bâtiment, en maintenant une température intérieure stable et confortable tout au long de l'année, réduisant ainsi la consommation d'énergie pour le chauffage et la climatisation.

#### I.5.1.1 Principes de l'isolation thermique :

✚ Réduction des pertes de chaleur :

-Par conduction à travers les différentes parois (toiture, murs) ;

-Par Convection en réduisant les mouvements d'air qui peuvent transporter la chaleur (étanchéité...)

-Par rayonnement en minimisant les pertes et les gains dus au rayonnement thermique.

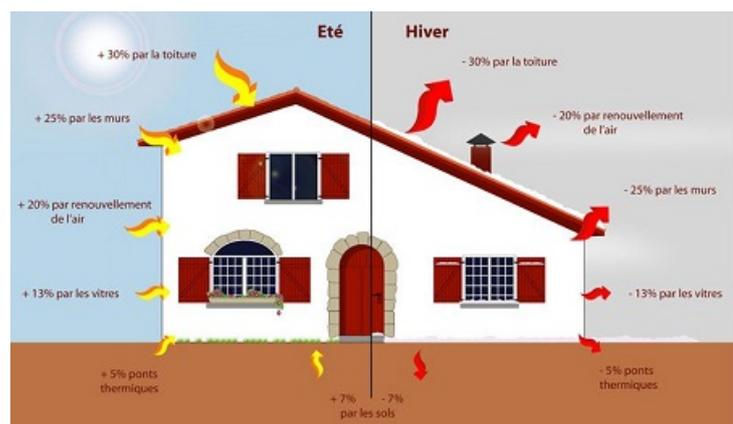


Figure 5: Les déperditions thermiques dans le bâtiment

✚ Types des matériaux isolants :

- Les fibres minérales :



**Laine de verre**

la conductivité thermique varie entre 0.030W (m.k.) et 0.040W (m.k.)



**laine de roche**

la conductivité thermique varie entre 0.034 W (m.k.) et 0.045W (m.k.)



**l'argile expansé**

conductivité thermique 0,09 W / mK



**Le verre cellulaire**

conductivité thermique du verre cellulaire varie de 0.038 W/(m.k.) à 0.050 W/(m.k.)

- Les polymères :



**polystérene extrudé**

conductivité thermique 0.035W/(m.K) à 0.029W/(m.K)



**polystérene expansé**

conductivité thermique 0.038W/(m.K) à 0.03W/(m.K)

- Les matériaux biosourcés :



**Laine de mouton**

conductivité thermique: 0.039W/mK à 0.042W/mK



**Laine de chanvre**

conductivité thermique: 0.039 à 0.050W/mK



**Liège**

conductivité thermique: 0.038 à 0.043 W/(m.K)



**Paille**

conductivité thermique: de 0.07 à 0.047

## **I.6 L'intérêt apporté aux matériaux biosourcés :**

Au niveau de la construction d'habitations, il s'agit de développer des matériaux alternatifs à faible impact environnemental pour varier l'offre sur le marché du bâtiment.

Ceux-ci devront notamment contribuer à la performance thermique des bâtiments et au confort intérieur tout en étant abordables d'un point de vue économique. Ceci conduit à utiliser des ressources locales issues de matières premières biosourcées ou de la valorisation de déchets.

Il sera question dans ce travail de recycler des déchets issus de matériaux locaux naturels et disponibles sur le territoire algérien.

### **Objectifs :**

- Elaboration d'un matériau biosourcé à base de paille de blé pour l'isolation thermique.
- Réduire la consommation énergétique du bâtiment
- Réduire l'énergie grise issues de la fabrication de notre matériau.

### **Problématique :**

Comment élaborer un matériau biosourcé à base de blé, combiné avec diverses matrices, pour l'isolation thermique, de manière à réduire la consommation énergétique et à améliorer la performance énergétique de l'enveloppe des bâtiments tout en assurant durabilité, coût-efficacité et facilité d'intégration dans les constructions existantes et nouvelles ?

- Comment les différentes matrices influencent-elles la conductivité thermique, la densité et la résistance mécanique du matériau à base de blé ?
- Comment ce matériau peut-il être intégré dans les constructions neuves et existantes sans compromettre les performances structurelles ?
- Quels sont les procédés de fabrication les plus appropriés pour produire ce matériau ?

### **Hypothèses :**

- L'utilisation de ce matériau améliore la performance énergétique de l'enveloppe du bâtiment de manière durable, contribuant à une réduction significative de la consommation énergétique.
- Les matrices incorporées dans le matériau à base de blé améliorent significativement sa résistance mécanique sans pour autant compromettre sa conductivité thermique, le rendant compétitif par rapport aux isolants thermiques traditionnels.

- Le cycle de vie du matériau à base de blé a un impact environnemental inférieur à celui des isolants synthétiques, en raison de l'utilisation de matières premières renouvelables et de procédés de fabrication moins énergivores

## Méthodologie de travail :

Notre travail sera structuré en deux axes :

- L'étude expérimentale
- La simulation thermique dynamique

La figure 6 explique la méthodologie suivie pour l'élaboration de ce travail.

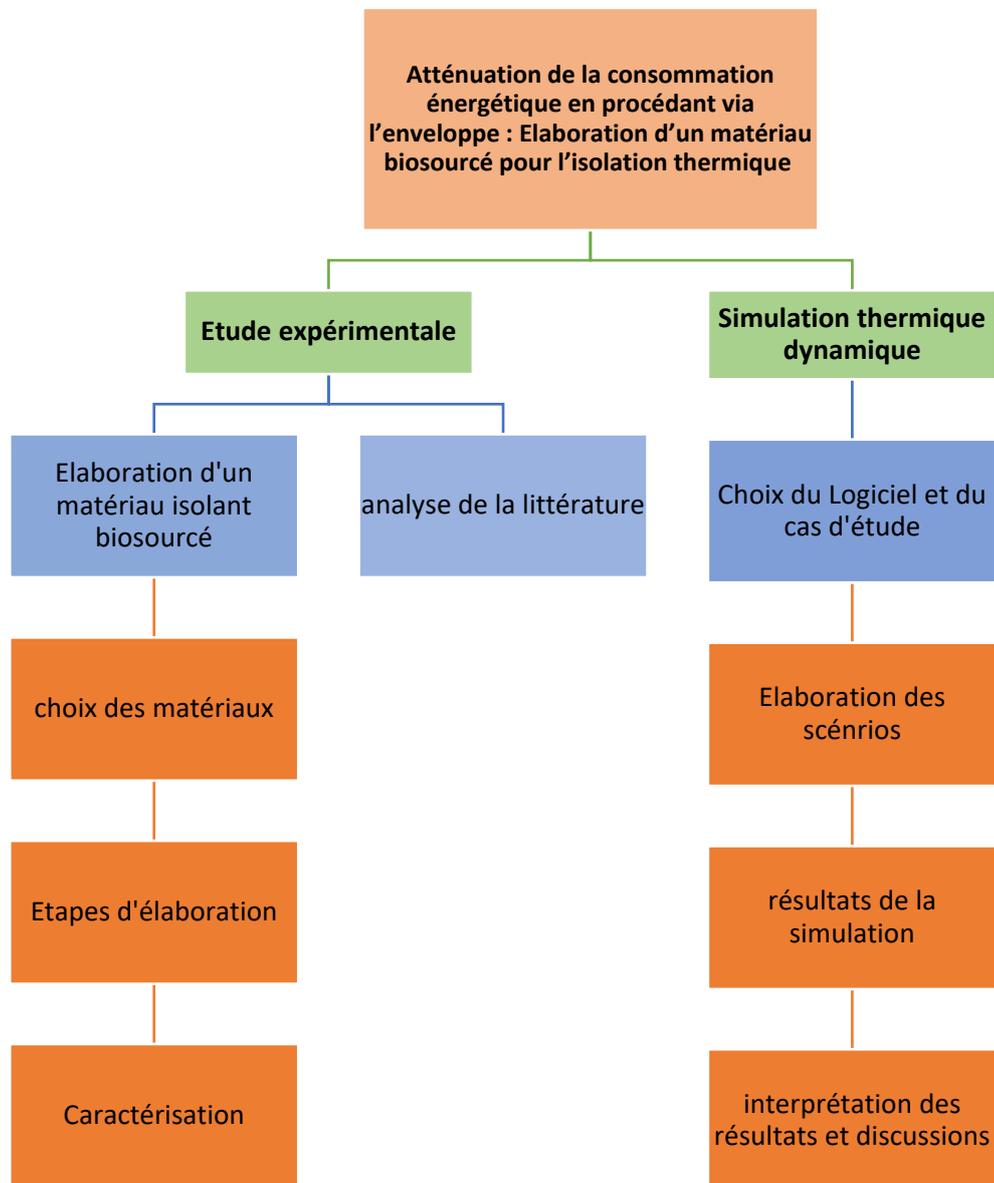


Figure 6: Méthodologie du travail

## Analyse de la littérature :

L'analyse de la littérature constitue une étape cruciale dans le développement de matériaux innovants pour l'isolation thermique. Cette section vise à examiner les recherches existantes et les connaissances accumulées dans le domaine des matériaux d'isolation thermique, en particulier ceux d'origine biosourcée. En explorant les études antérieures, les avancées technologiques, les défis rencontrés et les solutions proposées, nous pouvons établir une base de données pour notre propre investigation.

L'analyse portera sur plusieurs axes, notamment les propriétés thermiques et mécaniques des matériaux isolants biosourcés, leur durabilité et impact environnemental, les techniques de fabrication, ainsi que les normes et réglementations en vigueur. En identifiant les lacunes et les opportunités dans la littérature existante, nous pourrons mieux orienter notre recherche et développement vers des solutions innovantes et efficaces pour améliorer la performance énergétique des bâtiments.

L'analyse des articles et mémoires consultés est récapitulé sur le tableau ci-dessous :

*Tableau 1: Analyse de la littérature*

Article/mémoire	Thématique	Informations utiles																		
<p>Influence de la pouzzolane de Benisaf sur les caractéristiques mécaniques des bétons N. Belas Belaribi, et al</p>	<p>Les caractéristiques des bétons renforcé par la poudre de pouzzolane, extraite des gisements de benisaf</p>	<p>Caractéristiques physique et potentiel de l'Algérie en Pouzzolane</p> <p>Tableau 3. Caractéristiques physiques de la pouzzolane.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Caractéristiques physiques</th> <th>Valeurs</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Masse volumique apparente (g/cm<sup>3</sup>)</td> <td>0,98</td> </tr> <tr> <td>Masse volumique absolue (g/cm<sup>3</sup>)</td> <td>2,75</td> </tr> <tr> <td>Surface spécifique Blaine (cm<sup>2</sup>/g)</td> <td>3560</td> </tr> <tr> <td>Pouzzolanité (%)</td> <td>85</td> </tr> <tr> <td>Absorption (%)</td> <td>58,70</td> </tr> <tr> <td>Porosité (%)</td> <td>57,10</td> </tr> <tr> <td>Humidité (%)</td> <td>2,50</td> </tr> <tr> <td>Perte au feu (%)</td> <td>5,60</td> </tr> </tbody> </table>	Caractéristiques physiques	Valeurs	Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,98	Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	2,75	Surface spécifique Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	3560	Pouzzolanité (%)	85	Absorption (%)	58,70	Porosité (%)	57,10	Humidité (%)	2,50	Perte au feu (%)	5,60
Caractéristiques physiques	Valeurs																			
Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,98																			
Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	2,75																			
Surface spécifique Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	3560																			
Pouzzolanité (%)	85																			
Absorption (%)	58,70																			
Porosité (%)	57,10																			
Humidité (%)	2,50																			
Perte au feu (%)	5,60																			
<p>Influence des bio-adjuvants sur les propriétés thermiques et mécaniques d'un composite chaux-paille Brahim Ismail et al Université d'Orléans</p>	<p>L'objectif de ce travail est d'optimiser les performances thermiques et mécaniques d'un composite biosourcé à base de paille céréalière, par deux procédures : - augmentation de la porosité de la matrice en ajoutant la poudre d'hémoglobine. - augmenter la porosité du matériau et d'autre part à améliorer l'adhérence entre la matrice et les fibres végétales en ajoutant de la poudre de caséine.</p>	<p>- identification du pourcentage de la pouzzolane dans le liant utilisé -Rôle et caractéristiques de la paille dans l'amélioration du comportement thermique du matériau et mécanique (sens des fibres) -influence des bio adjuvants (poudre de caséine et poudre d'hémoglobine % des additifs.</p>																		

<p>Mémoire de master Élaboration d'un nouveau matériau bio composite à base de déchets de palmier dattier. Réalisé par SEDDIKI Chaima ; 2023 Département des énergies renouvelable, université de BLIDA1</p>	<p>Ce travail consiste à développer un nouveau matériau bio composite à base de déchets de palmier dattier pour l'isolation thermique des bâtiments. Une caractérisation thermique été effectué ainsi qu'une simulation thermique dynamique a été faite afin d'évaluer l'impact de l'intégration de ce matériau sur la performance énergétique d'un bâtiment adapté au contexte climatique aride.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Méthodologie de l'élaboration du matériau</li> <li>-Matériel</li> <li>-taux de gâchage</li> <li>-fraction massique</li> <li>-confection des éprouvettes</li> </ul>
<p>Article5: Thermal and PhysicoChemical Characteristics of Plaster reinforced with Wheat Straw for Use as Insulating materials in Building Lokmane Saad Azzem * and Nadir Bellel</p>	<p>Cet article étudie l'influence l'utilisation de la paille de blé sur la performance thermique du plâtre destiné à l'isolation dans les bâtiments et son rôle significatif dans l'économie d'énergie.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Identification du pourcentage de la paille de blé dans une composition chaux- paille.</li> <li>-Identification de la contribution de la paille utilisée sur la performance énergétique.</li> </ul>
<p>Article6: Characterization of a thermalinsulating material based on a wheat strawed recycled paper cellulose to be applied in buildings by blowing method Mohamed Esmail Elmaghrabi1•Institutions 21 Dec 2022-Sustainability</p>	<p>Dans cette étude, plusieurs variantes ont été proposées et qui sont à base de Cellulose et paille de blé Dont le but de définir la configuration optimale sur le plan thermique .</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Identification des caractéristiques thermiques de la paille.</li> <li>- Définition de la technicité adoptée pour l'installation de l'isolant.</li> </ul>

La définition du cadre de l'étude, incluant le contexte climatique et énergétique algérien ainsi que l'analyse de la littérature, nous a permis de structurer méthodiquement notre recherche et de constituer une base de données qui servira de support essentiel pour les analyses et développements des chapitres suivants.

---

*Chapitre II : Méthodologie  
d'élaboration des matériaux*

---

## II. Méthodologie d'élaboration des matériaux :

### II.1 Introduction :

Dans un contexte mondial où la durabilité et l'écologie sont de plus en plus prioritaires, les matériaux biosourcés et les solutions traditionnelles locales connaissent un regain d'intérêt, reflétant une tendance croissante vers des pratiques de construction respectueuses de l'environnement et économes en ressources.

Les matériaux biosourcés sont des substances dérivées de ressources biologiques renouvelables, Ils offrent une alternative écologique aux matériaux traditionnels, souvent issus de ressources fossiles, contribuant ainsi à réduire l'empreinte carbone et la dépendance aux énergies non renouvelables. Utilisés dans divers secteurs, tels que la construction, ces matériaux innovants favorisent l'économie circulaire et encouragent des pratiques plus durables et respectueuses de l'environnement.

Ce chapitre traite la partie de l'élaboration de matériaux isolants biosourcés (voir figure 7) à base de paille principalement, de gomme arabique, de plâtre et d'amidon.

Différentes configurations ont été proposées afin de définir la composition optimale qui permet de répondre aux exigences thermiques et mécaniques.

La préparation et la caractérisation thermo-physique de ces matériaux a été réalisé au sein du Centre National de l'Étude et de la Recherche Intégrées du Bâtiment (CNERIB).

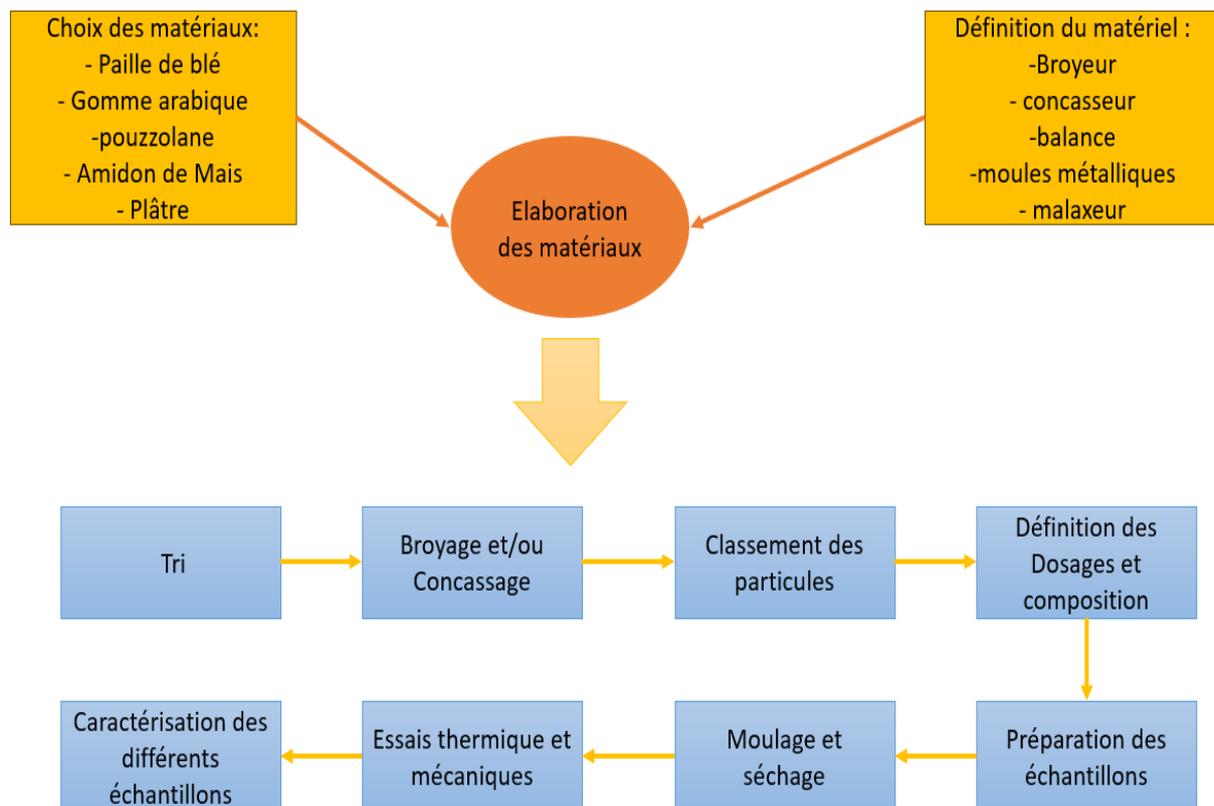


Figure 7: Méthodologie d'élaboration des différents échantillons

## II.2 Les matériaux utilisés :

Dans notre travail, afin de limiter les émissions de gaz à effet de serre dans l'environnement, nous avons choisi les matériaux locaux, sains et biodégradables

### II.2.1 La paille de blé

L'Algérie produit près de 2 MHa, 40Mqx de blé chaque année [9] Cette production génère des déchets, notamment la paille de blé, collectée sous forme de bottes de 120x50 cm. La paille de blé possède des propriétés thermiques et écologiques significatives, la rendant intéressantes pour diverses applications industrielles et environnementales.

La paille utilisée dans notre étude provient de la région centre d'Algérie, de la wilaya de Médéa précisément, collectée en 2023.



*Figure 8: La paille de blé utilisée*

### II.2.2 La gomme arabique :

Cette gomme d'acacia est produite naturellement ou à la suite d'une incision sur le tronc et au pied des arbres de la famille des acacias.

Elle est récoltée principalement dans les régions tropicales et subtropicales, surtout en Afrique (Sénégal, Soudan, Algérie, Egypte...)

On trouve la gomme arabique dans le commerce sous forme de poudre ou de cristaux non moulus plus ou moins ronds de couleur jaune pâle à jaune brunâtre. Elle présente une solubilité totale dans l'eau. (Les herbonautes, 2016).



*Figure 9: La gomme arabique utilisé dans ce travail*

### II.2.3 L'amidon :

L'amidon de Maïs utilisé dans cette étude est un produit industriel fourni par la société El-mordjen.

L'amidon de maïs industriel est un polysaccharide extrait des grains de maïs par un processus de mouture humide.

Dans le domaine des matériaux innovants de la construction, l'amidon de maïs industriel joue un rôle important en tant que liant et additif. Grâce à ses propriétés gélifiantes et adhésives, il est utilisé pour créer des matériaux composites biosourcés, améliorant ainsi la durabilité et la performance énergétique des bâtiments. [9].



Figure 10: L'amidon de Maïs utilisé dans ce travail

### II.2.4 Le plâtre :

Le plâtre utilisé dans notre étude vient de la marque Fleurus de chez Knauf, fabriqué et commercialisé en Algérie.



Figure 11: Le plâtre utilisé dans notre travail

### II.2.5 La pouzzolane

La pouzzolane est un minéral léger et poreux ses particules varient de 3 à 10 mm disponible dans des gisements naturels en Algérie (gisements de béni saf Ain Temouchent et de Zahana mascara 1. [10]

Utilisée principalement dans la construction, elle améliore la durabilité et la résistance mécaniques des bétons et mortiers, et contribue à la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> en remplaçant partiellement le ciment Portland traditionnel. La pouzzolane est également employée pour des applications agricoles et horticoles, en raison de sa capacité à améliorer la rétention d'eau et la structure des sols.



Figure 12: La pouzzolane utilisée

### II.3 Le matériel utilisé :

Le Centre National de l'Étude et de la Recherche Intégrées du Bâtiment (CNERIB) a mis à notre disposition tout le matériel nécessaire à la confection des différents échantillons :



-a-



-b-



-c-



-d-



-e-



-f-

Figure 13: Matériels utilisés : -a- Un concasseur -b- Un malaxeur -c- Une balance -d- Une étuve -e- Un broyeur -f- Moules métalliques

## II.4 Méthodologie d'élaboration :

### II.4.1 Préparation des différents composants :

Cette étape commence par l'approvisionnement de la matière première, le tri, la préparation des différents composants, entre découpage et broyage et enfin définition des dosages.

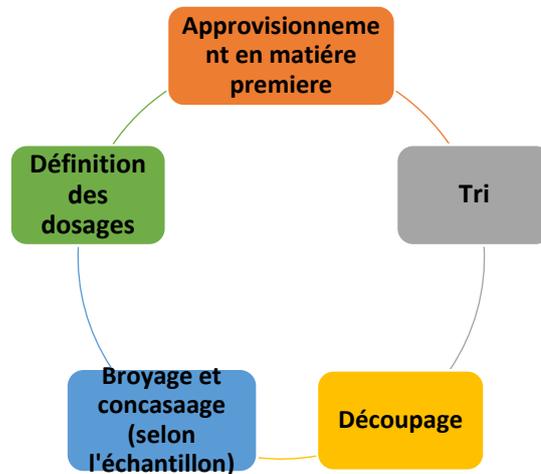


Figure 14: Processus de préparation des composants

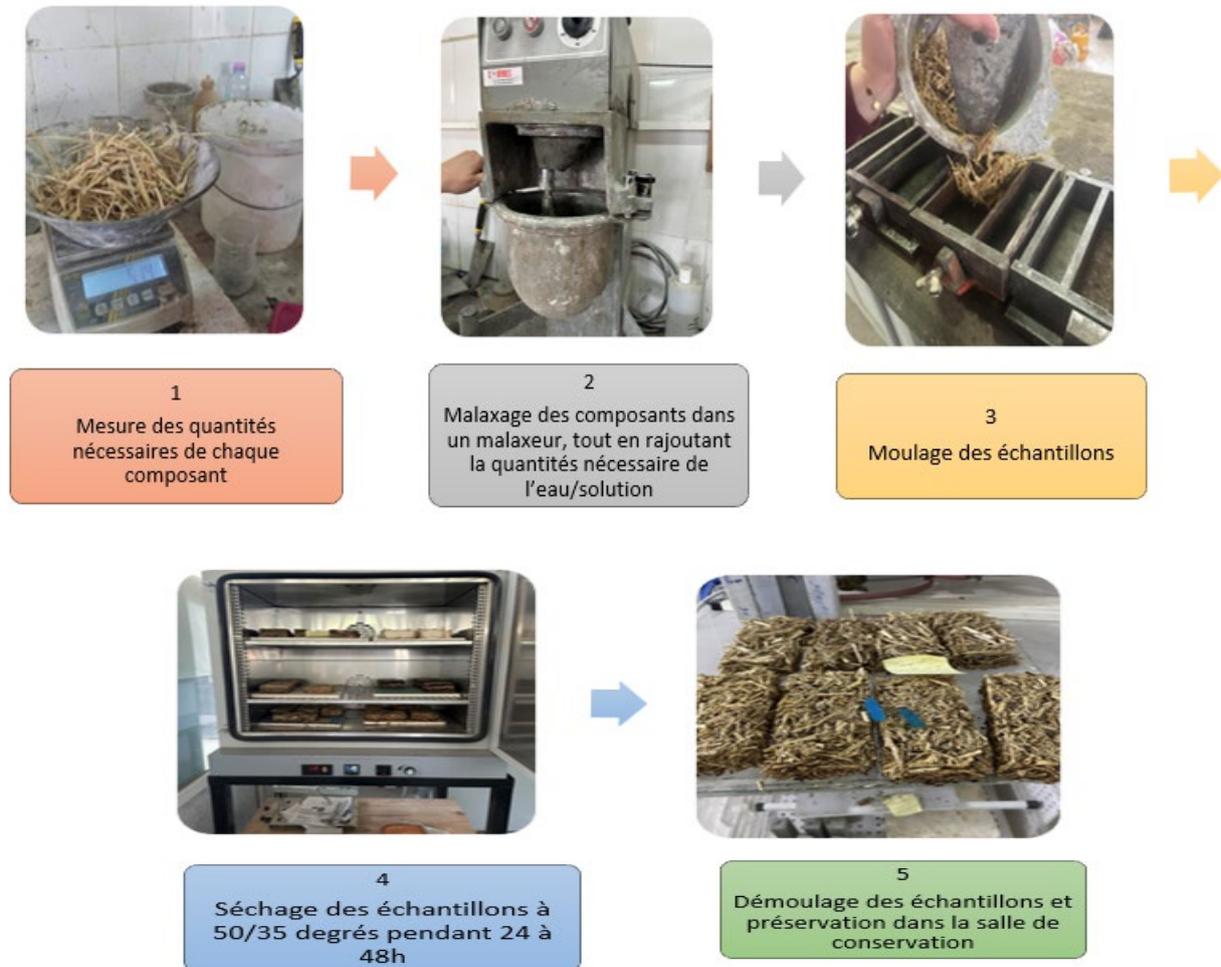
### II.4.2 La préparation des différents échantillons :

Cette étape s'est déroulée au laboratoire des matériaux du CNERIB, les échantillons ont été préparés dans une salle équipée du matériel nécessaire à l'élaboration des matériaux, séchés et préservés dans une salle de conservation maintenue à une température de 22 degrés (Voir la figure 15)



Figure 15: -a- Le laboratoire de préparation des matériaux -b- La salle de conservation des matériaux

Après avoir sélectionné, traité et préparé tous les composants, les différents matériaux ont été élaborés en suivant les étapes illustrées dans la figure 06 :



*Figure 16: Etapes de l'élaboration des matériaux*

### II.4.3 Définition des configurations des différents échantillons :

Dans l'élaboration des matériaux biosourcés pour la construction, diverses matrices sont utilisées pour lier les particules sèche et améliorer les propriétés thermiques et mécaniques du matériau. Ces matrices jouent un rôle fondamental dans la cohésion, la stabilité et la performance thermique et mécanique des matériaux élaborés.

dans notre travail nous avons utilisé 3 matrices :

1- Gomme arabique/eau

2- Amidon/ eau

3- Plâtre/ Eau

#### **II.4.3.1 Configuration1 : Paille-gomme arabique :**

Pour ces échantillons nous avons utilisé une composition de Paille en grosse particules (3 à 4 cm), de la paille finement broyée (les passant d'un tamis de 0.5mm) de la pouzzolane (3à 5 mm) afin de renforcer la résistance mécanique et une matrice Eau/Gomme-arabique, le choix de cette matrice repose essentiellement sur le besoin de créer un matériau bio à faible impacte

environnementale qui répond à la fois sur le plan thermique et mécanique, la gomme arabique, reconnue pour ses propriétés adhésives et sa faible conductivité thermique de 0,01 W/m·K

Les propriétés physiques essentielles font que la gomme arabique ressemble aux liants minéraux (ciment et chaux) ...Son utilisation comme liant en substitution des liants minéraux entre dans une démarche de développement durable car elle constitue une matière première renouvelable et sans impact sur l'environnement. [11]

En vue d'obtenir une solution ou une colle visqueuse pour laquelle la gomme arabique est complètement dissoute dans de l'eau, le rapport E/G doit être compris entre 2 et 2,5 [12]

Afin d'arriver aux compositions et pourcentages adéquats, des essais avec des rapports (Ps/M) (où : Ps : particules sèches/ M : matrice) variés ont été effectués au début de la phase de l'expérimentation, et qui ont servis à définir les pourcentages les plus adaptés aux compositions optimales. (Voir Tableau 2)

*Tableau 2: échantillons des premiers essais expérimentaux*

Échantillon(composition)	Photo	Commentaire
60% PG 20% PF 20% POUZ Rapport 0.5		Echantillons friables à la moindre manipulation, mélange nécessitant un rapport plus élevé du liant.
70% PG 10% PF 20% POUZ Rapport 0.5		

Pour les échantillons que nous allons détailler par la suite, nous avons choisis les rapports suivants :

- Rapport Gomme arabique/ Eau :2 [12]
- Rapport Particules sèches/ Matrice : 0.25 et 0.4 (rapports proposés d'après les résultats et observations lors des premiers essais).

Les dimensions des échantillons ont été établies selon les exigences recommandées par les instruments de mesure des caractéristiques mécaniques et thermiques.

A savoir :

- 30x30 pour les échantillons thermiques
- 10x10 pour les échantillons mécaniques

*Tableau 3: Composition des échantillons du groupe 01*

Configuration 1	Eprouvette	Masse des particules sèches (paille broyé et paille en GP)	Masse de la gomme arabique (g)	Masse d'eau (g)	Masse (g)	Volume m <sup>3</sup>	Masse volumique
Groupe 1 : -Rapport Ps/M 0.25 Code : C1G1	Thermique	700	933	1866	1066	0.00344	309.2
	Mécanique				138.27	0.0003	460.9
					140.41	0.00029	484.17
					131	0.00031	422.5



*Figure 17: Echantillon du Groupe 01 C1G1*

*Tableau 4: Composition des échantillons du Groupe 02*

Configuration n° 1	Eprouvette	Masse des particules sèches (paille broyée et paille en GP)	Masse de la gomme arabique (g)	Masse d'eau (g)	Masse (g)	Volume m <sup>3</sup>	Masse volumique
Groupe 2 : -Rapport Ps/M 0.25  Code : C1G2	Thermique	550	740	1480	1162	0.00262	442.5
	Mécanique	200	266	533	131.19	0.00035	374.82
					143.98	0.00032	449.93
					131.12	0.00030	437.06



*Figure 18: Echantillon du groupe 2 C1G2*

*Tableau 5: Composition des échantillons du groupe 03*

Configuration 1	Eprovette	Masse des particules sèches (paille broyée et paille en GP)	Masse de la gomme arabique (g)	Masse d'eau (g)	Masse (g)	Volume m <sup>3</sup>	Masse volumique
Groupe 3 Rapport Ps/M 0.4	Thermique	300	250	500	750	0.00134	556.3
Code C1G3	Mécanique	200	150	300	113.59	0.00029	391.68
					123.63	0.00032	386.34
					124.13	0.00028	443.32



*Figure 19: Echantillon du groupe 03 C1G3*

#### **II.4.3.2 Configuration2 : Paille-Plâtre :**

Pour cette configuration, nous nous sommes basés sur les résultats de la littérature, pour le taux de gâchage et pour les rapports des particules sèches également.

Les travaux de thèse de Chikhi Mourad ont mis en évidence l'importance du choix du taux de gâchage ( $e/p$  avec  $e$  : eau et  $p$  : poids de plâtre) lors de la préparation du plâtre. Les conditions suivantes, identifiées dans cette étude, doivent être prises en compte :

- Un rapport (e/p) élevé entraîne généralement une diminution des résistances dans le plâtre durci, ce qui peut être souhaitable dans certains cas spécifiques.
- Le rapport (e/p) a un impact sur l'ouvrabilité de la pâte de plâtre pendant sa prise. Un taux de gâchage élevé favorise une meilleure maniabilité et facilité de mise en forme.

Pour garantir une répartition uniforme de la pâte dans les moules, il est nécessaire de veiller à ce qu'elle soit facile à travailler. Un taux de gâchage plus élevé favorise une meilleure répandabilité dans les moules.

Par le biais de multiples essais, il a été démontré que pour un rapport (e/p) de 0,5, la pâte obtenue était sèche et difficile à manipuler. En revanche, un rapport (e/p) de 0,6 a permis d'obtenir une pâte de meilleure qualité, plus facile à travailler et présentant une ouvrabilité améliorée.

Ces résultats, issus des recherches de Chikhi Mourad, fournissent des indications précieuses pour la réalisation en ce qui concerne le choix du taux de gâchage approprié. Dans le cadre de notre mémoire, nous avons décidé d'adopter le même taux de gâchage pour l'élaboration de nos éprouvettes. [13]

Initialement, nous nous sommes basés sur ce rapport, cependant, lors du malaxage, le mélange s'est durci, rendant le moulage impossible et conduisant à l'échec de l'échantillon. (Voir la figure ci -dessous)



*Figure 20: Echantillon raté dû à un rapport d'eau inadéquat*

Nous avons ainsi déterminé que l'incorporation de particules sèches exige une quantité supplémentaire d'eau.

Dans les essais ultérieurs, nous avons ajusté le rapport E/P à 0,8, ce qui a permis d'obtenir un mélange à la fois maniable et facile à travailler. Un taux de gâchage plus élevé améliore l'ouvrabilité du mélange et assure une distribution homogène dans les moules.

La composition des configurations est présentée dans le tableau suivant :

**Tableau 6:** Composition des échantillons du groupe 01- Configuration 02

Configuration 2	Eprouvette	Masse des particules sèches (paille broyée et paille en GP)	Masse plâtre (g)	Mass e d'eau (g)	Masse (g)	Volume (m <sup>3</sup> )	Masse volumiqu e
Groupe 01 5% PS 95% matrice Code : C2G1	Thermique	400	2000	1600	3226	0.00315	1033
	Mécanique	125	1500	1000	568.75	0.00035	1625
					543.52	0.00034	1598.5
					564.6	0.00039	1447.6



*Figure 21: Echantillon du groupe 01 C2G1*

**Tableau 7:** Composition des échantillons du Groupe02-Configuration 02

Configuration n 2	Eprouvette	Masse des particules sèches (paille broyé et paille en GP)	Masse plâtre (g)	Masse d'eau (g)	Masse (g)	Volume (m <sup>3</sup> )	Masse volumique
Groupe 02 10% PS 90% matrice Code : C2G2	Thermique	600	3000	2500	3757	0.0036	1043.6
	Mécanique	125	1500	1000	346.5	0.0003	1155
					319.84	0.00031	1031.74
					325.2	0.0003	1084



**Figure 22:** Echantillon du groupe 02 C2G2

#### **II.4.3.3 Configuration3 : Paille-Amidon :**

L'utilisation de l'amidon comme liant dans les matériaux de construction offre une solution écologique et renouvelable, améliorant l'adhésion des composants tout en conférant des propriétés mécaniques et thermiques optimisées.

D'après la littérature, les rapports massiques eau/amidon (E/A) utilisés pour l'élaboration des composites varient entre 3 et 4. Cette méthode nécessite une source de chaleur pour la

gélatinisation de l'amidon, ce qui est en contradiction avec notre approche. En conséquence, nous avons opté pour une technique alternative sans apport de chaleur afin de réduire l'énergie grise de notre matériau.

Une composition de paille, d'eau et d'amidon a permis d'obtenir un mélange visqueux qui se solidifie sous contrainte de pression et retrouve sa consistance liquide ou visqueuse au repos. Cependant, une fois séché, l'échantillon obtenu s'est révélé friable et incohérent, se désintégrant facilement lors de la manipulation.

Cette observation nous a conduit à intégrer de la gomme arabique dans le mélange, ce qui a permis d'obtenir un matériau qui répond aux exigences thermiques et mécaniques.

L'ajout de la gomme arabique a évité également la nécessité d'utiliser de la chaleur, renforçant ainsi les propriétés écologiques souhaitées du matériau (réduction de l'empreinte Carbonne).

**Tableau 8:** Composition de l'échantillon de la configuration 3

Configuration	Eprouvette	Masse des PS (paille broyé et paille en GP)	Masse amidon (g)	Masse Gomme arabique (g)	Masse d'eau (g)	Masse (g)	Volume (m <sup>3</sup> )	Masse volumique
10% PS 90% matrice	Thermique					2942	0.0036	817.2
	Mécanique	450	1850	1100	1500	309.9	0.00029	1068.68
						296.6	0.0003	755.33
						316.4	0.00034	930.82

Ps : particules seches



**Figure 23:** Echantillon de la configuration 03 Paille-Amidon

#### II.4.3.4 Configuration4 : Panneau sandwich (paille-gomme arabique)

Cette configuration a été conçue pour optimiser à la fois la résistance mécanique et la conductivité thermique du matériau, nous avons envisagé de développer un panneau sandwich composé de deux couches externes solides et d'une couche intermédiaire légère.

La structure du panneau comprend :

- Deux couches externes constituées de paille finement broyée, de pouzzolane en poudre et d'une matrice Gomme arabique/Eau, avec un rapport de Ps/M de 0.25

Où (Ps : particules sèches / M : Matrice).

- Une couche intermédiaire poreuse et légère composée de paille en particules plus grosses avec une proportion réduite de la matrice.

Après séchage, ces couches ont été assemblées à l'aide d'un liant et pressées ensemble. (voir figure 24)

*Tableau 9: Composition du panneau sandwich*

Couches	Masse des particules sèches	Masse de la gomme arabique (g)	Masse d'eau (g)	Assemblage	Éprouvette	Masse (g)	Volume (m <sup>3</sup> )	Masse volumique
Couches extérieurs	450	600	1200		Thermique	1545	0.00301	512.4
Couche intermédiaire	500	333	666		Mécanique	210.76	0.00045	468.35
					208.75	0.00044	474.43	
					213.22	0.0004	533.05	



*Figure 24: Assemblage du panneau*



*Figure 25: Panneau sandwich à base de paille et de gomme arabique*

L'étape de l'élaboration des matériaux joue un rôle crucial dans la définition de leurs propriétés thermiques et mécaniques. Lors du processus d'élaboration, les choix de composition, de méthodes de mélange et de techniques de traitement influencent directement la structure et la cohésion du matériau final. Une fois fabriqués, les matériaux sont soumis à des tests de caractérisation thermique pour évaluer leur conductivité thermique, leur capacité thermique spécifique et leur comportement face à la chaleur. De même, les tests mécaniques tels que la résistance à la compression, à la traction et à la flexion.

La caractérisation thermique et mécanique permet de déterminer comment ces matériaux se comportent sous différentes conditions de température et de charge, assurant ainsi leur adaptation optimale aux applications spécifiques pour lesquelles ils sont destinés.

## II.4.4 Caractérisation des matériaux :

### II.4.4.1 Caractérisation thermo-physique :

Cette étape d'étude a été effectuée au sein du laboratoire d'acoustique du CNERIB à l'aide des instruments de mesures thermiques.

La caractérisation des échantillons a été faite sur deux étapes à l'aide des deux instruments de mesure CT-mètre et Fluxmètre, en fonction des dimensions des échantillons élaborés.

#### II.4.4.1.1 Instruments de mesures :

##### Le CT-METRE :

C'est un appareil qui nous permet de mesurer à la fois, la conductivité du matériau et sa chaleur spécifique à partir de l'évolution de la température mesurée par un thermocouple placé à proximité d'un fil résistif.

La sonde, constituée du fil résistif et du thermocouple dans un support isolant en kapton, est positionnée entre deux échantillons du matériau à caractériser. Le CTmètre, développé au CSTB, utilise cette méthode avec les critères suivants :

- Conductivité de 0,02 à 5 W.m-1.K-1;
- Température de mesure de 20 à 80 °C;
- Échantillons : au moins 80 mm × 40 mm, de quelques millimètres d'épaisseur pour les isolants à quelques centimètres pour les conducteurs.

Selon la norme : Norme ISO 8894-1 (Organisation Internationale de Normalisation)



*Figure 26:-a- : Essais à l'aide de CT-METRE -b- : Les moules utilisés*

### LE FLUXMETRE :

C'est un appareil qu'on utilise pour définir la conductivité du matériau et de sa résistance thermique sur 3 paliers de températures (10°C, 20°C et 30°C)

Les fluxmètres sont utilisés pour mesurer la densité de flux de chaleur traversant une surface donnée. Généralement, un fluxmètre est constitué par un ensemble de thermocouples en série placés de part et d'autre d'une plaque métallique mince de conductivité thermique bien connue. L'écart de température entre les deux faces crée une tension que l'on mesure ; la conductivité étant connue, le flux de chaleur se déduit d'après la loi de Fourier.

Il est recommandé de travailler avec des échantillons de 30cmx30cm avec des épaisseurs variables de 2 cm à 12cm (selon la norme ISO 8302)



*Figure 27: -a- : Le FLUXMETRE -b- : Les moules utilisés*

#### **II.4.4.2 Caractérisation mécanique :**

A l'aide de l'appareil MTS, nous sommes parvenus à effectuer des essais de résistance à la compression des différents échantillons élaborés; c'est un appareil qui procure à la fois les résultats de résistance à la compression et de la résistance à la flexion aussi, sur des échantillons de 16cm x 4cm x 4cm et de 10cm x 10cm selon la norme ISO 178 et ASTM D6641 / D6641M : Standard Test Method for Compressive Properties of Polymer Matrix Composite Materials Using a Combined Loading Compression (CLC) Test Fixture), et ce en appliquant une charge uniformément répartie sur les

échantillons, nous avons enregistré les données de déformation et de contrainte jusqu'à la rupture ou jusqu'à l'atteinte des limites de déformation spécifiée.



*Figure 28: l'appareil MTS*

## II.4.5 Résultats et discussion

### II.4.5.1 Résultats des essais mécaniques (compression)

#### II.4.5.1.1 Résultats des essais de la compression de la Configuration 01 Paille-Gomme arabique :

Les résultats de la résistance à la compression des groupes 01-02-03 de la configuration 01 sont présentés dans le tableau 09 :

*Tableau 10: Résistance à la compression Groupe 1-2-3 Configuration 01*

Échantillon	Force maximale (kN)	Contrainte à la compression MPA	Moyenne
C1G1	46.1450	4.61	4.623
	46.351	4.63	
	46.347	4.63	
C1G2	46.684	4.66	4.66
	47.074	4.7	
	46.258	4.62	
C1G3	42.425	4.24	4.256
	43.25	4.32	
	42.145	4.21	

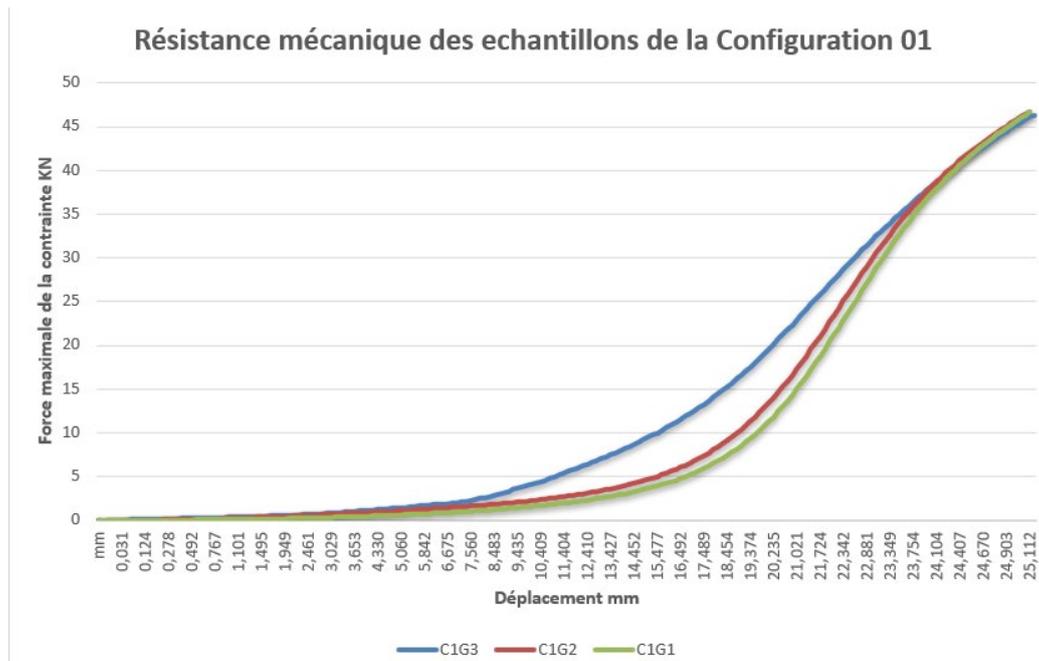


Figure 29: Force maximale de la compression des échantillons de la configuration 01

#### II.4.5.1.2 Résultats des essais de la compression de la Configuration 02 Paille-Plâtre :

Les résultats de la résistance à la compression des groupes 01-02-03 de la configuration 01 sont présentés dans le tableau 10 :

Tableau 11: Résistance à la compression Groupes 1-2 Configuration 02

Échantillon	Force maximale (kN)	Contrainte à la compression MPA	Moyenne
C2G1	41.014	4.101	4.094
	40.669	4.067	
	41.15	4.115	
C2G2	46.653	4.665	4.653
	46.501	4.65	
	46.16	4.616	

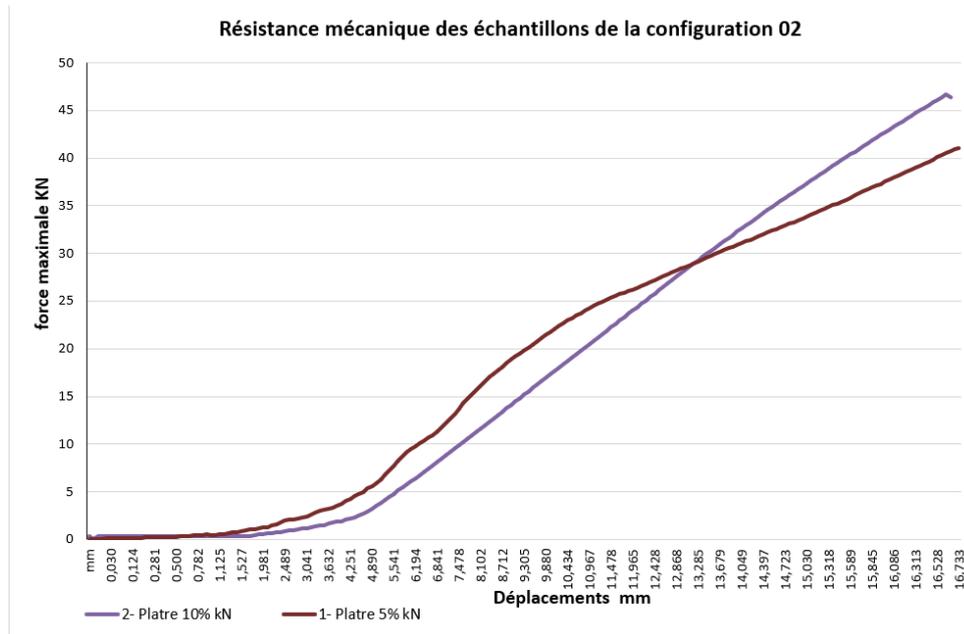


Figure 30: Force maximale de la compression KN des échantillons de la configuration 02

II.4.5.1.3 Résultats des essais de la compression de la Configuration 03 Paille-Amidon :  
 Les résultats de la résistance à la compression des échantillons de la configuration 03 sont présentés dans le tableau 11 :

Tableau 12: Résistance à la compression des échantillons de la configuration 03

Échantillon	Force maximale (kN)	Contrainte à la compression MPA	Moyenne
Paille-Amidon	44.417	4.44	4.4
	43.832	4.38	
	43.877	4.38	

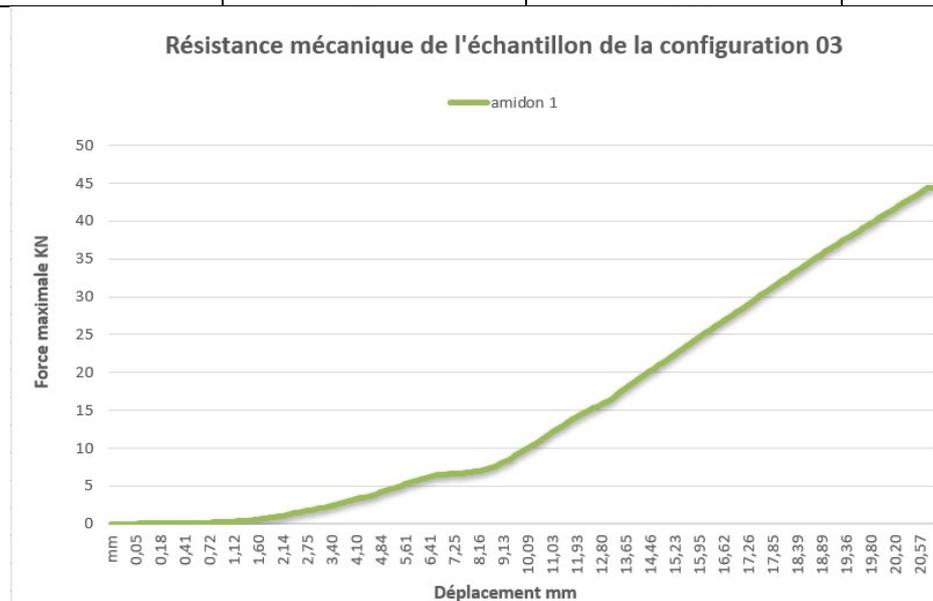
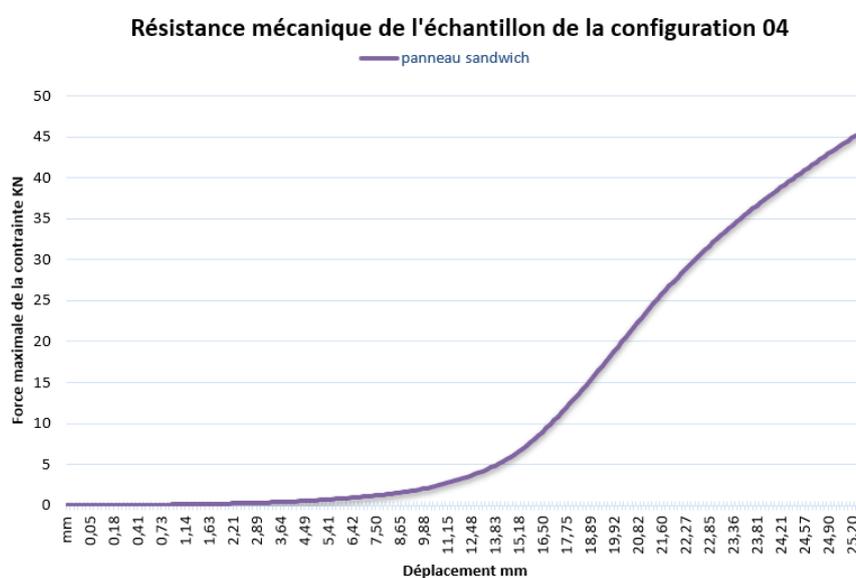


Figure 31: Force de la compression KN de l'échantillon de la configuration 03

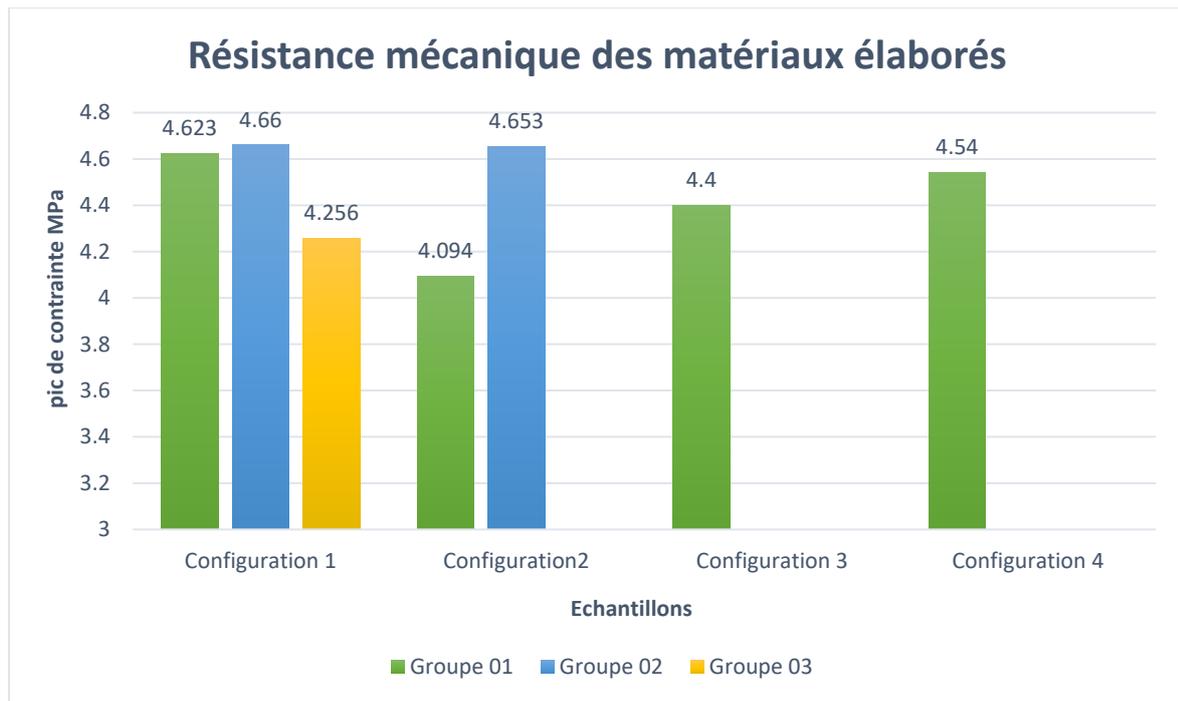
II.4.5.1.4 Résultats des essais de la compression de la Configuration 04 Panneau sandwich  
 Les résultats de la résistance à la compression des échantillons de la configuration 04 sont présentés dans le tableau 12 :

*Tableau 13: Résistance à la compression des échantillons de la configuration 04*

Échantillon	Force maximale (kN)	Contrainte à la compression MPA	Moyenne
Panneau Sandwich	45.511	4.55	4.54
	45.287	4.52	
	45.533	4.55	



*Figure 32: Force maximale de la compression KN de l'échantillon de la configuration 04*



*Figure 33: résistance mécanique des matériaux élaborés*

#### *II.4.5.2 Interprétation des résultats des essais mécaniques :*

Les résultats de la résistance à la compression des matériaux élaborés révèlent que l'incorporation de particules sèches (paille et pouzzolane) améliore significativement la résistance à la compression. Il est également observé que la réduction du rapport de la matrice (gomme arabique-eau) dans le groupe 03 de la configuration 01 entraîne une légère diminution de cette résistance.

Dans la configuration 02, à base de plâtre et de paille, nous remarquons qu'un pourcentage réduit de paille entraîne une baisse de la résistance à la compression du matériau. En revanche, l'ajout de gomme arabique à l'amidon dans l'échantillon de la configuration 03 améliore sa résistance à la compression confirmant ainsi son effet positif sur la résistance mécanique des matériaux.

Enfin, l'échantillon de la configuration 04 avec ses couches extérieures élaborés à base de gomme arabique et de paille broyée à un rapport Ps/M 0.25, affiche une résistance élevée (4,54 MPa), soulignant l'importance de la structure externe dans la résistance mécanique globale du panneau.

En conclusion, le graphe démontre que les ajustements dans la composition des matériaux, tels que l'ajout de gomme arabique, de la pouzzolane ou les modifications dans les pourcentages de paille, ont des impacts significatifs sur la résistance mécanique des matériaux élaborés.

### II.4.5.3 Résultats des essais thermiques (conductivité thermique, résistance thermique et Cp)

#### II.4.5.3.1 Résultats des essais de la Configuration 01 Paille-Gomme arabique :

Les résultats de conductivité thermique, de résistance thermique et de chaleur spécifique des groupes 1 -2-3 de la configuration 01 sont présentés dans le tableau 13 :

*Tableau 14: Caractéristiques thermiques des échantillons de la configuration 01*

Échantillon	Masse volumique	Conductivité $\lambda$ W/(m.K)	Résistance thermique R (m <sup>2</sup> .K)/W	Chaleur spécifique Cp
C1G1	309.2	<b>0.058</b>	<b>0.49</b>	398.5
C1G2	442.5	<b>0.067</b>	<b>0.43</b>	460.3
C1G3	556.3	<b>10C : 0.049</b>	<b>0.30</b>	294.0

#### II.4.5.3.2 Résultats des essais thermiques de la Configuration 02 Paille-Plâtre :

Les résultats de conductivité thermique, de résistance thermique et de chaleur spécifique des groupes 1 -2 de la configuration 02 sont présentés dans le tableau 14 :

*Tableau 15: Caractéristiques thermiques des échantillons de la configuration 02*

Échantillon	Masse volumique	Conductivité $\lambda$ W/(m.K)	Résistance thermique R (m <sup>2</sup> .K)/W	Chaleur spécifique Cp
C2G1	1033	<b>0.19</b>	<b>0.181</b>	551.1
C2G2	1043.6	<b>0.172</b>	<b>0.23</b>	579.3

#### II.4.5.3.3 Résultats des essais thermiques de la Configuration 03 Paille-Amidon :

Les résultats de conductivité thermique, de résistance thermique et de chaleur échantillons de la configuration 03 sont présentés dans le tableau 15 :

*Tableau 16: Caractéristiques thermique des échantillons de la configuration 03*

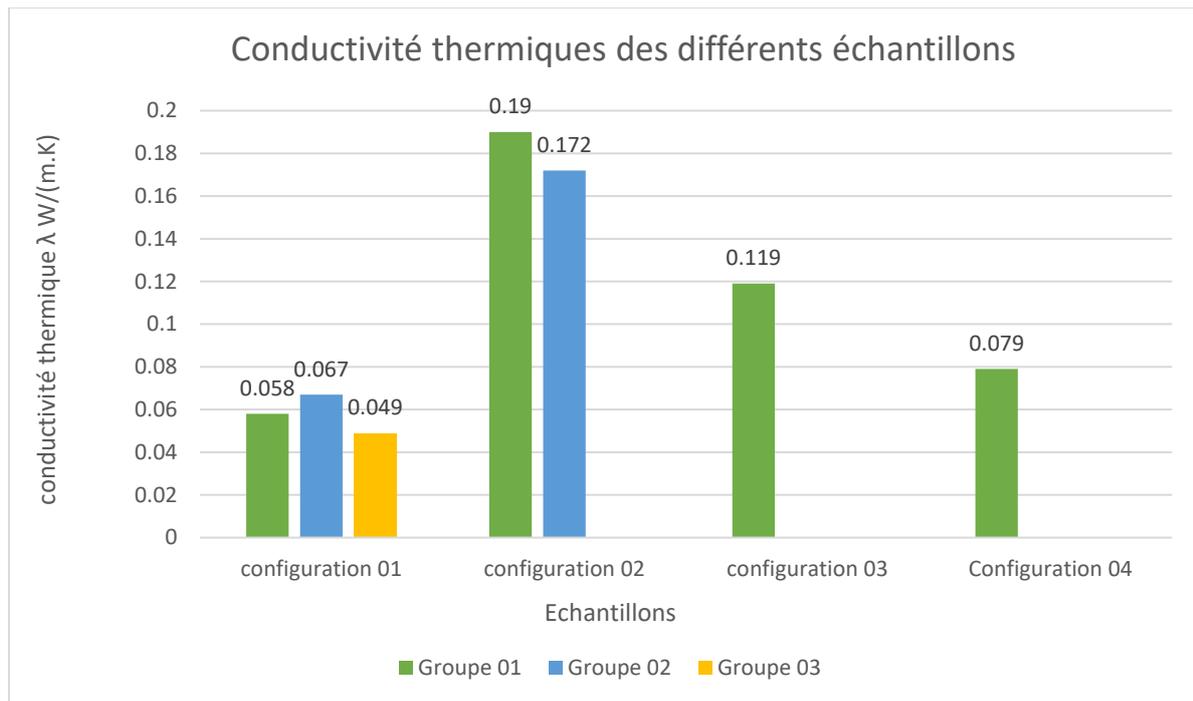
Échantillon	Masse volumique	Conductivité $\lambda$ W/(m.K)	Résistance thermique R (m <sup>2</sup> .K)/W	Chaleur spécifique Cp
Paille-Amidon	817.2	<b>0.119</b>	<b>0.333</b>	660.3

#### II.4.5.3.4 Résultats des essais thermiques de la Configuration 04 Panneau sandwich :

Les résultats de conductivité thermique, de résistance thermique et de chaleur échantillons de la configuration 04 sont présentés dans le tableau 16 :

*Tableau 17: Caractéristiques thermiques des échantillons de la configuration 04*

Échantillon	Masse volumique	Conductivité $\lambda$ W/(m.K)	Résistance thermique R (m <sup>2</sup> .K)/W	Chaleur spécifique Cp
Panneau Sandwich	512.4	<b>0.079</b>	<b>0.422</b>	600



*Figure 34: conductivité thermique des différents échantillons*

Le graphique montre la conductivité thermique des différents échantillons élaborés, mesurée en  $W/(m \cdot K)$ , pour diverses configurations et groupes.

Le groupe 03 de la configuration 01 présente la conductivité thermique la plus basse, indiquant une meilleure isolation thermique par rapport aux groupes 01 et 02. Cela suggère que les ajustements faits dans le groupe 03 en termes de réduction du rapport de la matrice (Gomme arabique/Eau) améliorent significativement les propriétés isolantes du matériau.

Les échantillons de la configuration 03 affichent des conductivités thermiques plus élevées, indiquant une isolation thermique moins efficace comparée à la configuration 1. Cela est principalement dû à la nature du liant utilisé (le plâtre) qui présente à la base une conductivité élevée de  $0.35 W/(m \cdot K)$ , cependant l'ajout de la paille à améliorer significativement la conductivité de ce matériau.

Le matériau de la configuration 03 montre une conductivité thermique intermédiaire, meilleure que celle des échantillons de la configuration 2, mais moins performante que celle des échantillons de la configuration.

La configuration 4 présente une conductivité thermique relativement basse, indiquant une bonne performance en termes d'isolation thermique. Elle est meilleure que celle de la configuration 2, mais légèrement moins efficace que celle du groupe 03 de la configuration 1 ceci est dû principalement à la densité du matériau

#### II.4.6 Conclusion :

Ce travail présente une variété de compositions de matériaux élaborés avec des propriétés physiques et mécaniques différentes.

Les échantillons contenant du plâtre (C2G1, C2G2) montrent une densité et une conductivité thermique plus élevées, mais réduit à la moitié par rapport à la conductivité du plâtre brute qui est de  $0.35 \text{ W/(m.K)}$ , l'ajout de la paille a engendré une réduction significative en termes de conductivité, et une amélioration de la résistance mécanique

Tandis que les échantillons de la configuration 1 (C1G1, C1G2, C1G3) ont une densité plus faible et une conductivité thermique variable en fonction de la composition et du rapport P/S.

Les échantillons C1G3 représentent une conductivité de  $0.049 \text{ W/(m.K)}$  ce qui est assez bon pour un matériau biosourcé, cette réduction par rapport à l'échantillon C1G2 est due principalement à l'augmentation du rapport Ps/M (où Ps : particules sèches et M : matrice)

Ce chapitre vise à caractériser les propriétés thermiques et mécaniques des matériaux développés, en vue de leur intégration dans un bâtiment type représentatif du logement contemporain algérien, afin d'évaluer l'impact thermique de ces matériaux sur le comportement énergétique du bâtiment.

---

*Chapitre III : Présentation du cas  
d'étude*

---

### III. Présentation du cas d'étude :

#### III.1 Introduction :

La connaissance des données climatiques nous permet d'élaborer une stratégie énergétique adaptée aux sites sélectionnés. Dans ce chapitre, nous présenterons les données climatiques ainsi que la présentation du cas d'étude.

#### III.2 Les zones climatiques en Algérie :

Le classement hivernal et estival des zones climatiques algériennes est représenté sur les figures 35 et 36 respectivement, conformément au DTR 3.2/4

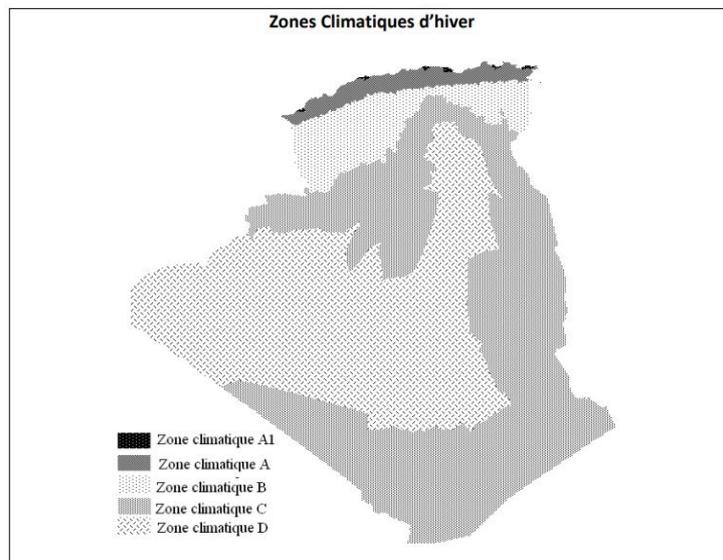


Figure 35: représentation des zones climatiques selon le classement hivernal

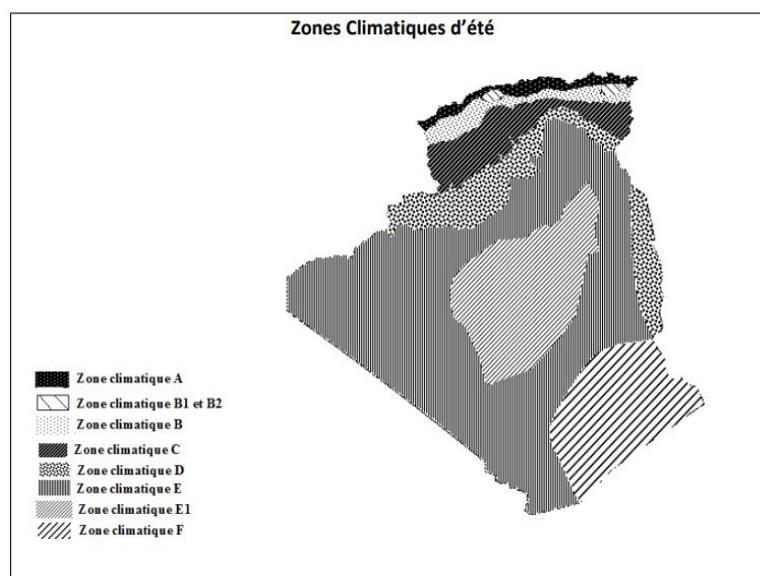


Figure 36:représentation des zones climatiques selon le classement estival

### III.3 Présentation des villes étudiés :

#### III.3.1 Introduction :

Dans le présent chapitre, nous allons présenter les villes étudiées ainsi que le cas d'étude choisie pour la simulation thermique dynamique, les données climatiques procurent la possibilité d'établir une stratégie énergétique par rapport aux sites choisies. Pour notre étude nous avons choisi un logement standard Algérien que nous allons par la suite intégrer dans deux villes de zones distinctes.

#### III.3.2 Données géographique :

Ville	Coordonnées	Altitude(M)	Zone climatique	
Alger	36.6 °N 3.2 °E	25	Eté : A	Hiver : A
Adrar	27.8 °N 0.1 °W	280	Eté : E	Hiver : C

#### III.3.3 Données climatiques :

##### III.3.3.1 Données climatiques de la ville d'Alger :

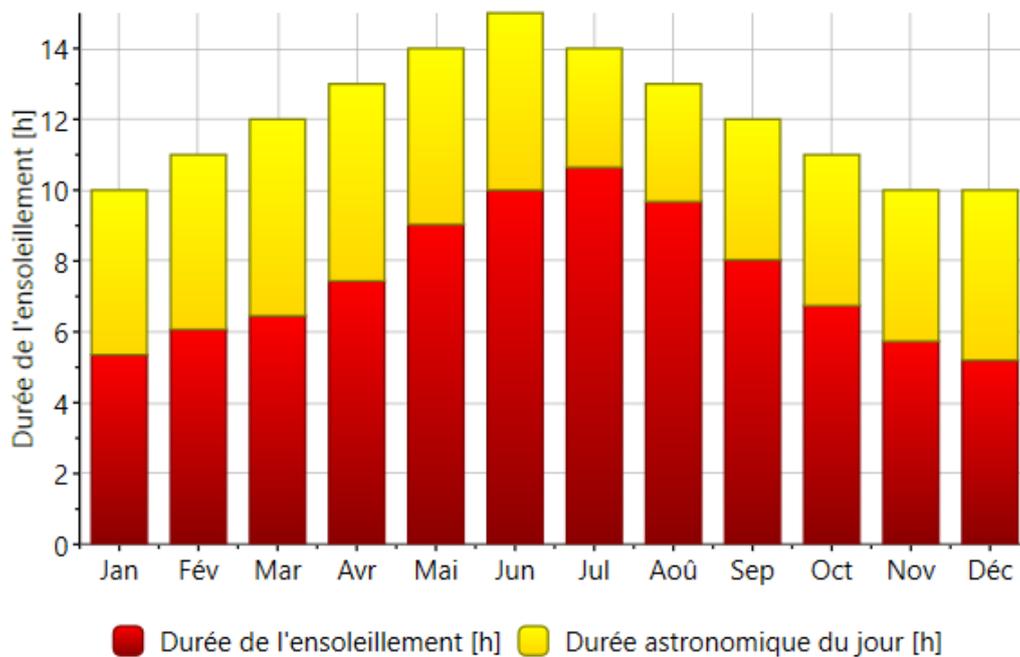


Figure 37: durée d'insolation -Alger-

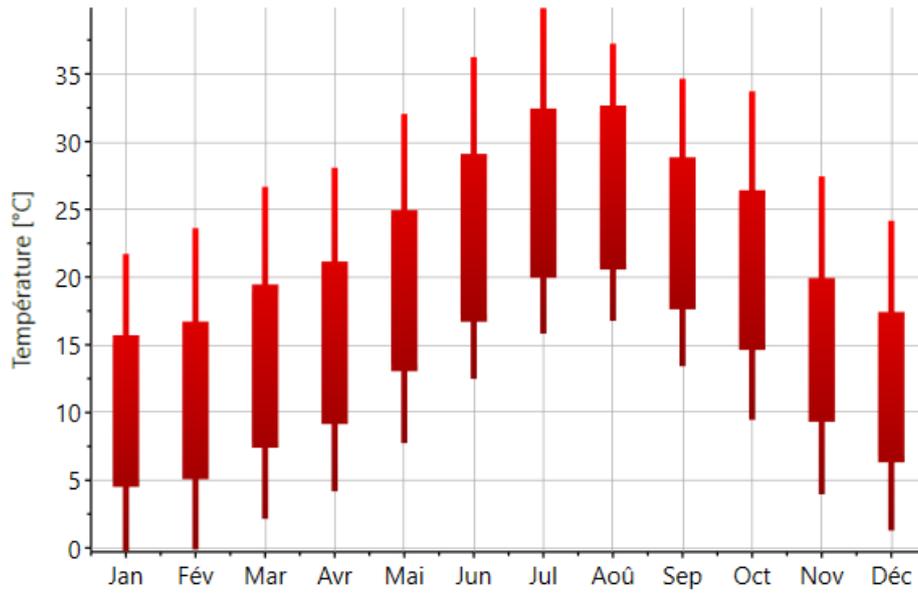


Figure 38: Températures mensuelles -Alger-

### III.3.3.2 Données climatiques de la ville d'Adrar :

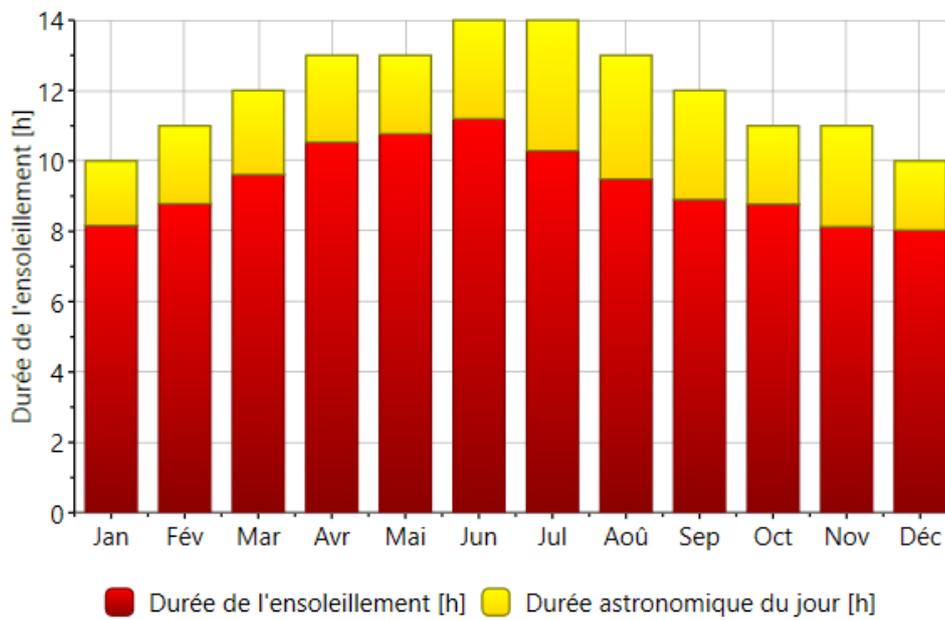
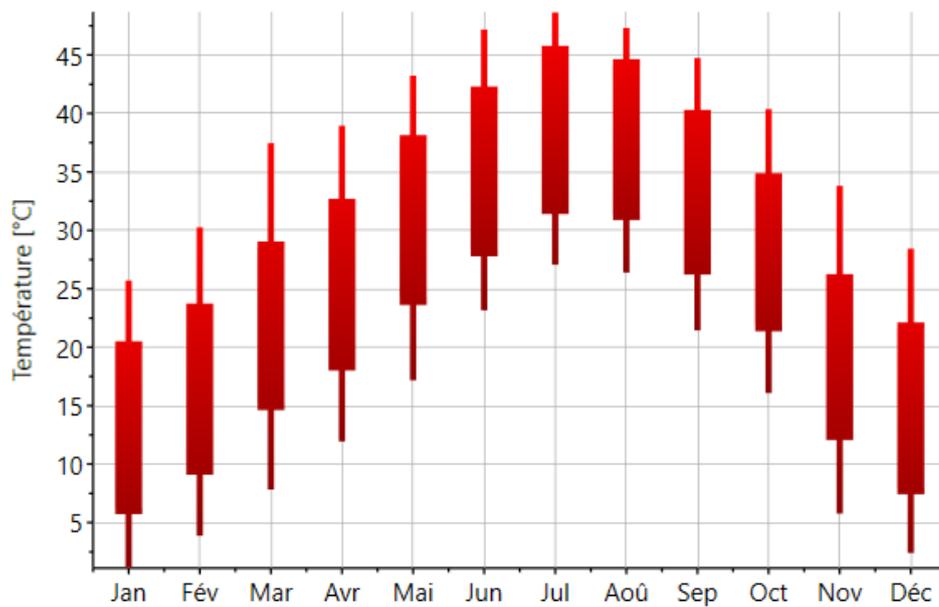


Figure 39: durée d'ensoleillement de la ville d'Adrar



*Figure 40: Températures mensuelles de la ville d'Adrar*

Les pics d'ensoleillement sont enregistrés en juin et juillet pour la région d'Adrar, et en juillet pour la région d'Alger. Adrar se distingue par une exposition solaire plus intense comparée à Alger. Les mois de janvier et décembre présentent les niveaux les plus bas d'ensoleillement pour les deux régions (voir figures 37 et 39).

La chaleur est un élément clé du climat et, d'après la figure 40, la région d'Adrar se caractérise par des températures extrêmement élevées. Le mois le plus chaud est juillet pour les deux régions, tandis que les températures les plus basses sont enregistrées en décembre et janvier.

L'hiver est plus long à Alger qu'à Adrar, tandis que l'été est plus intense à Adrar qu'à Alger. (voir figures 38 et 40)

### III.4 Présentation du cas d'étude :

Notre projet est un logement standard représentatif du logement contemporain Algérien situé dans un bâtiment collectif en 1<sup>er</sup> étage, composé d'un séjour, 2 chambres, cuisine, un hall, une salle de bain et un WC.



Figure 41: Présentation du logement étudié

#### III.4.1 Identification des espaces intérieures :

Tableau 18: caractéristiques des pièces du logement étudié

Espace	Surface	Volume	Orientation
Chambre 1	13.30	37.77	Nord
Chambre 2	13.16	37.37	Sud
Séjour	21.35	60.63	Nord

Cuisine	11.07	31.44	Sud
Salle de bain	4.54	12.89	Sud
Wc	1.33	3.78	Sud
Hall	10.81	30.70	Est
total	75.56	214.58	

### III.4.2 Caractéristiques thermo-physiques des éléments constructifs :

*Tableau 19: Composition des parois*

Désignation	Composition	Epaisseur (m)	$\lambda$ W/(m.K)	R (m <sup>2</sup> .K)/W
Mur extérieur	Mortier	0.02	1.15	0.02
	Brique creuse	0.15	0.71	0.21
	Lame d'air	0.05	0.33	0.15
	Brique creuse	0.1	0.48	0.21
	Plâtre	0.02	0.35	0.06
Mur intérieur	Plâtre	0.02	0.35	0.06
	Brique creuse	0.10	0.48	0.21
	Plâtre	0.015	0.35	0.04
Plancher bas	Plâtre	0.02	0.35	0.06
	Béton	0.20	1.33	0.15
	Mortier	0.03	1.15	0.03
	Carrelage	0.02	1.70	0.01
Plancher haut	Carrelage	0.02	1.70	0.01
	Mortier	0.03	1.15	0.03
	Béton	0.20	1.33	0.15
	Plâtre	0.02	0.35	0.06

*Tableau 20: Types d'ouvertures*

Types d'ouvertures	Fenêtres en bois simple vitrage
	Porte fenêtre en bois simple vitrage
	Portes en bois

### III.5 Méthodologie du travail :

La méthodologie suivie dans ce chapitre est représentée sur la figure ci-dessous et à pour but la bonne structuration et hiérarchisation du travail à entreprendre ainsi que la définition claire des objectifs.

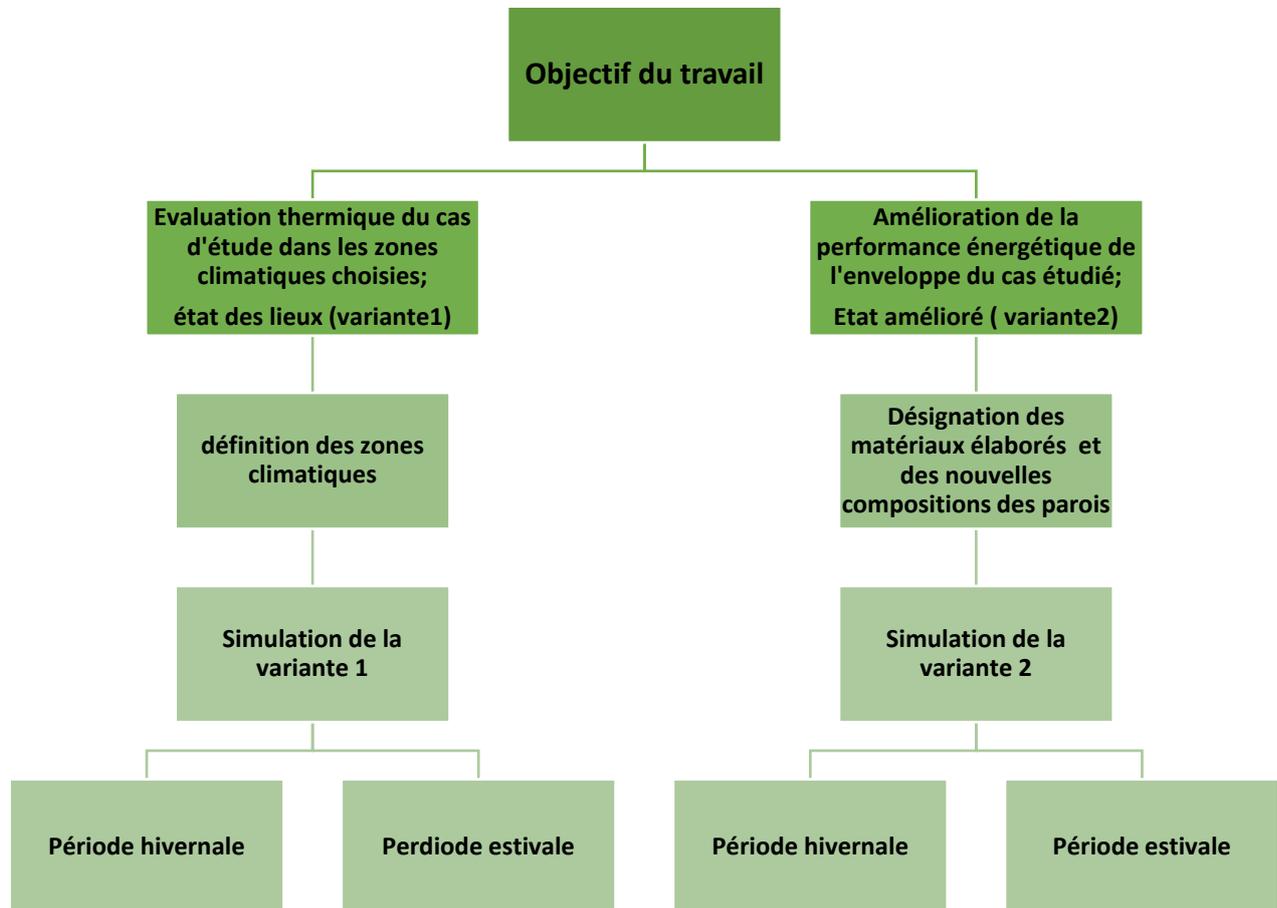


Figure 42: Méthodologie du travail de STD

### III.6 Caractéristiques thermo-physiques des matériaux développés proposés pour l'amélioration de l'enveloppe :

Matériau	Densité	Conductivité	Cp	Résistance
1-C1G1	309.2	0.058	398.5	0.49
2-C1G2	442.5	0.067	460.3	0.43
3-C1G3	556.3	0.049	294.0	0.30
4-C2G1	1033	0.19	551.1	0.181
5-C2G2	1043.6	0.172	579.3	0.23
6- Paille-amidon	817.2	0.119	660.3	0.33
7-Panneau sandwich	512.4	0.079	600	0.422

---

*Chapitre IV : La simulation  
thermique dynamique*

---

## IV. Chapitre IV : La simulation thermique dynamique :

### IV.1 Introduction :

Ce chapitre est dédié à la partie simulation thermique dynamique du logement étudié ;

La simulation est faite sous logiciel PLEIADES+COMFIE version 6.24.4.2.

### IV.2 Présentation du logiciel :

Pléiades est développé et commercialisé par IZUBA énergies, c'est un logiciel d'analyse et d'optimisation énergétique et environnementale pour l'aide à l'éco-conception de bâtiments.

Pléiades est composé d'une interface d'accueil et de 7 composants, organisés de la façon suivante : [15]

 Pleiades Accueil	Interface d'accueil lancée lorsqu'on clique sur l'icône de Pleiades. Cette interface d'orientation permet d'accéder aux différents composants du logiciel.
 Bibliothèque	Bibliothèque générale de Pleiades. Ses éléments sont utilisables depuis les autres composants de Pleiades.
 Modeleur	Outil de saisie graphique de bâtiments. Il permet aussi d'importer des maquettes numériques et de lancer tous les calculs (excepté les calculs AMAPOLA et ACV Equer).
 Résultats	Tous les résultats des calculs sont visualisables dans ce composant. Il peut aussi générer des rapports d'étude.
 Éditeur	Outil de vérification et de retouche du projet. Il permet aussi de lancer tous les calculs (excepté les calculs d'éclairage, de FLJ et l'ACV Equer).
 BIM	Outil d'import de maquette numérique à partir d'un fichier gbXML ou IFC4. Il génère un projet Pleiades Éditeur et permet aussi de lancer tous les calculs (excepté les calculs d'éclairage, de FLJ et l'ACV Equer).
 ACV Equer	Outil d'analyse de cycle de vie à l'échelle du bâtiment ou du quartier à partir du moteur de calcul EQUER.

*Figure 43: Les composants du logiciel Pléiades*

### IV.3 Les détails des composants du logiciel Pléiades :

- **Bibliothèque** : base de données des éléments constructifs du bâtiment, accessible depuis les autres composants de pléiades : Matériaux, menuiseries, équipements elle comporte aussi des éléments pour décrire l'usage(scénarios) et l'environnement proche du bâtiment.
- **Pléiades modeleur** : assure la saisie graphique rapide et fiable du bâtiment à partir de plans au format DWG ou image ou d'une maquette numérique, il permet de lancer les différents calculs et de visualiser certains résultats
- **Pléiades éditeur** : c'est l'interface avancée d'édition avancée du bâtiment il permet de lancer les différents calculs.
- **STD COMFIE** : est l'interface utilisée pour lancer les calculs de simulations thermiques dynamiques. Cette interface permet également de définir les différentes

compositions des parois, de configurer les scénarios et d'intégrer les fichiers climatiques nécessaires à la simulation

- **Pléiades Résultats** : Pléiades Résultats est une plateforme dédiée à la présentation des divers résultats obtenus à partir des simulations thermiques dynamiques (STD). Elle permet non seulement de visualiser ces résultats de manière claire et structurée, mais également de les exporter vers d'autres plateformes pour une analyse ou une utilisation plus approfondie.

### IV.3.1 Objectifs de la simulation

La simulation thermique consiste à étudier l'évolution des températures et les besoins énergétiques du bâtiment sur une certaine période. Elle a comme objectifs :

- Proposer une amélioration thermique dans le domaine d'énergie par l'introduction des scénarios.
- Fournir les éléments pertinents qui leur permettront de choisir les meilleures solutions techniques d'optimisation de l'efficacité énergétique du futur bâtiment.

L'étude intègre tous les éléments influant sur l'efficacité (données climatique, matériaux...) afin de limiter les consommations et les coûts.

### IV.3.2 Procédures d'injection des données sur pléiades :

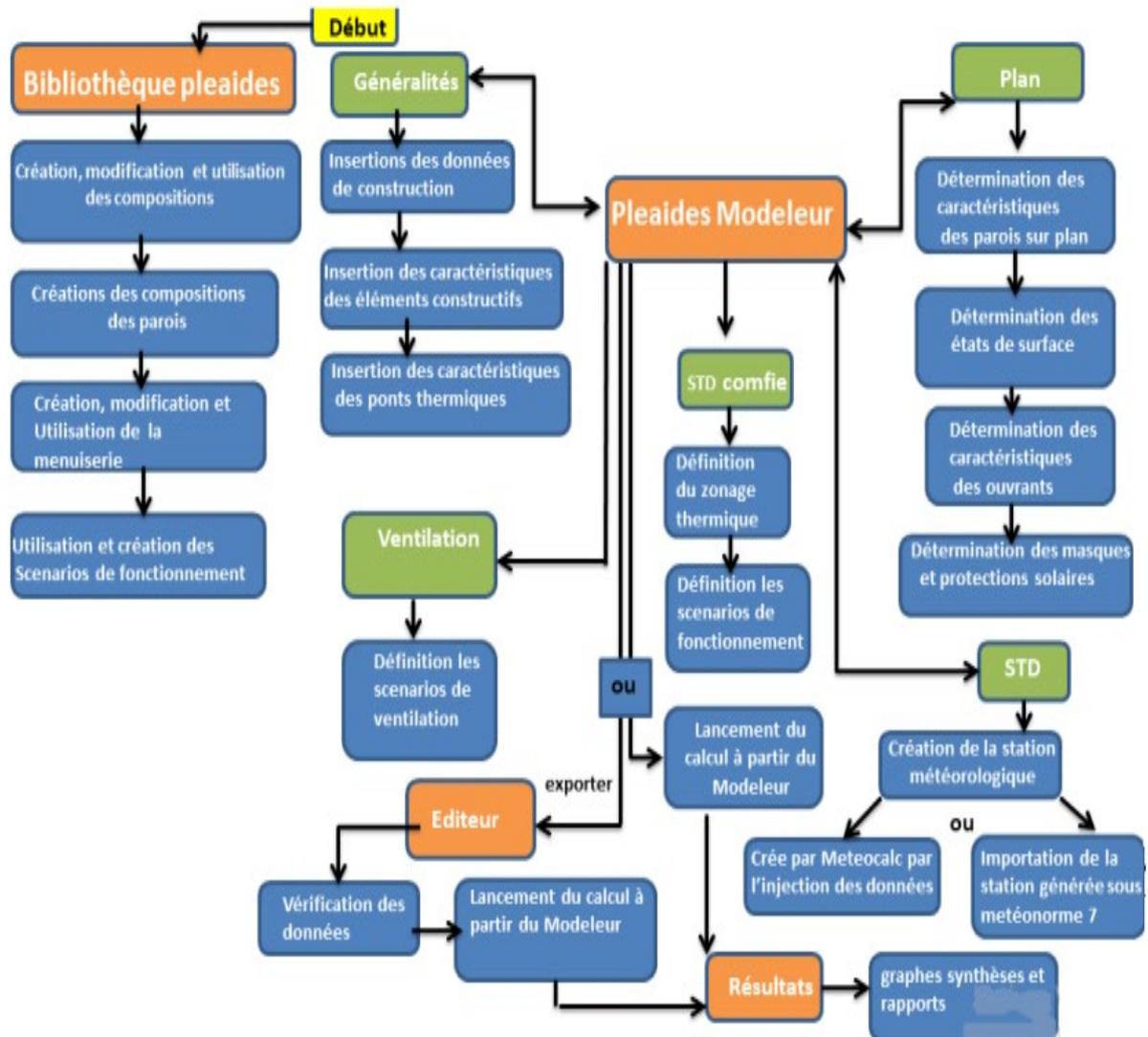


Figure 44: procédures d'injection des données [16]

## IV.4 Processus d'application des logiciels :

### IV.4.1 Création d'un fichier météorologique :

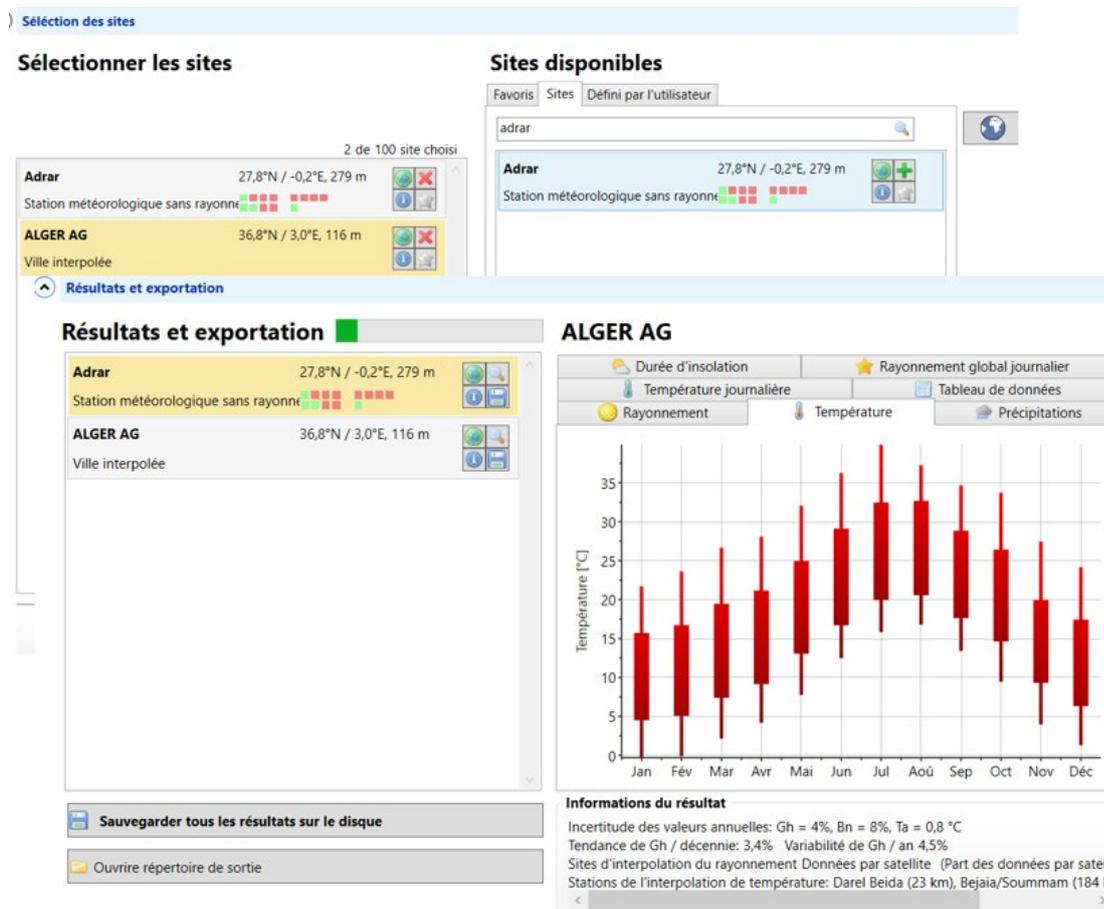


Figure 45: Interface du logiciel Météonorme

### IV.4.2 Sous Pléiades :

#### IV.4.2.1 Création des matériaux :

Le logiciel PLEIADE-COMFIE possède une grande base de données de matériaux, et on peut même intégrer d'autres éléments grâce à l'identification de leurs caractéristiques thermophysiques.

Pour les caractéristiques nous avons utilisé les résultats de la littérature [ 17 ] :

N°	Building element	Outside to inside	Composition	Thickness (m)	Thermal conductivity (W/m-K)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Specific heat capacity (kJ/kg K)	U-value (W/m <sup>2</sup> -K)
1	Exterior wall	Layer 1	Mortar	0.02	1.15	1900	1.08	1.118
		Layer 2	Hollow brick	0.15	0.48	900	0.93	
		Layer 3	Air cavity	0.05	0.024	1.22	1.00	
		Layer 4	Hollow brick	0.1	0.48	900	0.93	
		Layer 5	Plaster	0.02	0.35	800	0.93	
2	Partition wall	Layer 1	Plaster	0.02	0.35	800	0.93	1.857
		Layer 2	Hollow brick	0.1	0.48	900	0.93	
		Layer 3	Plaster	0.015	0.35	800	0.93	
3	Internal floor	Layer 1	Tiling	0.02	1.7	2200	0.93	1.985
		Layer 2	Mortar	0.03	1.15	1900	1.08	
		Layer 3	Concrete slab (hollow block)	0.2	1.45	1450	1.08	
4	Roof	Layer 4	Plaster	0.02	0.35	800	0.93	0.584
		Layer 1	Tightness	0.015	0.7	2100	1.04	
		Layer 2	Mortar	0.04	1.15	1900	1.08	
		Layer 3	Polystyrene	0.05	0.04	20	1.4	
		Layer 4	Concrete slab (hollow block)	0.2	1.45	1450	1.08	
5	Ground floor	Layer 5	Plaster	0.02	0.35	800	0.93	3.259
		Layer 1	Concrete	0.1	1.75	2500	1.08	
		Layer 2	Mortar	0.03	1.15	1900	1.08	
		Layer 3	Tiling	0.02	1.7	2200	0.93	

Figure 46: caractéristiques des matériaux utilisés

Pour créer un nouveau matériau nous devons suivre les étapes montrées sur la figure ci-dessous :

- 1- On clique sur l'icône « matériau »
- 2- On clique sur « Nouveau »
- 3- On nomme le matériau
- 4- On saisit les caractéristiques du matériau
- 5- Et enfin on sauvegarde : « sauver en bibliothèque »

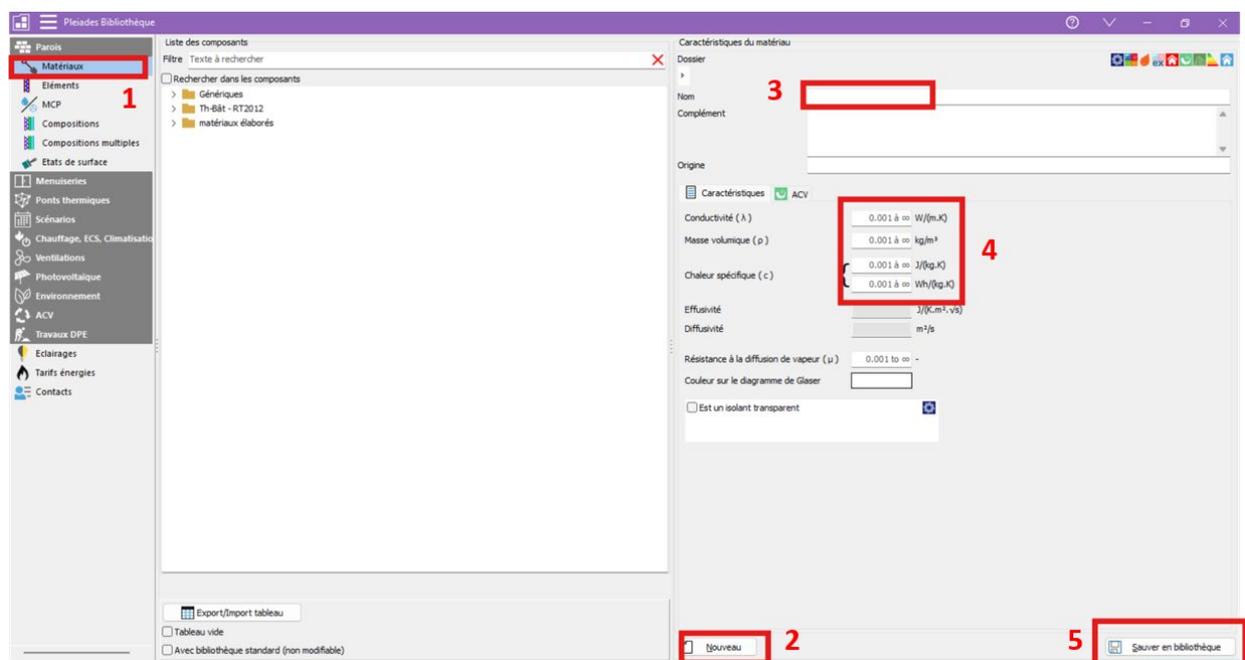


Figure 47: étapes de création d'un nouveau matériau

#### IV.4.2.2 Composition des éléments constructifs :

Tableau 21: composition du mur extérieur

Désignation	Composition	Epaisseur (m)	$\lambda$ W/(m.K)	R (m2.K)/W
Mur extérieur	Mortier	0.02	1.15	0.02
	Brique creuse	0.15	0.71	0.21
	Lame d'air	0.05	0.33	0.15
	Brique creuse	0.1	0.48	0.21
	Plâtre	0.02	0.35	0.06

Tableau 22: Composition du mur intérieur

Désignation	Composition	Epaisseur (m)	$\lambda$ W/(m.K)	R (m2.K)/W
Mur intérieur	Plâtre	0.02	0.35	0.06
	Brique creuse	0.1	0.48	0.21
	Plâtre	0.015	0.35	0.04

Tableau 23: Composition des planchers

Désignation	Composition	Epaisseur (m)	$\lambda$ W/(m.K)	R (m2.K)/W
Plancher bas	Plâtre	0.02	0.35	0.06
	Béton	0.2	1.33	0.15
	Mortier	0.03	1.15	0.03
	Carrelage	0.02	1.70	0.01
Plancher haut	Carrelage	0.02	1.70	0.01
	Mortier	0.03	1.15	0.03
	Béton	0.2	1.33	0.15
	Plâtre	0.02	0.35	0.06

#### IV.4.3 Sous Modeleur :

##### IV.4.3.1 Définition des paramètres constructifs sous Modeleur :

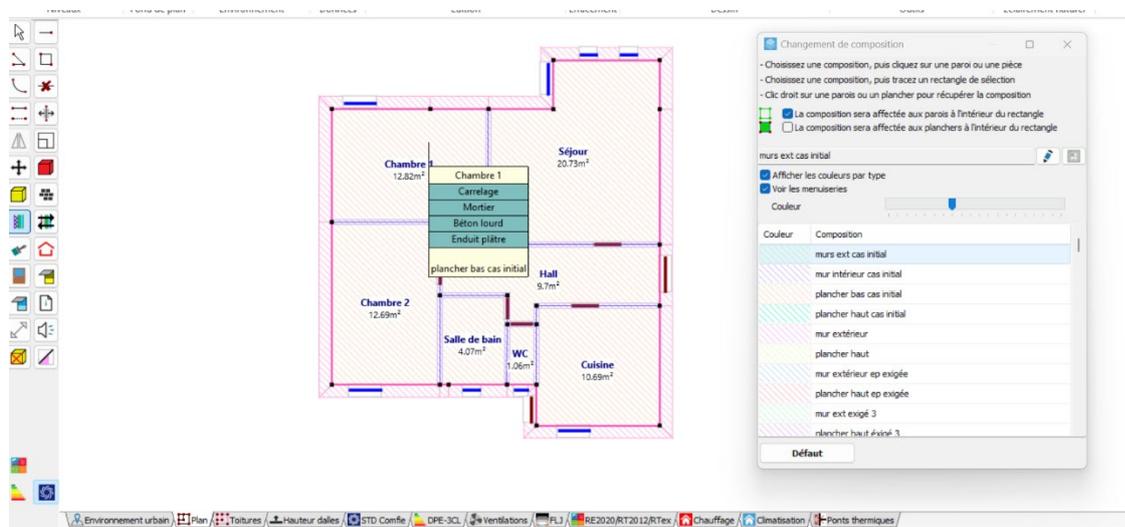


Figure 48: définition des éléments constructifs sur modeleur

#### IV.4.3.2 Dessin du plan sous Modeleur :

A côté de la saisie graphique du plan on peut introduire les points suivants :

- ❖ Caractéristiques des murs ;
- ❖ Caractéristiques des ouvrants ;
- ❖ Identification des pièces ;
- ❖ Identification des zones thermiques ;
- ❖ Identification de la position du Nord.

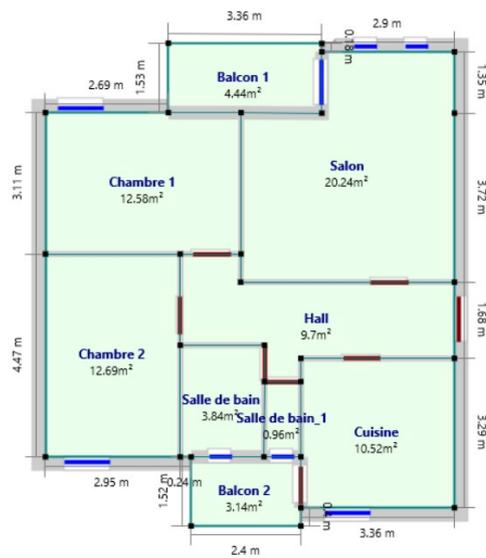


Figure 49: Plan du logement étudié



Figure 50: La 3D du logement étudié

#### IV.4.3.3 Définition des scénarios sous Pléiades :

Avant de lancer les simulations, on intègre les scénarios de fonctionnement :

- Sources de chaleur liées à l'environnement intérieur provenant des occupants, de l'éclairage, des appareils électriques.
- Des scénarios horaires peuvent être définis sur une année entière pour les consignes de températures, les occupations, les puissances dissipées par les équipements, les occultations des vitrages, les ventilations, etc.

##### IV.4.3.3.1 Scénarios d'occupation :

Le scénario d'occupation : permet de déterminer le nombre d'utilisateurs du logement ainsi que le taux de fréquentation de l'espace par heure, le but de ce scenario est de déterminer les apports internes produits par les occupants du logement étudié.

Pour notre simulation, nous avons pris les scénarios définis par BOUMEDDINE TAKOUA dans son mémoire de master intitulé « L'AMELIORATION DE LA PERFORMANCE ENERGETIQUE D'UN BATIMENT RESIDENTIEL ADAPTE DANS PLUSIEURS SITES ALGERIENS » :

- Nombres d'occupants : 5
- ❖ **Scénario d'occupation proposé pour le séjour :**

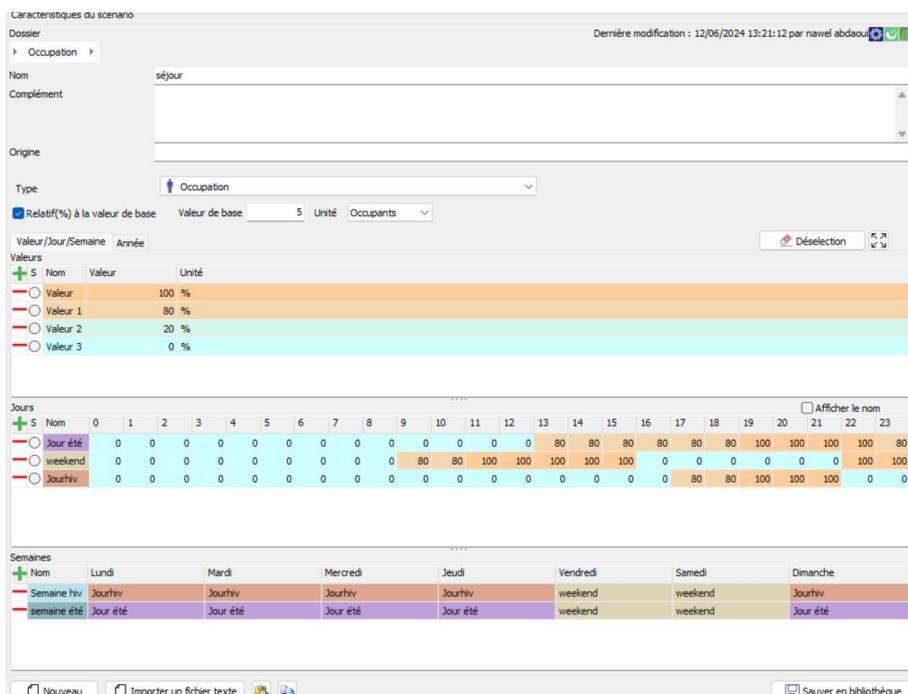


Figure 51: scénario d'occupation du séjour

❖ **Scénario d'occupation proposé pour la chambre 01 :**

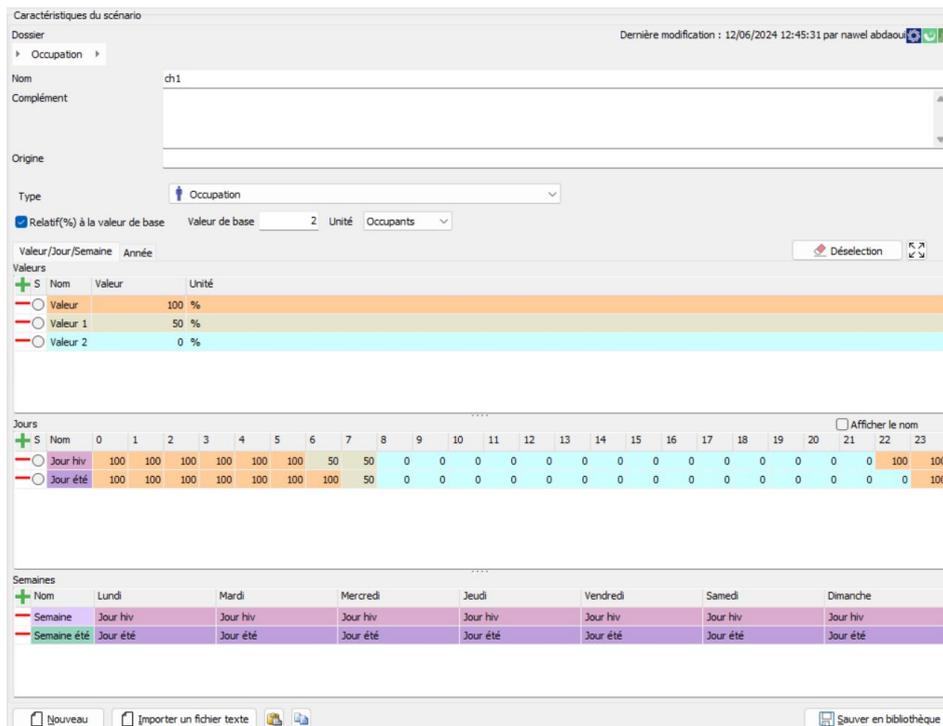


Figure 52: scénario proposé pour la chambre 01

❖ **Scénario d'occupation proposé pour la chambre 02 :**

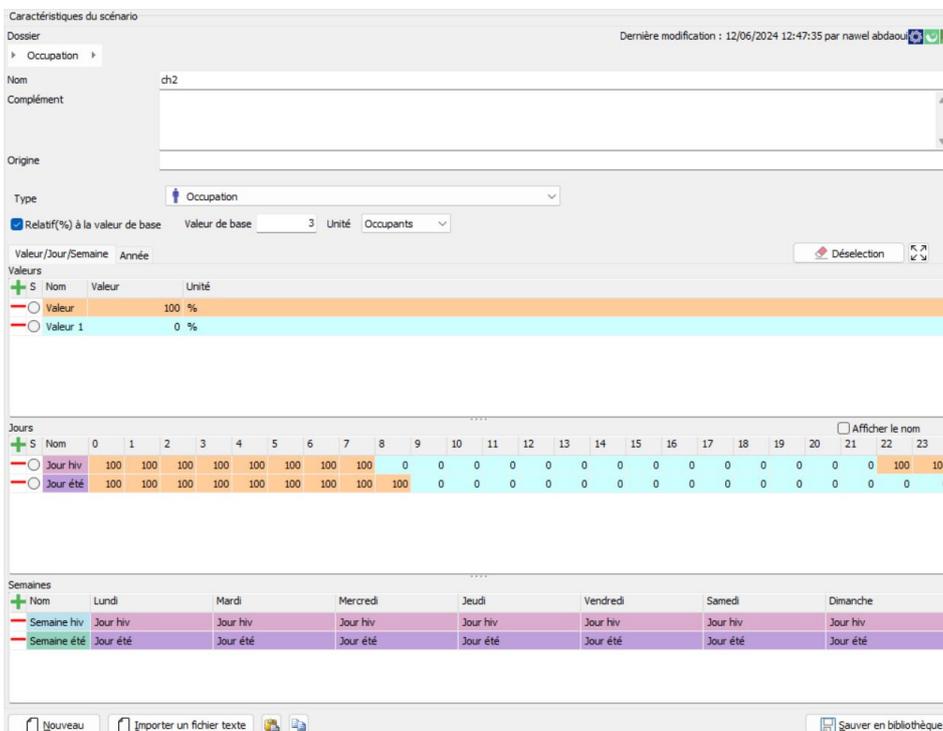


Figure 53: scénario proposé pour la chambre 02

❖ **Scénario d'occupation proposé pour la cuisine :**

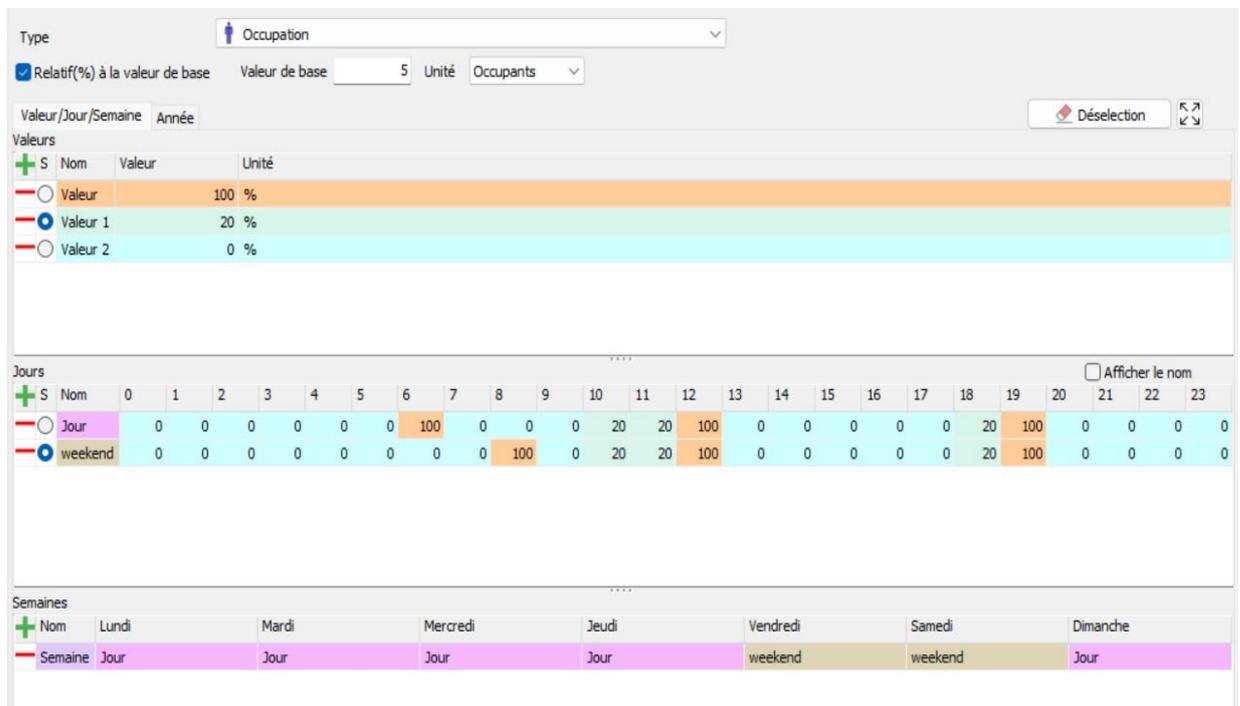


Figure 54: scénario d'occupation de la cuisine

❖ **Scénario d'occupation proposé pour le hall (espace de circulation) :**

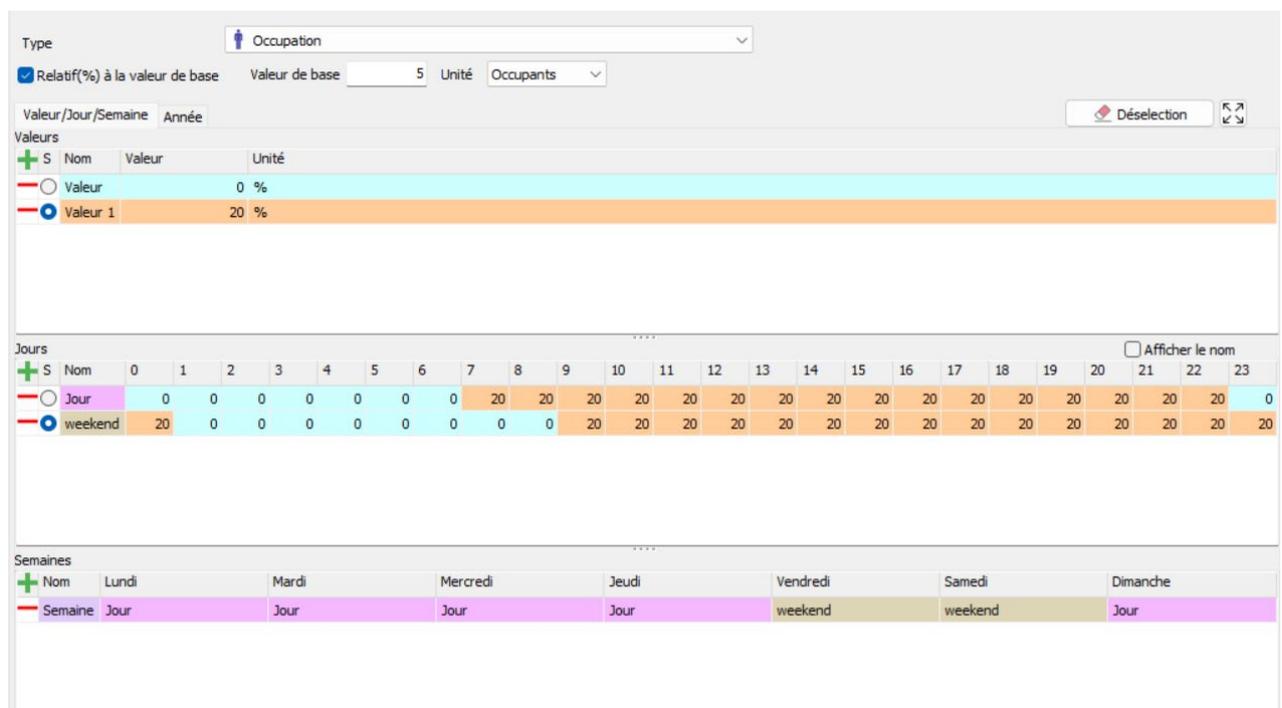


Figure 55: scénario d'occupation du hall

#### IV.4.3.3.2 Scénarios de puissance dissipée :

Ce scénario permet de déterminer la chaleur émise par les appareils électriques pour la simulation thermique dynamique et toujours dans le but d'identifier les apports internes.

##### ❖ Scénario proposé pour le séjour :

- 2 lampes (33 watts pour chaque une)
- 1 tv + 1 Démodulateur + (100+100 watts)
- Pc (100 watts)

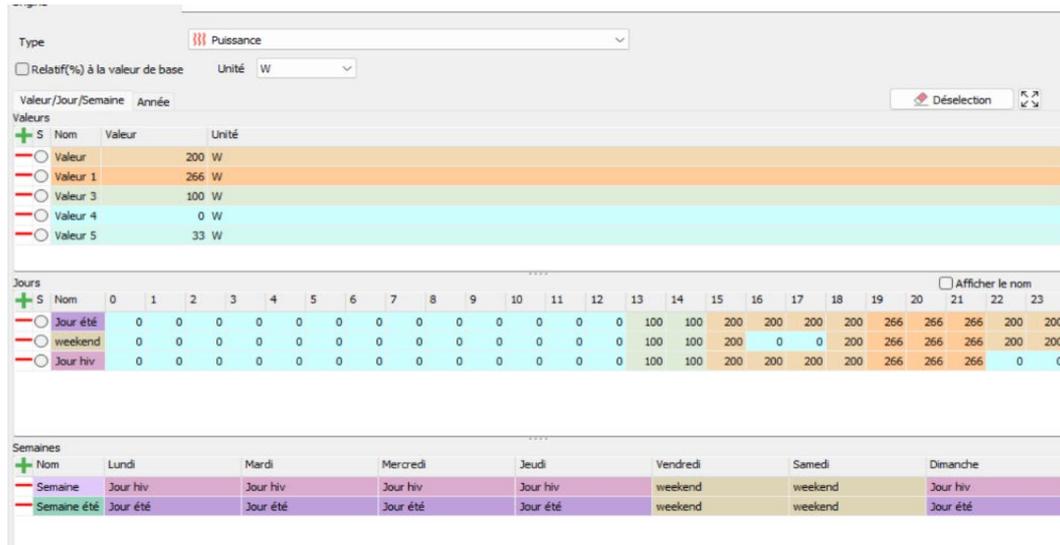


Figure 56: scénario puissance dissipée du séjour

##### ❖ Scénario proposé pour la cuisine :

- Une lampe (33 watts) de 18h-00h
- Un réfrigérateur (70 watts)
- Four à gaz (300 watts) de 10h-12h et de 18h-19h.

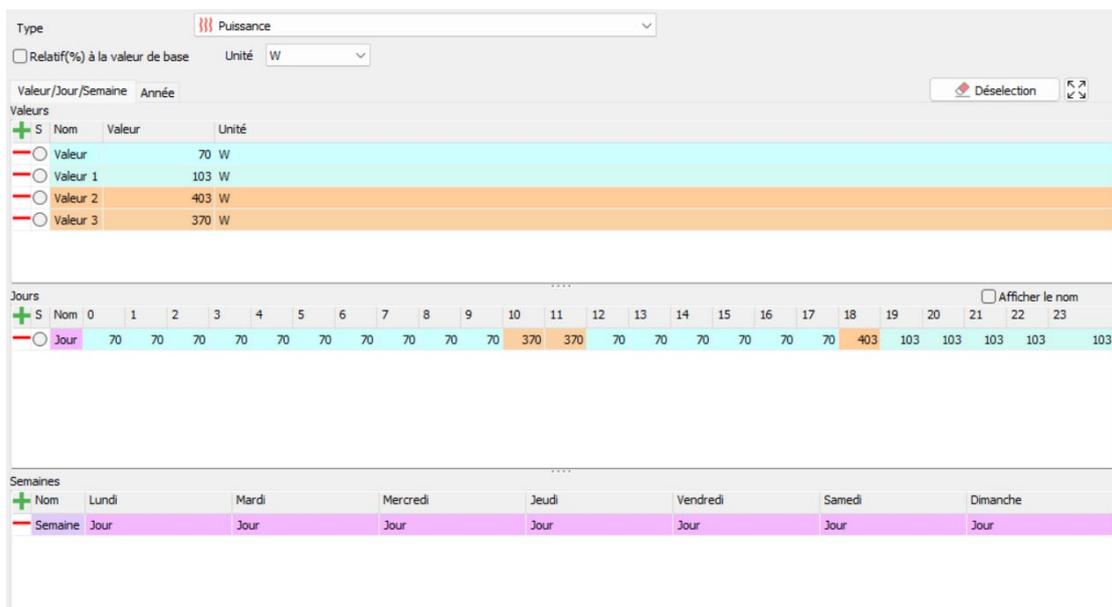


Figure 57: Scénario la puissance dissipée de la cuisine

❖ **Scénario proposé pour le hall :**  
2 lampes (33 watts).

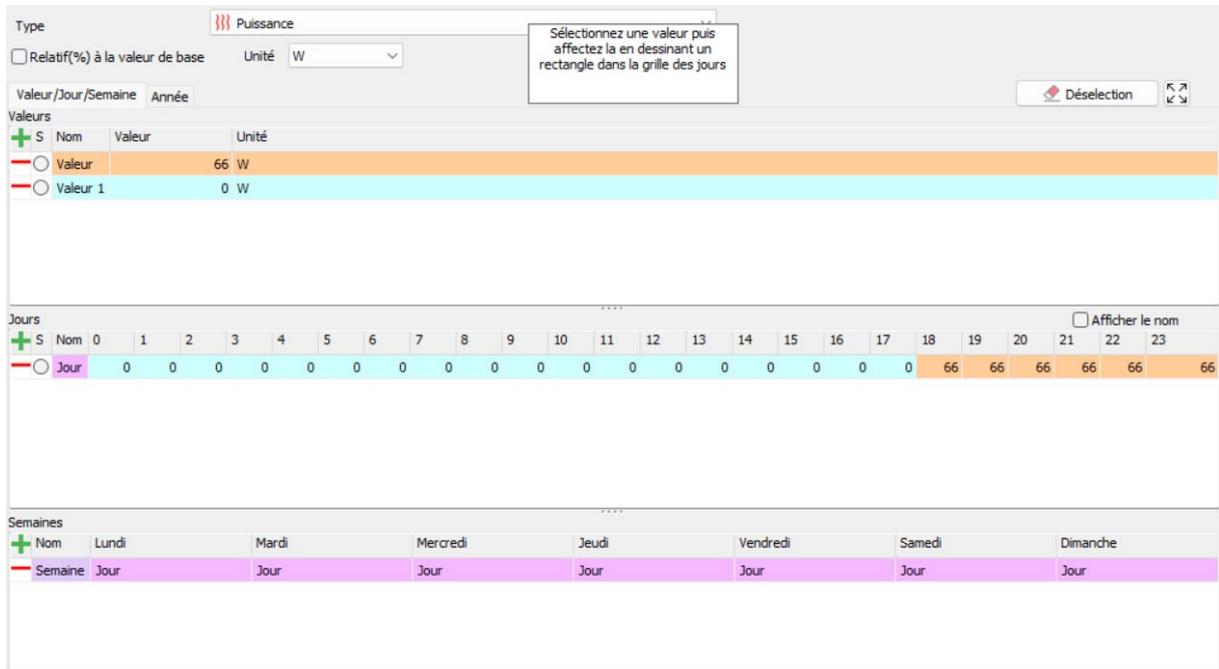


Figure 58: scénario puissance dissipée du hall

❖ **Scénario proposé pour les salles d'eau :**  
2 lampes (33 watts pour chaque une) de 18h-00h, on suppose qu'une seule lampe est allumée en alternance, une heure allumée et une heure éteinte.

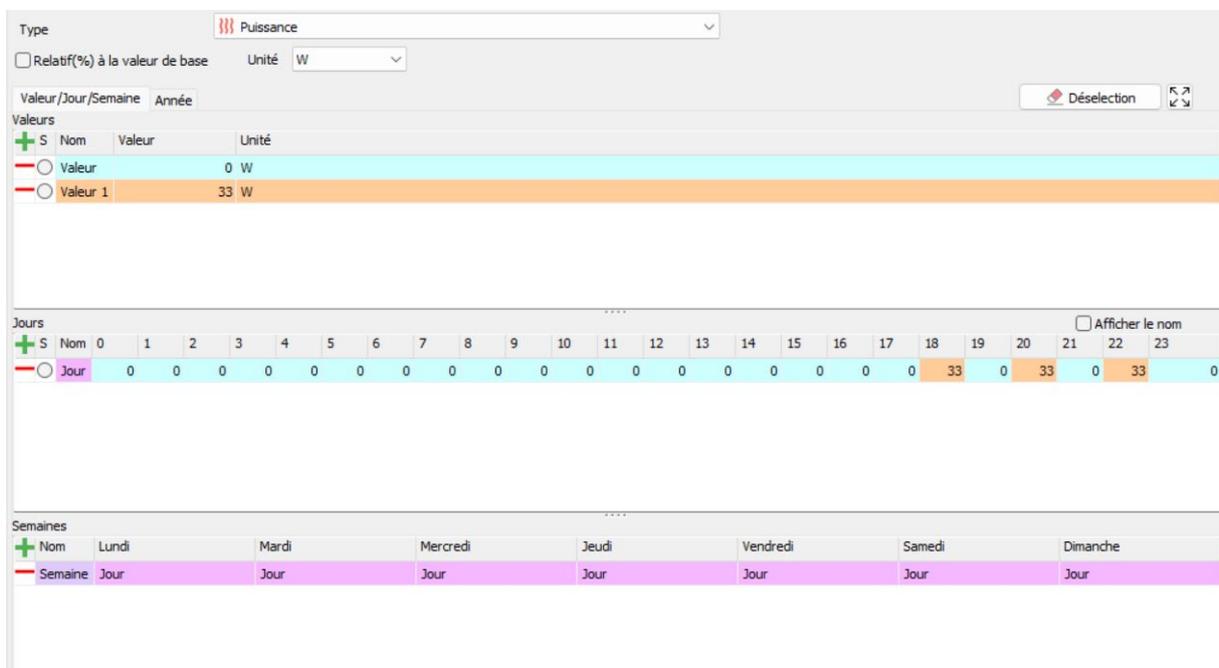


Figure 59: scénario puissance dissipée des salles d'eau

#### IV.4.3.3.3 Scénario de ventilation :

Une bonne qualité de l'air intérieur dans nos bâtiments est aujourd'hui une préoccupation de plus en plus grande.

Pour cette étude, on propose un taux de renouvellement d'air standard de 0.6 du volume habitable.

Caractéristiques du scénario  
Dossier : ventilation  
Nom : ventilation avec consigne  
Type : Ventilation  
Relatif(%) à la valeur de base : Valeur de base 0.6 Unité vol/h

Valeurs	Nom	Valeur	Unité
<input type="radio"/>	Valeur	20	%
<input type="radio"/>	Valeur 1	0	%

Jours	Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
<input type="radio"/>	Journée été	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
<input type="radio"/>	Journée hiver	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

Semaines	Nom	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
<input type="radio"/>	Semaine été	Journée été	Journée été	Journée été	Journée été	Journée été	Journée été	Journée été
<input type="radio"/>	Semaine hiv	Journée hiver						

Figure 60: Ventilation avec consigne

Caractéristiques du scénario  
Dossier : ventilation  
Nom : ventilation sans consigne  
Type : Ventilation  
Relatif(%) à la valeur de base : Valeur de base 0.6 Unité vol/h

Valeurs	Nom	Valeur	Unité
<input type="radio"/>	Valeur	100	%
<input type="radio"/>	Valeur 1	20	%

Jours	Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
<input type="radio"/>	Journée hiver	20	20	20	20	20	20	20	20	100	100	100	100	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
<input type="radio"/>	Journée été	100	100	100	100	100	100	100	100	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	100	100	100	100	100

Semaines	Nom	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
<input type="radio"/>	Semaine été	Journée été	Journée été	Journée été	Journée été	Journée été	Journée été	Journée été
<input type="radio"/>	Semaine hiv	Journée hiver						

Figure 61: Ventilation sans consigne

#### IV.4.3.3.4 Scénarios de consigne de thermostat :

Température de consigne : La température de consigne de chauffage correspond à la température de confort hivernal dans le bâtiment : elle a été fixée à 20°C durant toute la journée. Dans les chambres et le séjour, La température de consigne de rafraîchissement correspond aussi à la température de confort estival : elle a été fixée à 27°C selon le DTR C3.2/4.

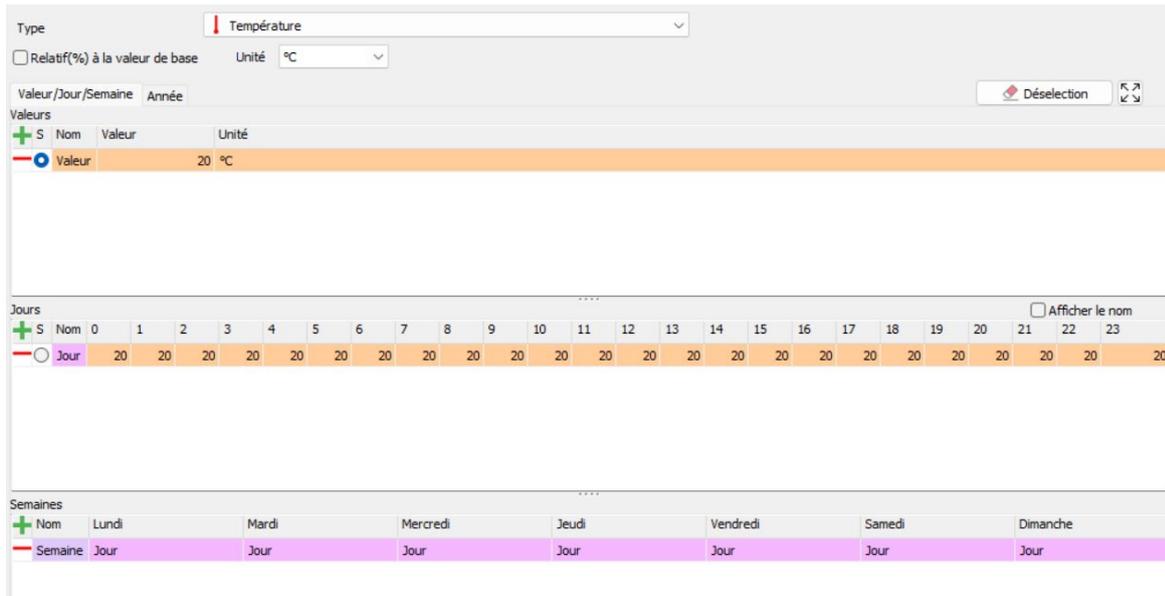


Figure 62: scénario de consigne de thermostat de chauffage

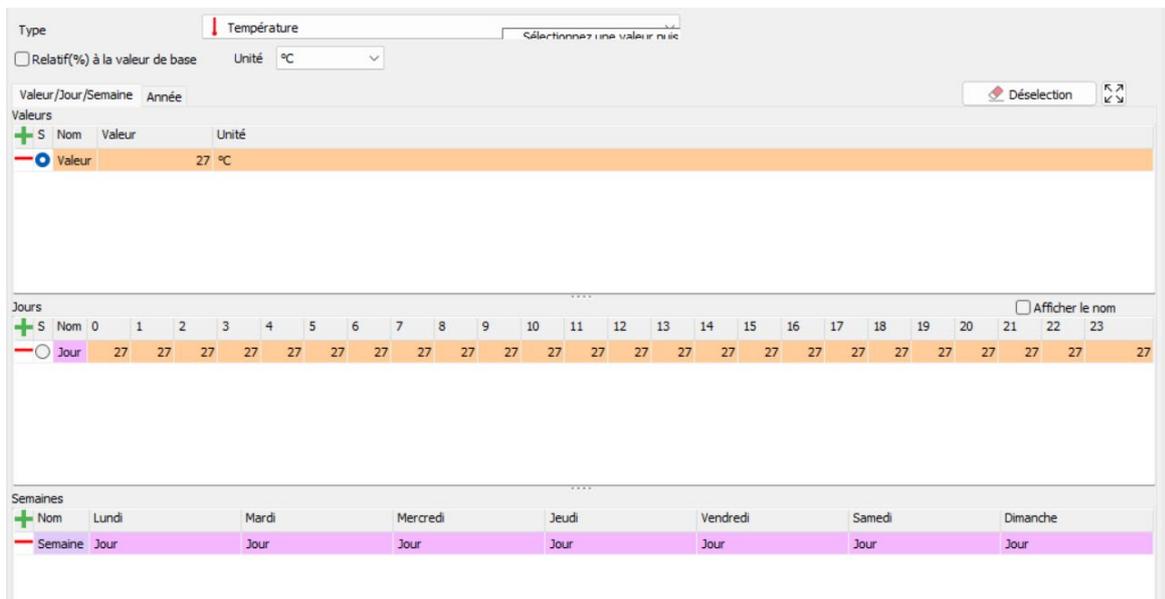


Figure 63: scénario de consigne de thermostat de climatisation

#### IV.4.3.4 Lancement de la simulation :

Le lancement de la simulation est une étape essentielle, qui permet de modéliser le comportement thermique du logement étudié, en prenant en compte les conditions extérieures et les propriétés des matériaux.

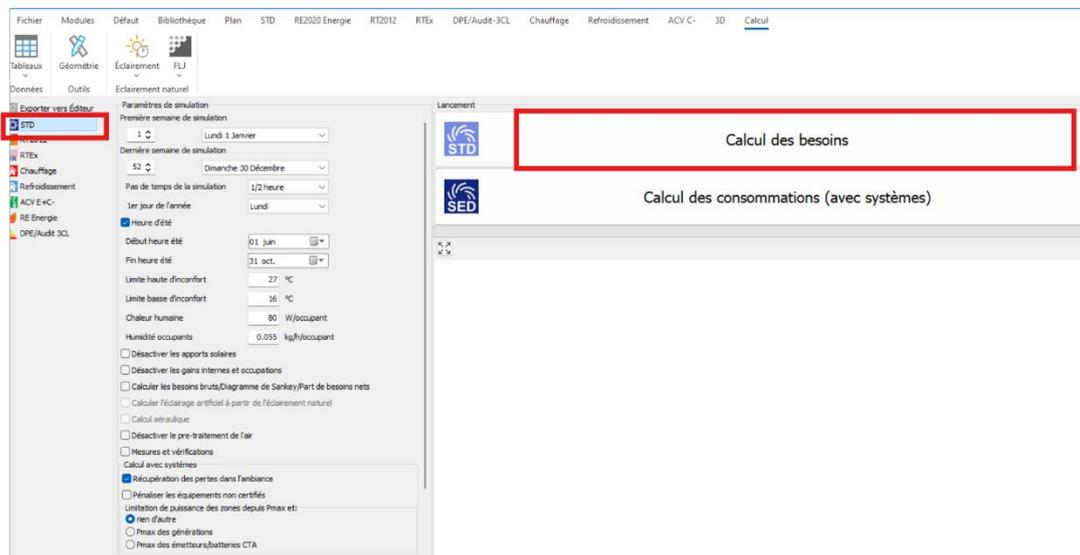


Figure 64: L'interface du lancement de la simulation

#### IV.4.3.5 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons défini la simulation thermique dynamique, présenté le processus du fonctionnement du logiciel, et décrit tous les scénarios effectués.

Dans le chapitre suivant nous allons présenter les résultats et discussions obtenus après lancement des simulations établies par le logiciel Pléiades.

---

*Chapitre V : Résultats et  
discussions*

---

## V. Résultats et discussions

### V.1 Introduction :

### V.2 Les simulations du logement dans les différents sites d'études :

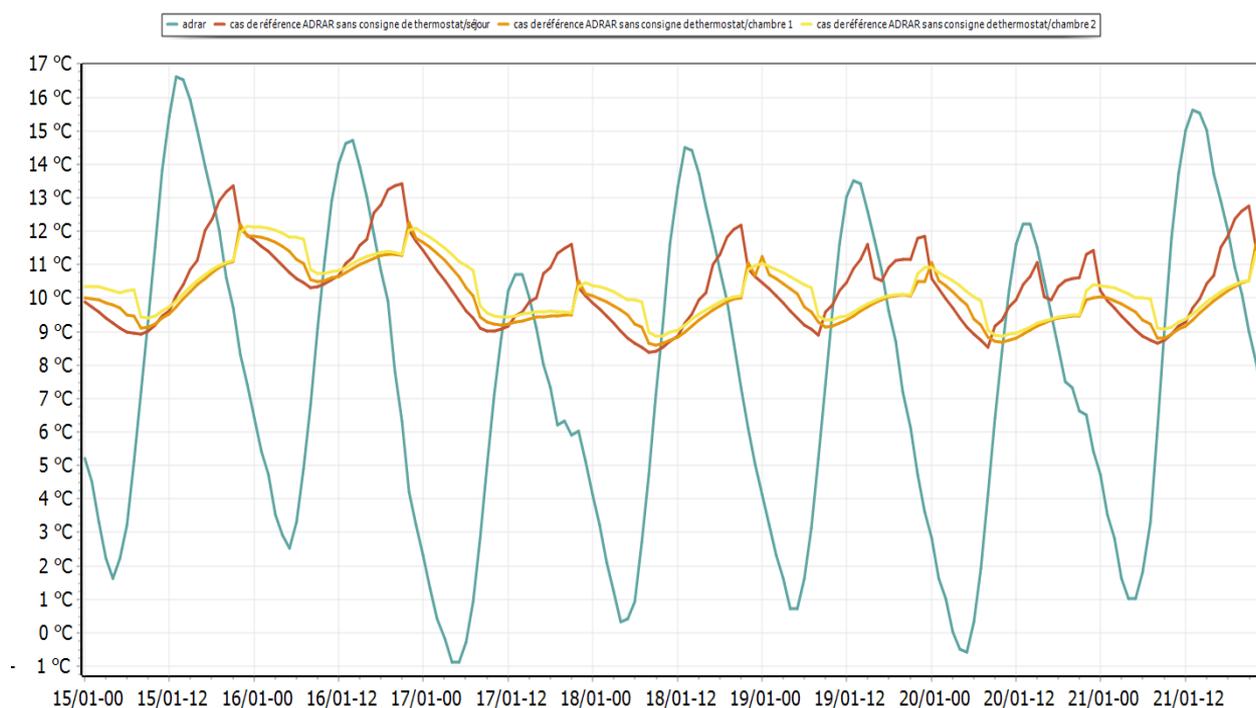
Variante 01 : Cas de référence.

Variante 02 : Variante améliorée selon les différents matériaux élaborés.

#### V.2.1 Variante 01 : Cas de référence

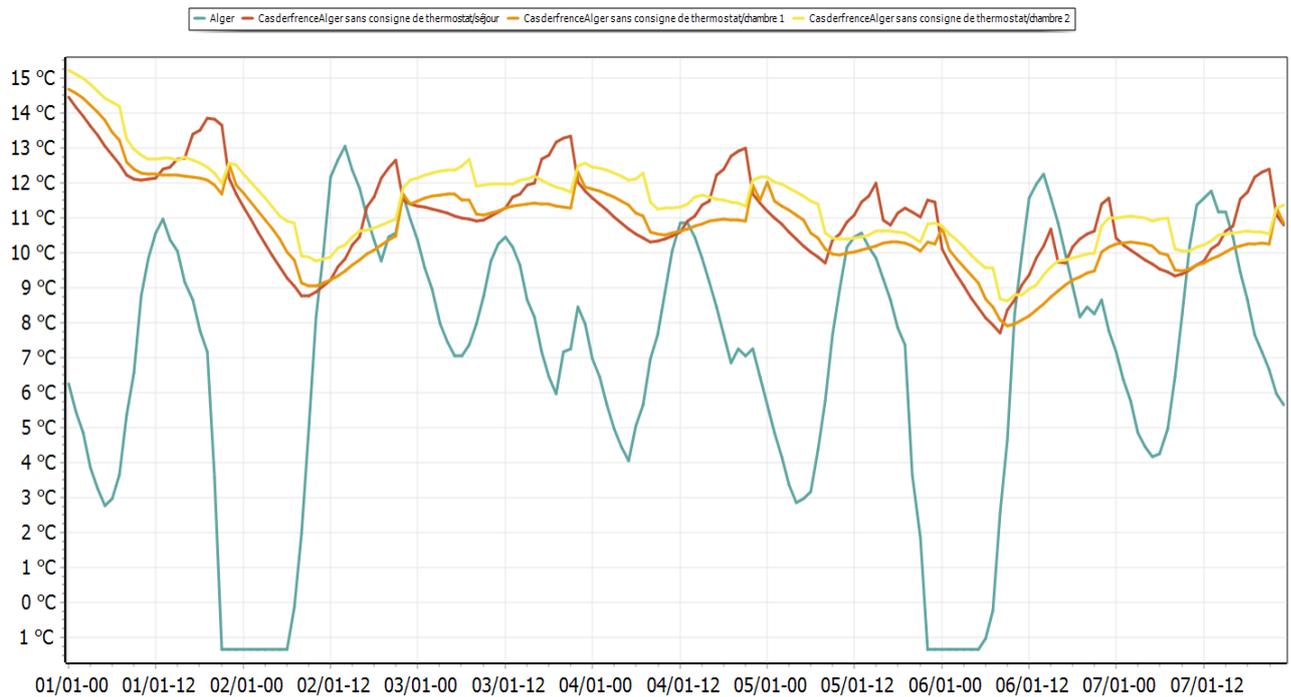
##### V.2.1.1 Simulation sans consigne de thermostat :

##### ✚ Simulation hivernale -ADRAR- :



*Figure 65: Evolution des températures internes en hiver pendant la semaine la plus froide dans la région d'Adrar*

## Simulation hivernale-ALGER- :



*Figure 66: Evolution des températures internes en hiver pendant la semaine la plus froide dans la région d'Alger*

*Tableau 24: variation de température dans la semaine la plus froide dans les zones étudiées*

	Adrar	Alger
Séjour	8.4°C ~ 13.5 °C	7.9 °C ~ 14.2 °C
Chambre 01	8.6°C ~ 12 °C	8 °C ~ 14.5 °C
Chambre 02	9 °C ~ 12.1 °C	8.6°C ~ 15.2 °C
Extérieur	-1 °C ~ 16.8 °C	-1 °C ~ 13 °C

D'après les résultats obtenus et qui sont montrés sur les figures 62 et 63 nous avons constaté que les températures varient de -1°C à 16.8°C pour le site d'Adrar et de -1°C à 13°C pour le site d'Alger.

Pour les deux variantes les températures intérieures suivent les fluctuations des températures extérieures et qui peuvent baisser jusqu'à 8.4 °C pour le logement adapté dans le site d'Adrar et à 7.9°C pour le site d'Alger (voir tableau 24). C'est dû à la faible résistance des éléments constructifs (Voir tableau21)

### Simulation estivale Adrar :

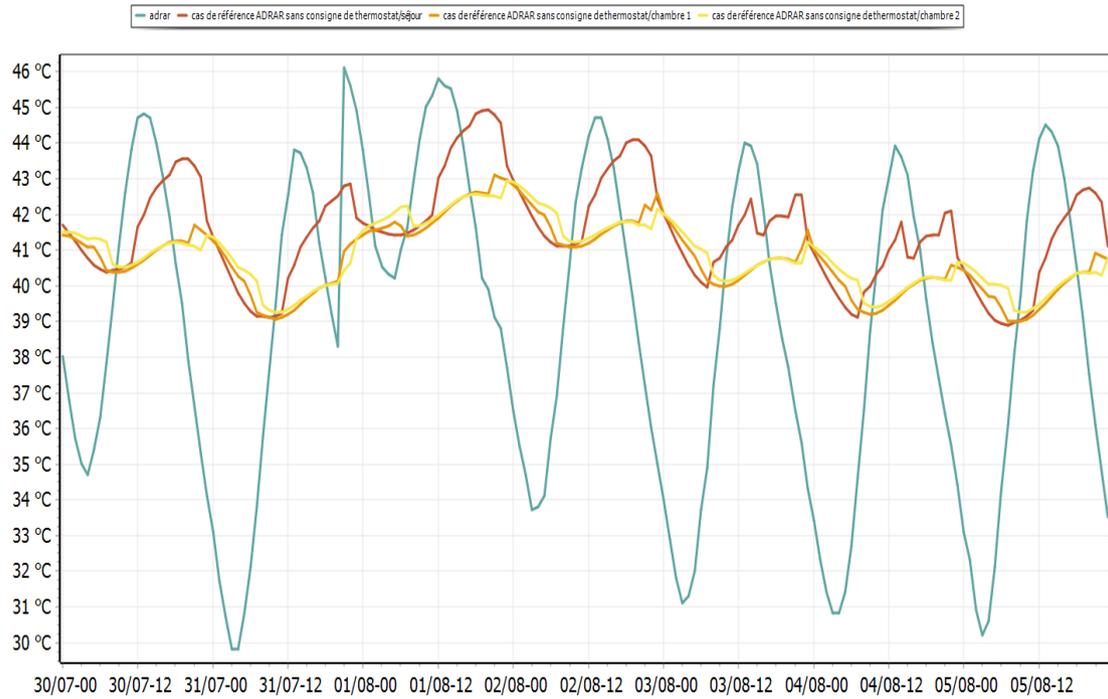


Figure 67: Evolution des températures internes en été pendant la semaine la plus chaude dans la région d'Adrar

### Simulation estivale Alger :

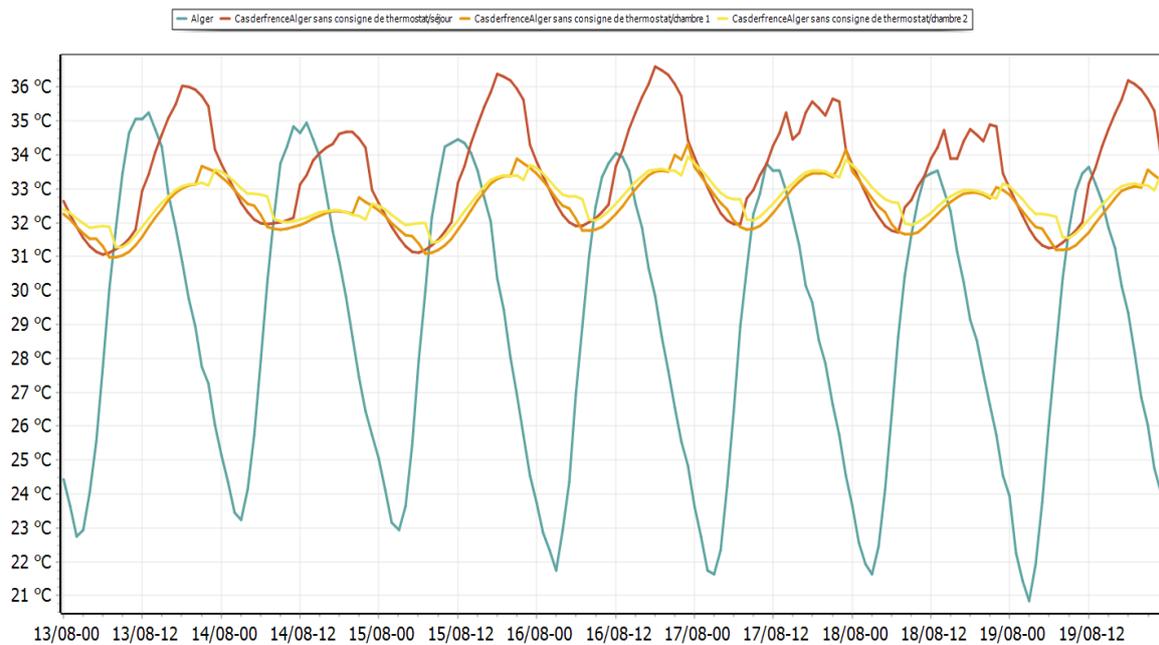


Figure 68: Evolution des températures internes en été pendant la semaine la plus chaude dans la région d'Alger

**Tableau 25:** variation de température dans la semaine la plus chaude dans les zones étudiées

	Adrar (C)	Alger (A)
Séjour	39°C ~ 45 °C	31°C ~ 36.5 °C
Chambre 01	39°C ~ 43 °C	31°C ~ 34 °C
Chambre 02	39.2°C ~ 42.9 °C	31.5°C ~ 34 °C
Extérieur	30 °C ~ 46 °C	21 °C ~ 35 °C

Selon les résultats des simulations estivales nous avons remarqué que les températures intérieures sont légèrement inférieures à celle de l'extérieures dans la région d'Adrar et supérieur à celles de l'extérieur dans la région d'Alger et suivent les fluctuations des températures extérieures, et ont pu atteindre au séjour jusqu'à 45 degrés a adrar et 36.5 à Alger, ceci est dû également aux puissances dissipées dans la zone en question.

Donc, nous avons remarqué que le comportement thermique du bâtiment étudié pour les différents sites en période estivale n'est pas convenable aux normes de confort malgré l'intégration de la ventilation nocturne, dû à la mal isolation, surtout pour la région d'Adrar où la température peut atteindre environ 46°C.

#### ***V.2.1.2 Simulation avec consigne de thermostat :***

La simulation avec consigne de thermostat permet de simuler avec le chauffage en hiver et la climatisation en été. En intégrant les scénarios de consigne de thermostat, on peut quantifier précisément les besoins énergétiques de chauffage et de climatisation.

**Tableau 26:** Les besoins de chauffage et de climatisation dans les villes étudiées pour le cas de référence

Zones	Surface m <sup>2</sup>	Besoins Ch. kWh	Besoins Ch. kWh/m <sup>2</sup>	Besoins Clim. kWh	Besoins Clim. kWh/m <sup>2</sup>
<b>ADRAR</b>	71,8	3153	68.2	9465.5	204.7
<b>ALGER</b>	71.8	5412.5	117.1	2255.5	48.8

Avec une demande énergétique annuelle de 68,2 kWh/m<sup>2</sup> pour le chauffage à Adrar et de 117,1 kWh/m<sup>2</sup> à Alger, ainsi qu'une consommation de climatisation de 204,7 kWh/m<sup>2</sup> et 48,8 kWh/m<sup>2</sup> respectivement, on remarque que la consommation de chauffage est élevée pour la région d'Alger, tandis que celle de la climatisation est particulièrement élevée pour la région d'Adrar. Cette différence est attribuable aux caractéristiques climatiques spécifiques de ces zones et la mal isolation des éléments constructifs. Donc une bonne isolation écologique est nécessaire pour réduire la consommation d'énergie dans toutes les régions.

## V.2.2 Variante 02 : Cas amélioré

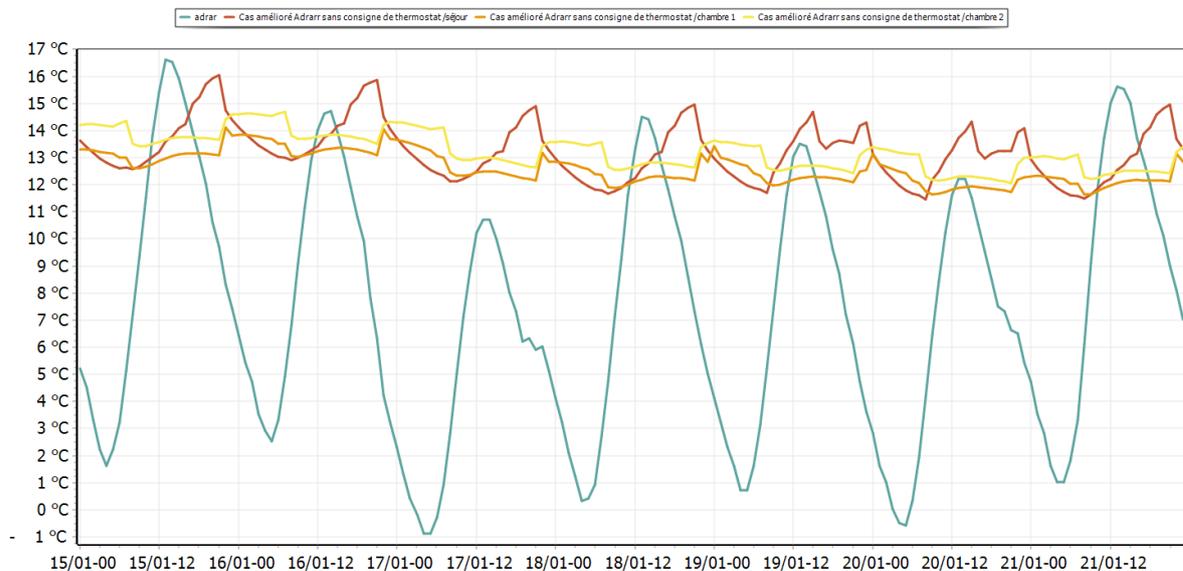
Pour cette variante, nous avons proposé des améliorations en renforçant l'enveloppe du bâtiment par l'intégration de divers isolants biosourcés élaborés antérieurement, avec une épaisseur de 6 cm pour la toiture et de 4 cm pour les murs extérieurs par rapport aux études antérieurs.

- 1- Renforcement avec l'isolant C1G1 (groupe 01 de la configuration01)
- 2- Renforcement avec l'isolant C1G2 (groupe 02 de la configuration01)
- 3- Renforcement avec l'isolant C1G3 (groupe 03 de la configuration01)
- 4- Renforcement avec l'isolant de la configuration 3 (Paille-amidon)
- 5- Renforcement avec l'isolant de la configuration 4 (Panneau sandwich)

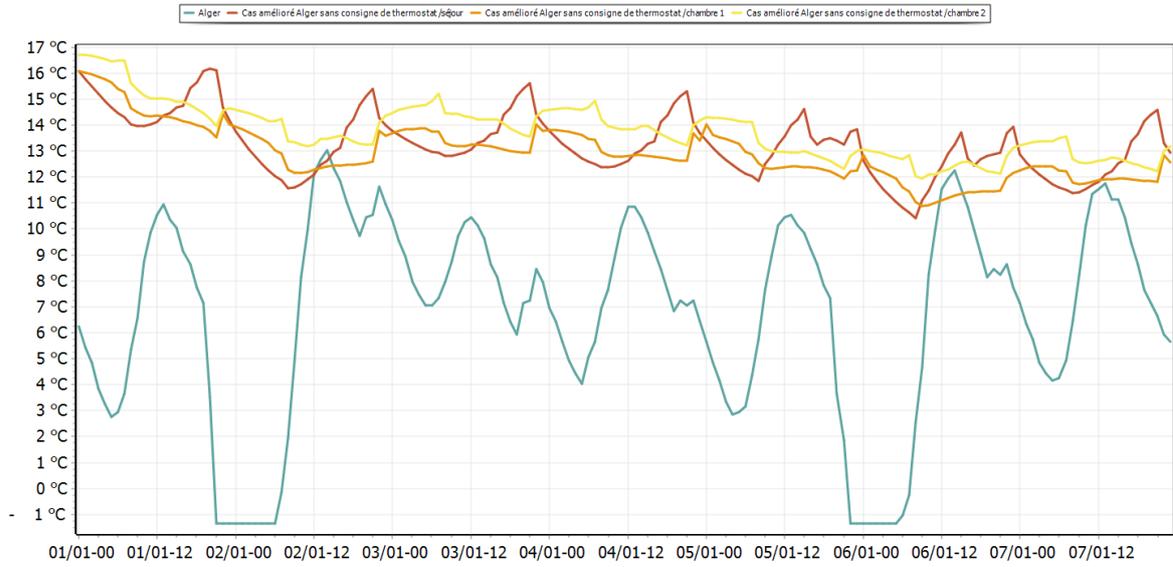
### V.2.2.1 Simulation sans consigne de thermostat :

Simulation hivernale :

#### Renforcement avec l'isolant C1G1 (groupe01 de la configuration01)

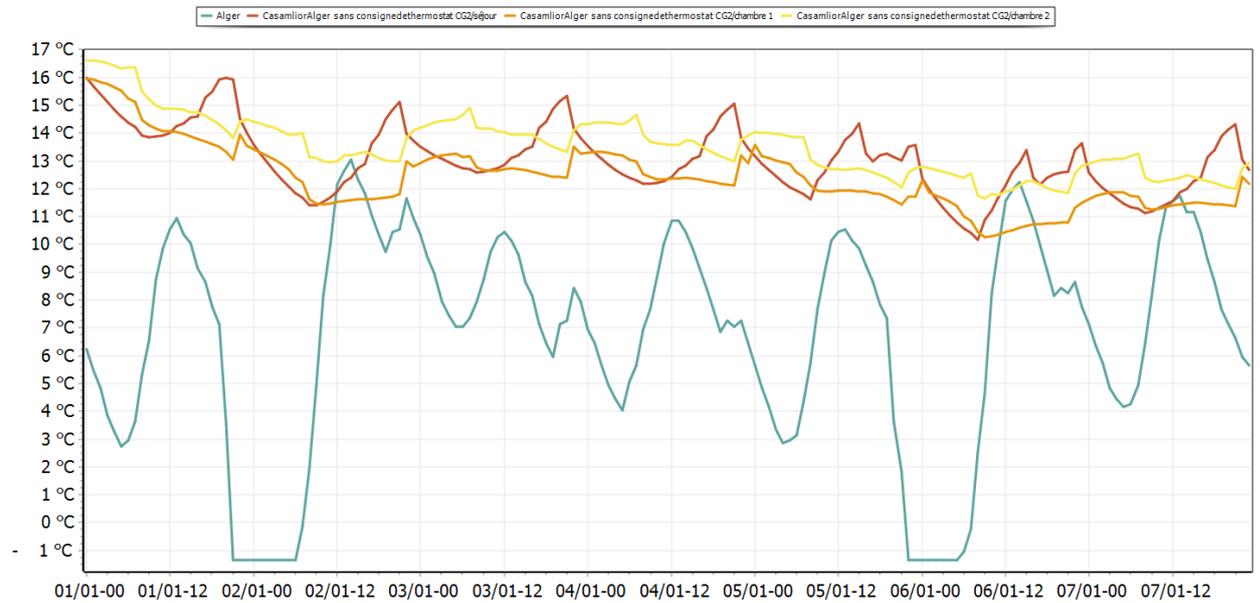


**Figure 69:** Evolution de température en hiver cas amélioré Par l'isolant C1G1 pendant la semaine la plus froide dans la région d'Adrar

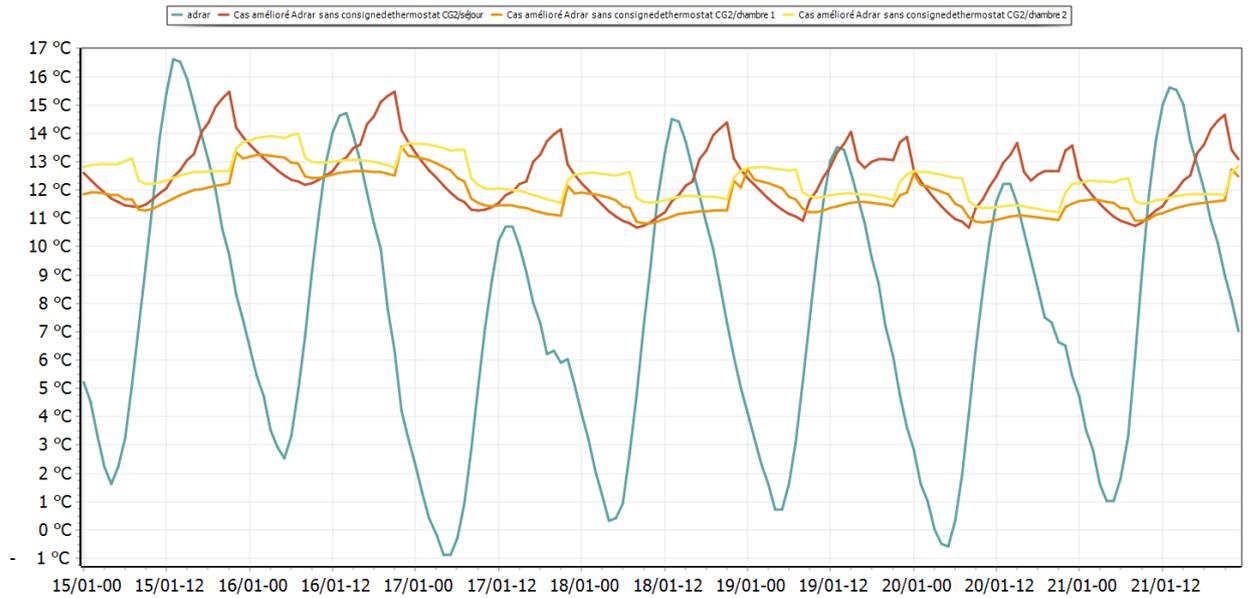


*Figure 70: Evolution de température en hiver cas amélioré Par l'isolant C1G1 pendant la semaine la plus froide dans la région d'Alger*

### Renforcement avec l'isolant C1G2 (groupe02 de la configuration01)

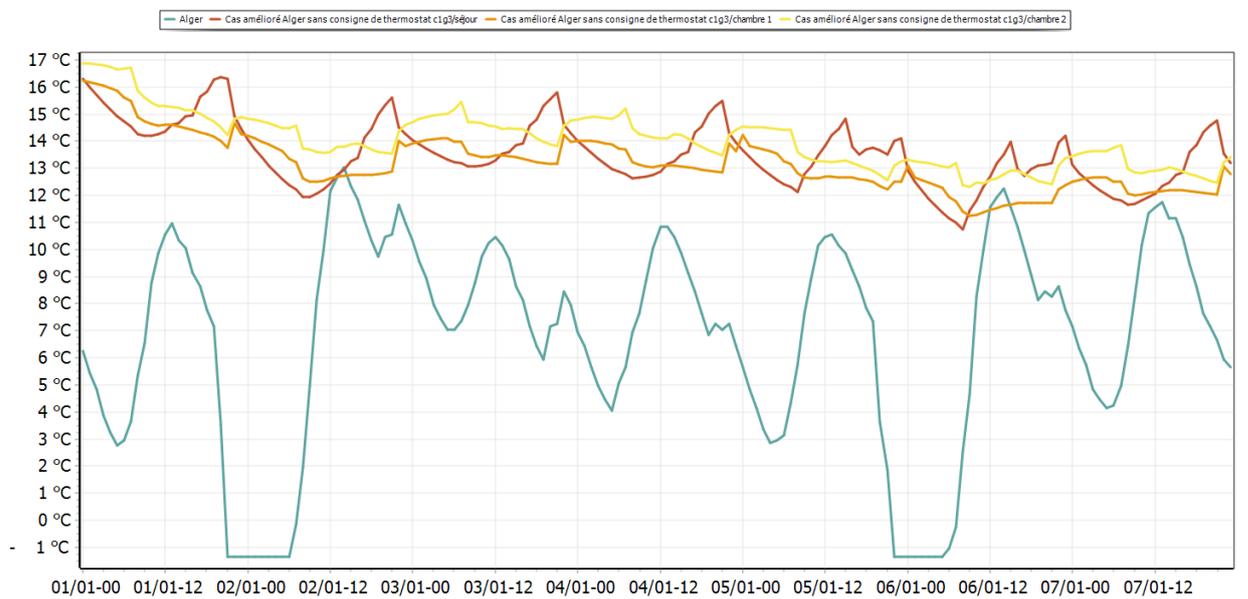


*Figure 71: Evolution de température en hiver cas amélioré Par l'isolant C1G2 pendant la semaine la plus froide dans la région d'Alger*

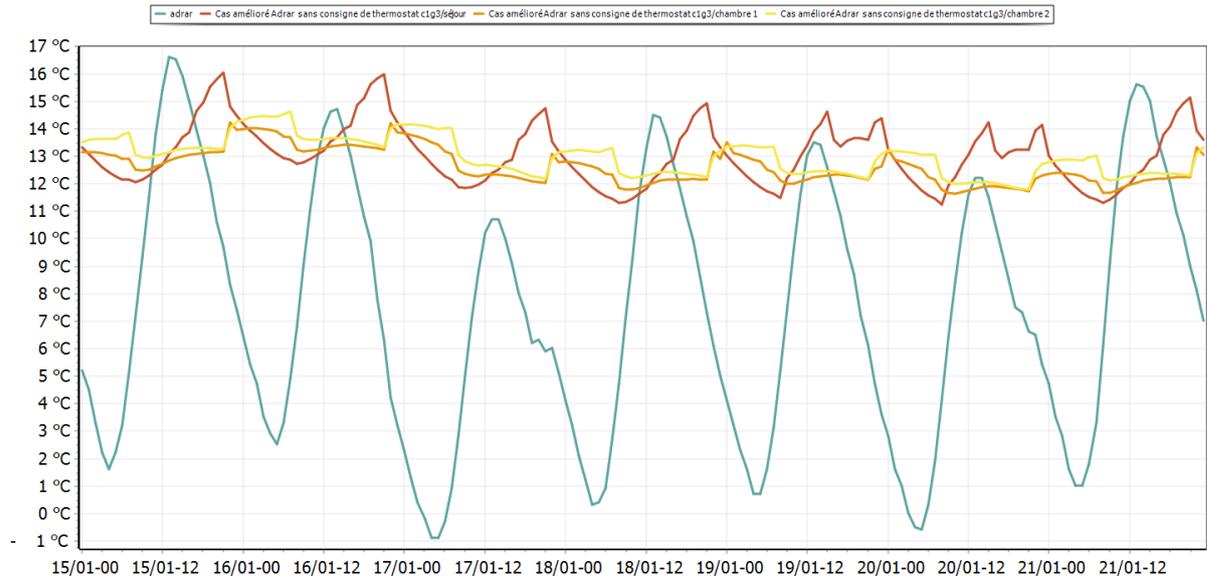


*Figure 72: Evolution de température en hiver cas amélioré Par l'isolant CIG2 pendant la semaine la plus froide dans la région d'Adrar*

### Renforcement avec l'isolant CIG3 (groupe03 de la configuration01)

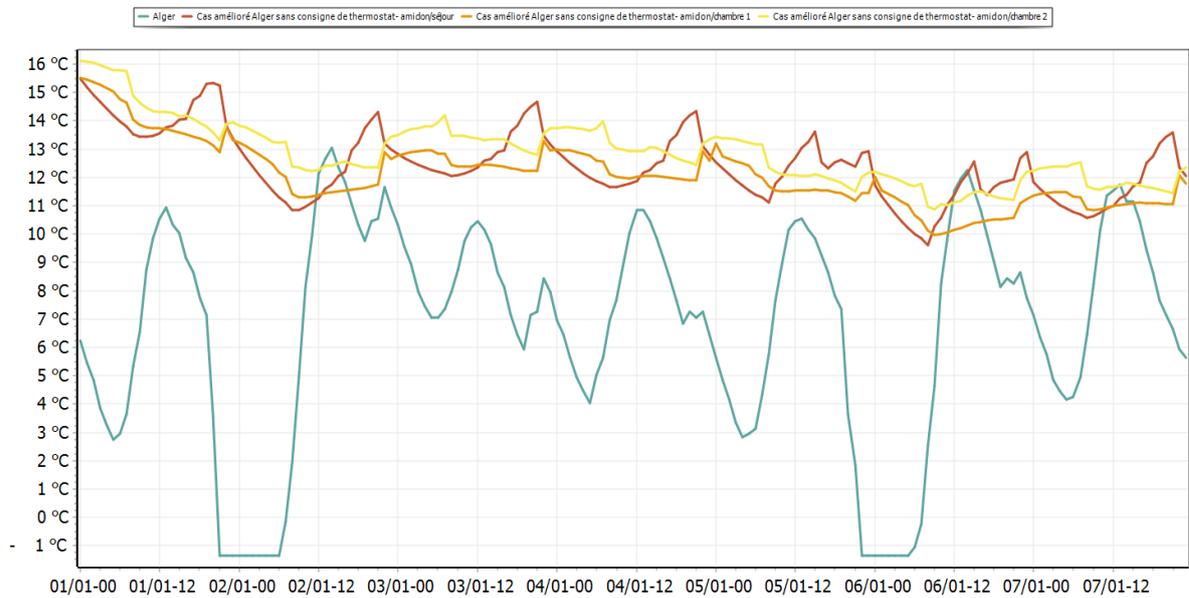


*Figure 73: Evolution de température en hiver cas amélioré Par l'isolant CIG3 pendant la semaine la plus froide dans la région d'Alger*

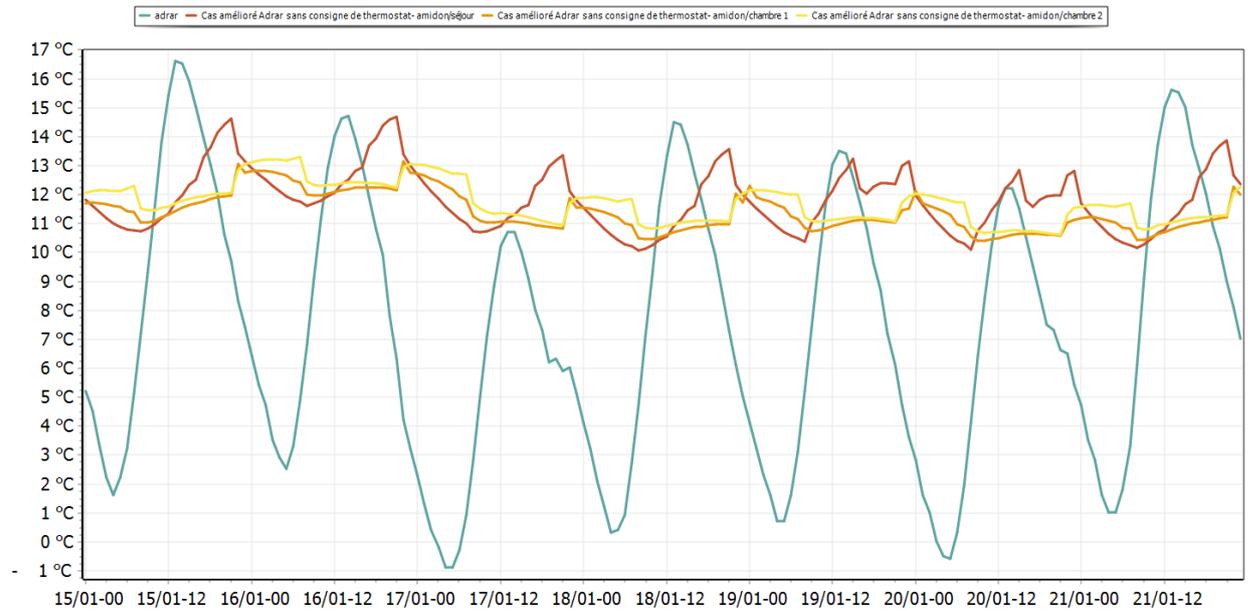


*Figure 74: Evolution de température en hiver cas amélioré Par l'isolant CIG3 pendant la semaine la plus froide dans la région d'Adrar*

### Renforcement avec l'isolant de la configuration 03 (Paille-Amidon)

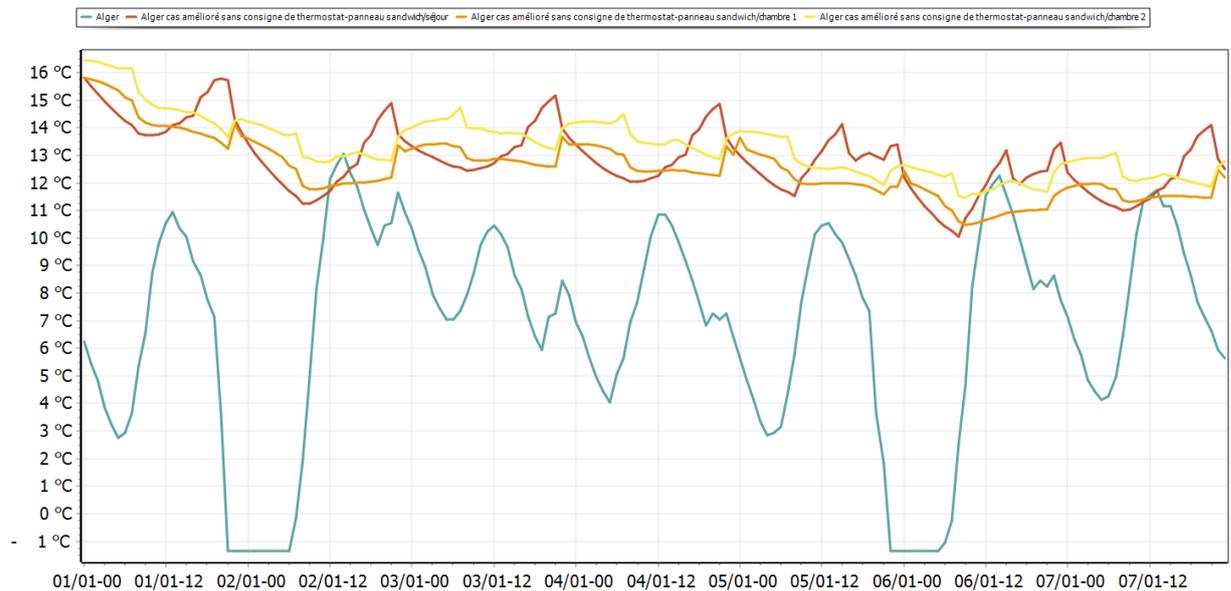


*Figure 75: Evolution de température en hiver cas amélioré Par l'isolant (paille-Amidon) pendant la semaine la plus froide dans la région d'Alger*

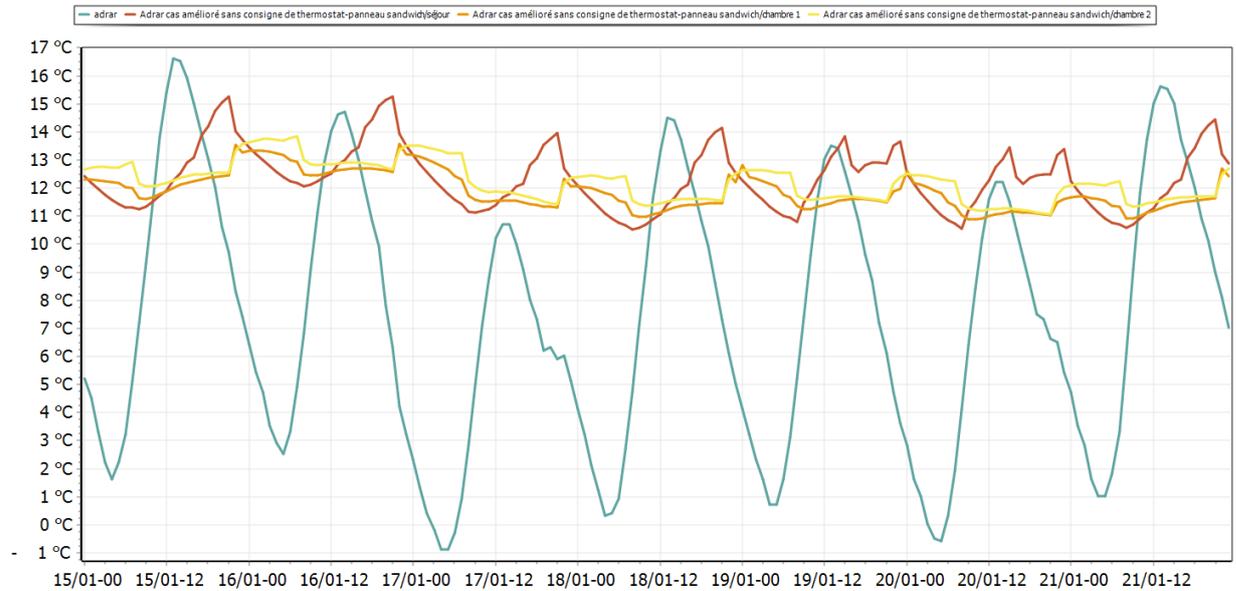


*Figure 76: Evolution de température en hiver cas amélioré Par l'isolant (Paille-Amidon) pendant la semaine la plus froide dans la région d'Adrar*

### Renforcement avec l'isolant de la configuration 04 (Panneau sandwich)



*Figure 77: Evolution de température en hiver cas amélioré par le panneau sandwich pendant la semaine la plus froide dans la région d'Alger*



*Figure 78: Evolution de température en hiver cas amélioré par le panneau sandwich pendant la semaine la plus froide dans la région d'Adrar*

### Isolant C1G1 :

*Tableau 27: l'écart de température du cas amélioré avec l'isolant C1G1 par rapport au cas de référence dans les régions étudiées*

	Cas de référence ADRAR	Cas amélioré ADRAR	Cas de référence ALGER	Cas amélioré ALGER
Séjour	8.4°C ~ 13.5 °C	11.5°C ~ 16 °C	7.9 °C ~ 14.2 °C	10.5°C ~ 16.2°C
Chambre 01	8.6°C ~ 12 °C	11.5°C ~ 14°C	8 °C ~ 14.5 °C	11°C ~ 16 °C
Chambre 02	9 °C ~ 12.1 °C	12°C ~ 14.8 °C	8.6°C ~ 15.2 °C	12°C ~ 16.8 °C
Extérieur	-1 °C ~ 16.8 °C	-1 °C ~ 16.8 °C	-1 °C ~ 13 °C	-1 °C ~ 13 °C

L'écart de température obtenu avec l'intégration de l'isolant C1G1 par rapport au cas de référence varie entre 1,5°C et 3°C pour les régions étudiées. Cet écart est attribuable exclusivement à l'isolant intégré.

### Isolant C1G2 :

*Tableau 28: l'écart de température du cas amélioré avec l'isolant C1G2 par rapport au cas de référence dans les régions étudiées*

	Cas de référence ADRAR	Cas amélioré ADRAR	Cas de référence ALGER	Cas amélioré ALGER
Séjour	8.4°C ~ 13.5 °C	10.8°C ~ 15.5 °C	7.9 °C ~ 14.2 °C	10.1°C ~ 16°C
Chambre 01	8.6°C ~ 12 °C	10.8°C ~ 13.5°C	8 °C ~ 14.5 °C	10.1°C ~ 16 °C
Chambre 02	9 °C ~ 12.1 °C	11.8°C ~ 14 °C	8.6°C ~ 15.2 °C	11.8°C ~ 16.6 °C
Extérieur	-1 °C ~ 16.8 °C	-1 °C ~ 16.8 °C	-1 °C ~ 13 °C	-1 °C ~ 13 °C

L'écart de température obtenu avec l'intégration de l'isolant C1G2 par rapport au cas de référence varie entre 1,3°C et 2.8°C pour les régions étudiées. Nous remarquons une légère réduction de l'écart de température du aux caractéristiques thermiques de l'isolant qui représente une conductivité thermique de 0.067 W/(m.K) contre 0.058 W/(m.K) de l'isolant C1G1.

### Isolant C1G3 :

*Tableau 29: l'écart de température du cas amélioré avec l'isolant C1G1 par rapport au cas de référence dans les régions étudiées*

	Cas de référence ADRAR	Cas amélioré ADRAR	Cas de référence ALGER	Cas amélioré ALGER
Séjour	8.4°C ~ 13.5 °C	11.3°C ~ 16 °C	7.9 °C ~ 14.2 °C	10.9°C ~ 16°C
Chambre 01	8.6°C ~ 12 °C	11.8°C ~ 14.1°C	8 °C ~ 14.5 °C	11.2°C ~ 16 °C
Chambre 02	9 °C ~ 12.1 °C	11.9°C ~ 14.6 °C	8.6°C ~ 15.2 °C	12.2°C ~ 17 °C
Extérieur	-1 °C ~ 16.8 °C	-1 °C ~ 16.8 °C	-1 °C ~ 13 °C	-1 °C ~ 13 °C

L'écart de température obtenu avec l'intégration de l'isolant C1G3 par rapport au cas de référence varie entre 1,5°C et 3.6°C pour les régions étudiées. Et représente un meilleur résultat par rapport aux autres isolants dû à sa conductivité thermique relativement faible (0.049 W/(m.K)). (Voir tableau ci-dessus)

### Isolant Paille-Amidon

	Cas de référence ADRAR	Cas amélioré ADRAR	Cas de référence ALGER	Cas amélioré ALGER
Séjour	8.4°C ~ 13.5 °C	10°C ~ 14.8 °C	7.9 °C ~ 14.2 °C	9.8°C ~ 15.5°C
Chambre 01	8.6°C ~ 12 °C	10.5°C ~ 13°C	8 °C ~ 14.5 °C	10°C ~ 15.5 °C
Chambre 02	9 °C ~ 12.1 °C	11.8°C ~ 13.1 °C	8.6°C ~ 15.2 °C	9°C ~ 16 °C
Extérieur	-1 °C ~ 16.8 °C	-1 °C ~ 16.8 °C	-1 °C ~ 13 °C	-1 °C ~ 13 °C

L'écart enregistré pour cet isolant varie entre 0.4°C et 1.3°C dû à sa conductivité plus ou moins élevée par rapport aux autres isolants.

### Panneau sandwich

	Cas de référence ADRAR	Cas amélioré ADRAR	Cas de référence ALGER	Cas amélioré ALGER
Séjour	8.4°C ~ 13.5 °C	10.5°C ~ 15.1 °C	7.9 °C ~ 14.2 °C	10°C ~ 15.8°C
Chambre 01	8.6°C ~ 12 °C	10.9°C ~ 13.5°C	8 °C ~ 14.5 °C	10.5°C ~ 15.8°C
Chambre 02	9 °C ~ 12.1 °C	11.2°C ~ 13.9 °C	8.6°C ~ 15.2 °C	11.5°C ~ 16.5 °C
Extérieur	-1 °C ~ 16.8 °C	-1 °C ~ 16.8 °C	-1 °C ~ 13 °C	-1 °C ~ 13 °C

L'isolation au panneau sandwich a engendré un écart de température de 1.3°C à 2.9 °C par rapport au cas initial.

Nous avons constaté que les matériaux élaborés intégrées ont eu un impact positif sur le comportement thermique du cas étudié pendant la période hivernale, malgré le fait que les températures extérieures puissent baisser jusqu'à -1°C résultant un  $\Delta T$  qui varie entre 0.4 et 3.6 °C (cela dépend de la conductivité thermique du matériau utilisé) par rapport au cas de référence.

Simulation estivale :

Renforcement avec l'isolant CIG1 (groupe 01 de la configuration01)

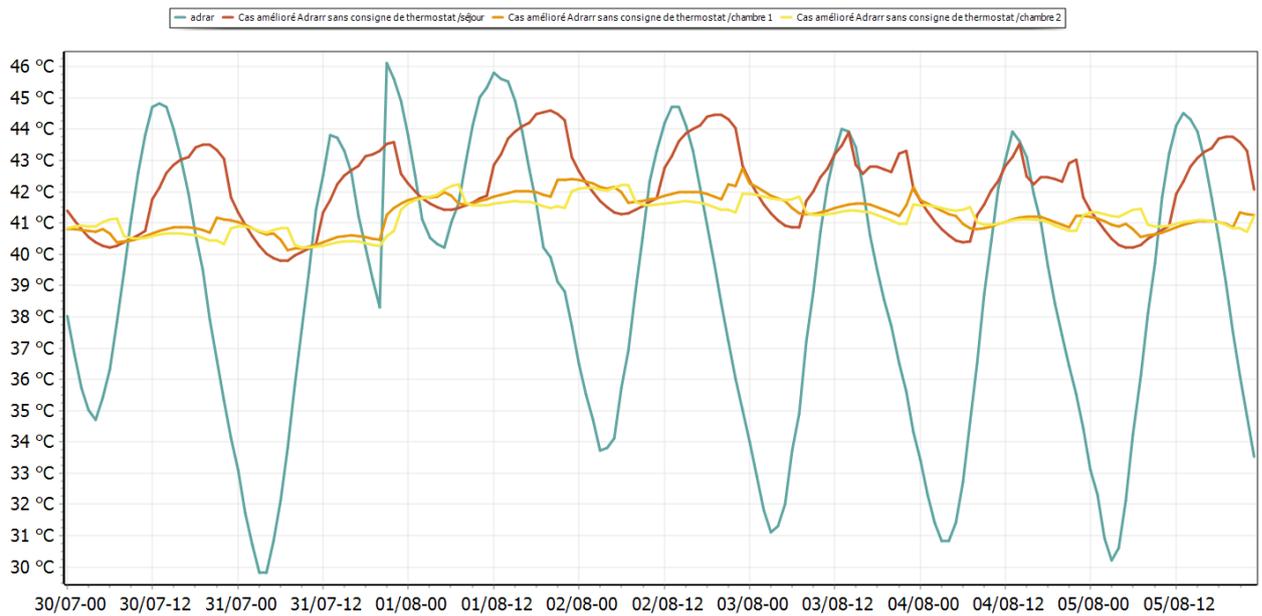


Figure 79: Evolution de température en été cas amélioré Par l'isolant CIG1 pendant la semaine la plus chaude dans la région d'Adrar

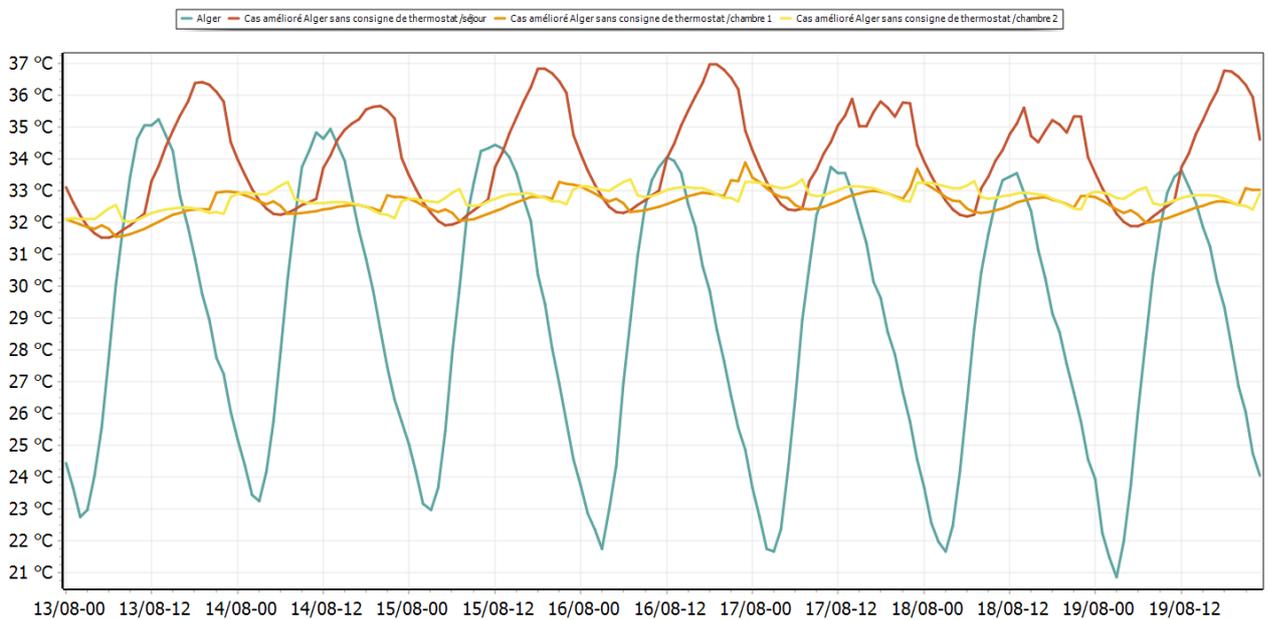
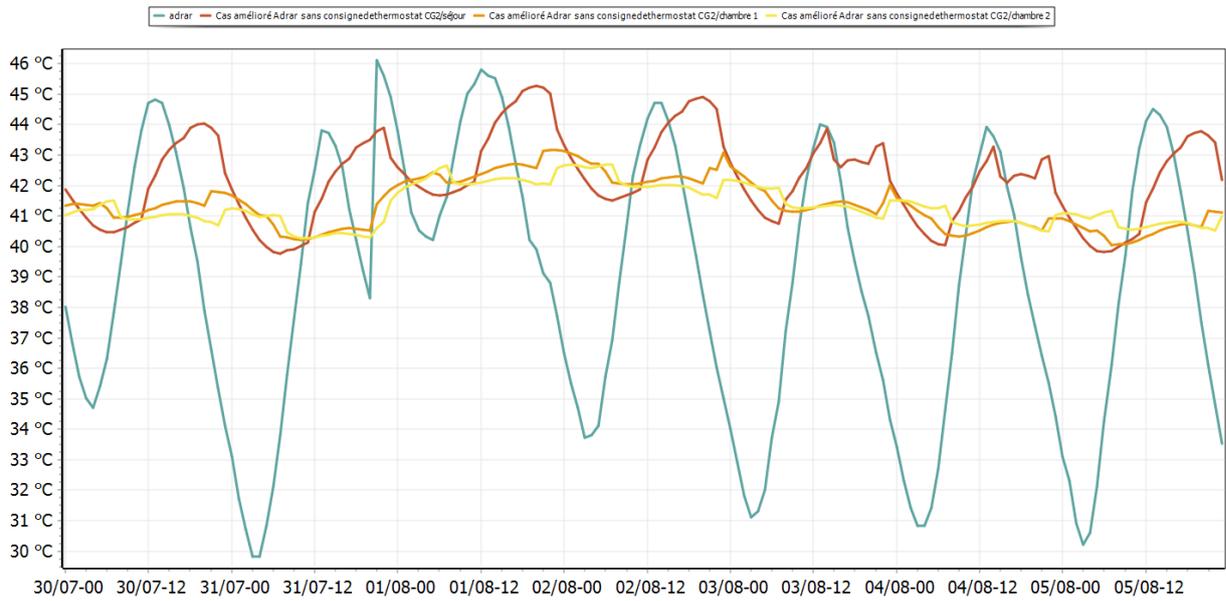
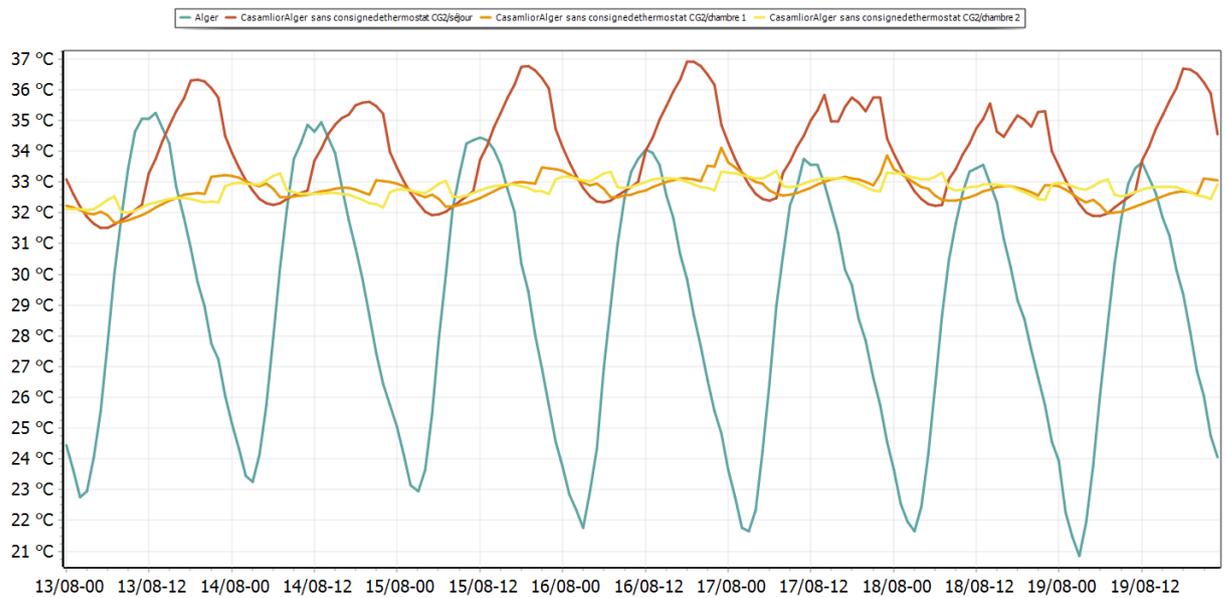


Figure 80: Evolution de température en été cas amélioré Par l'isolant CIG1 pendant la semaine la plus chaude dans la région d'Alger

## Renforcement avec l'isolant C1G2 (groupe 02 de la configuration01)

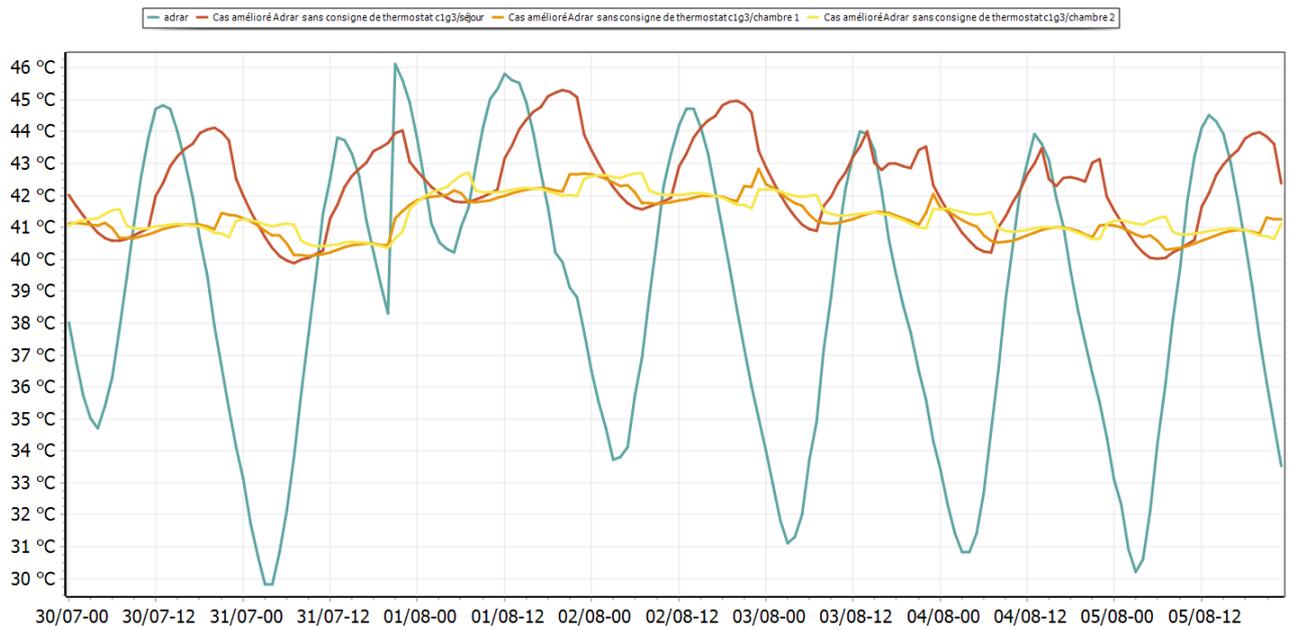


*Figure 81: Evolution de température en été cas amélioré Par l'isolant C1G2 pendant la semaine la plus chaude dans la région d'Adrar*

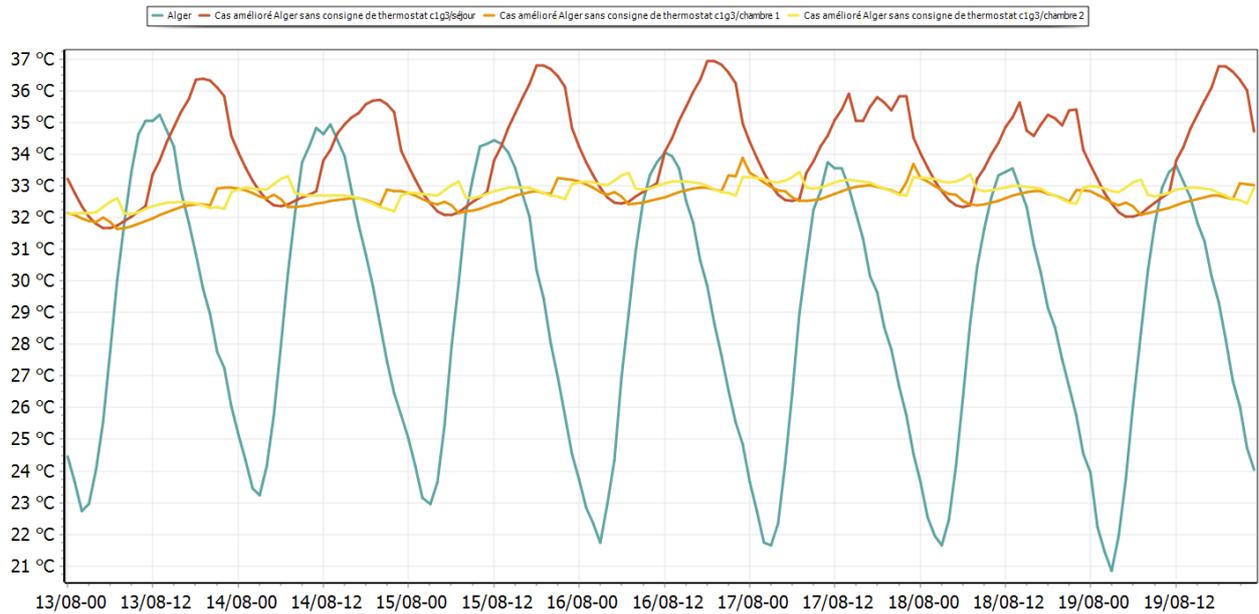


*Figure 82: Evolution de température en été cas amélioré Par l'isolant C1G2 pendant la semaine la plus chaude dans la région d'Alger*

## Renforcement avec l'isolant C1G3 (groupe03 de la configuration01) :



*Figure 83: Evolution de température en été cas amélioré Par l'isolant C1G3 pendant la semaine la plus chaude dans la région d'Adrar*



*Figure 84: Evolution de température en été cas amélioré Par l'isolant C1G3 pendant la semaine la plus chaude dans la région d'Alger*

## Renforcement avec l'isolant de la configuration 03 (Paille-Amidon) :

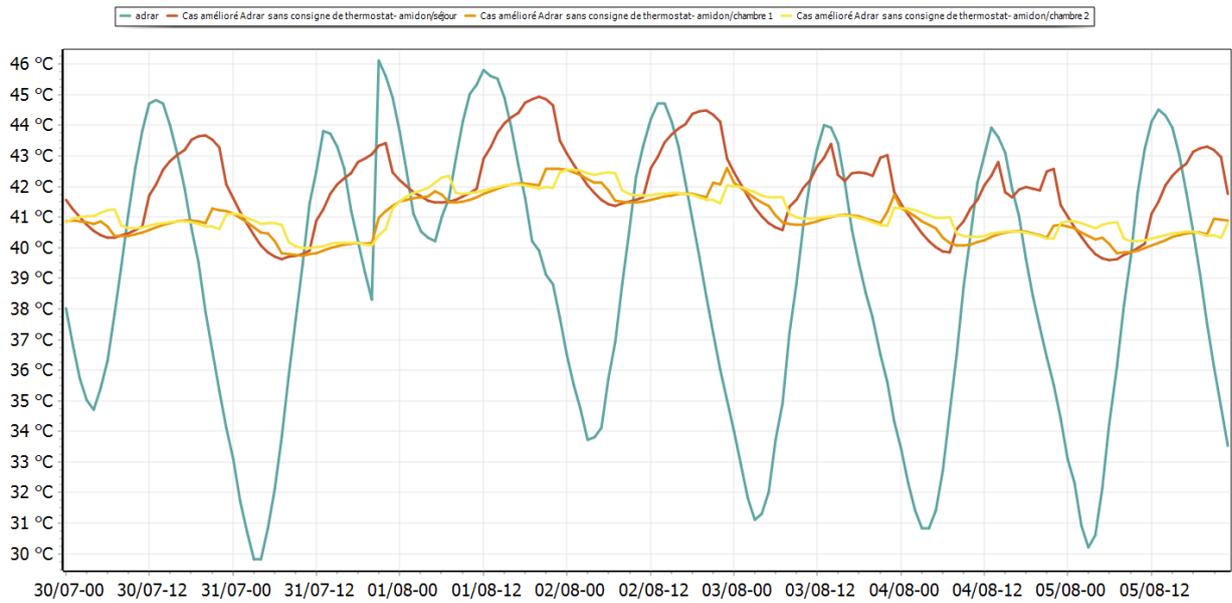


Figure 85: Evolution de température en été cas amélioré Par l'isolant Paille-Amidon pendant la semaine la plus chaude dans la région d'Adrar

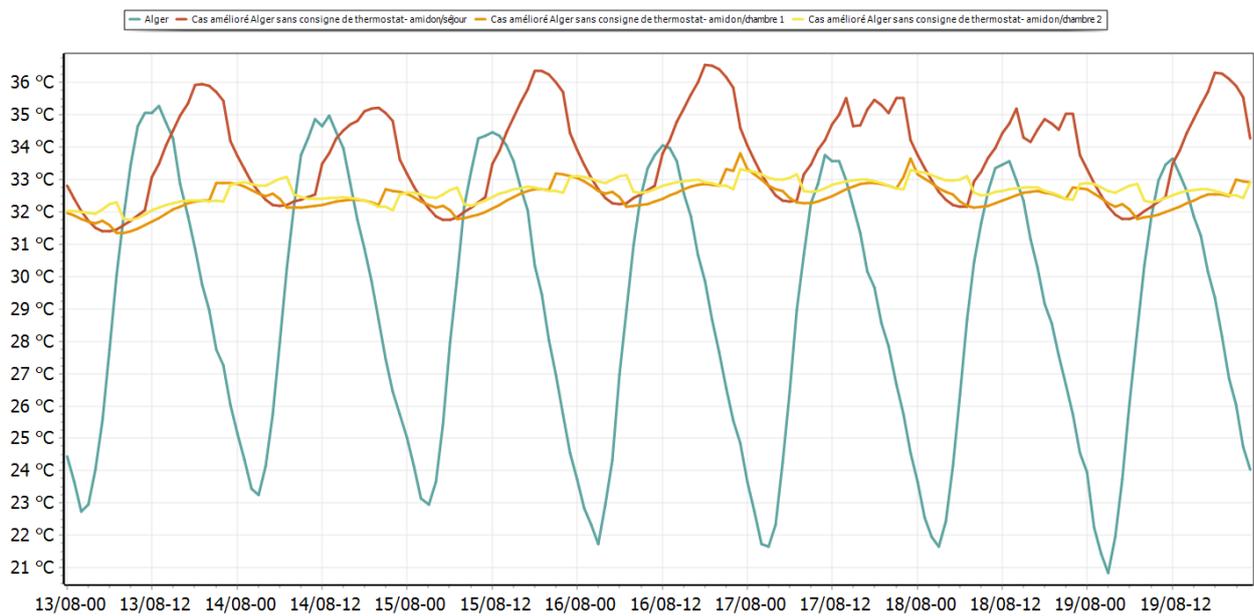
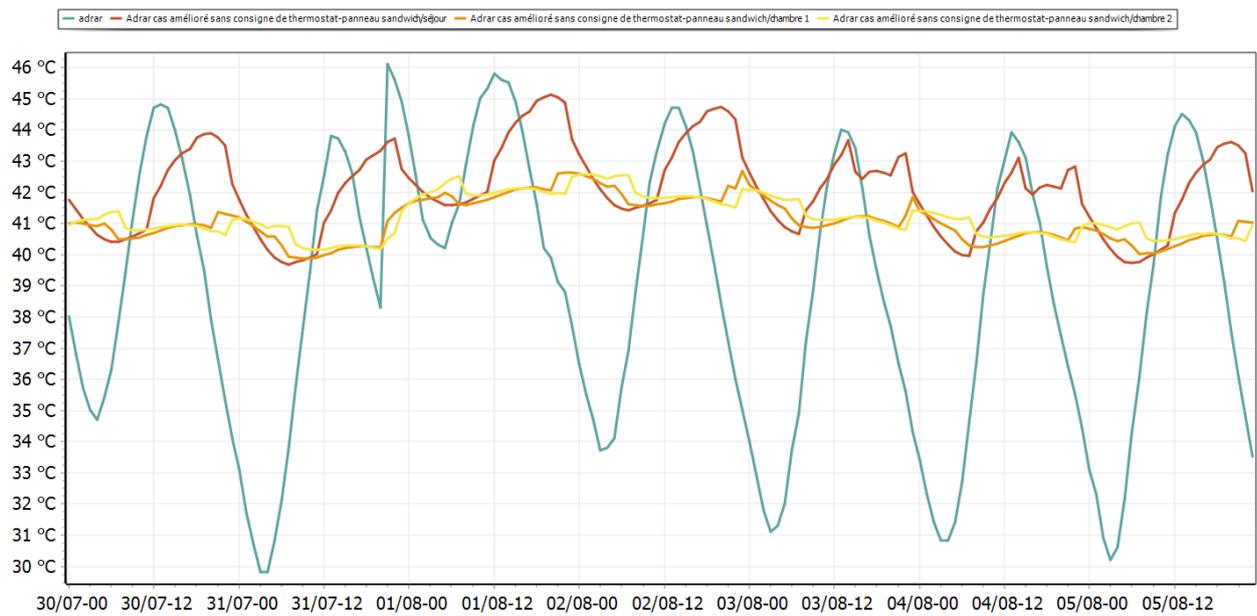
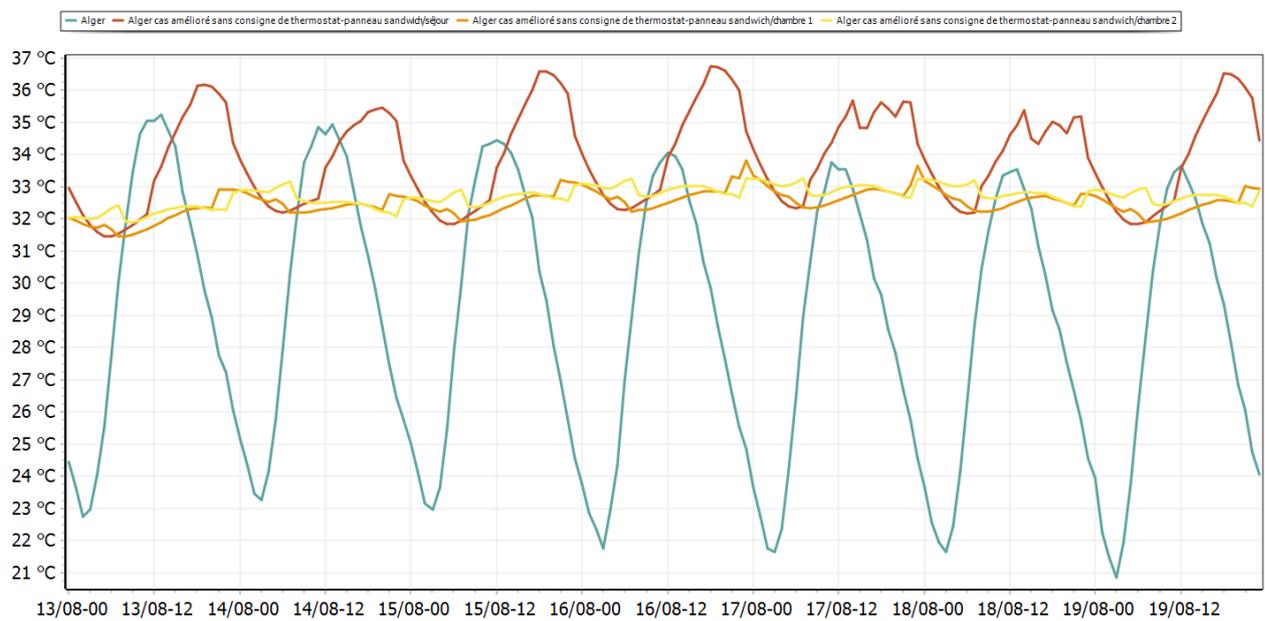


Figure 86: Evolution de température en été cas amélioré Par l'isolant Paille-Amidon pendant la semaine la plus chaude dans la région d'Alger

## Renforcement avec l'isolant de la configuration 04 (Panneau sandwich)



**Figure 87:** Evolution de température en été cas amélioré Par le panneau sandwich pendant la semaine la plus chaude dans la région d'Adrar



**Figure 88:** Evolution de température en été cas amélioré Par le panneau sandwich pendant la semaine la plus chaude dans la région d'Alger

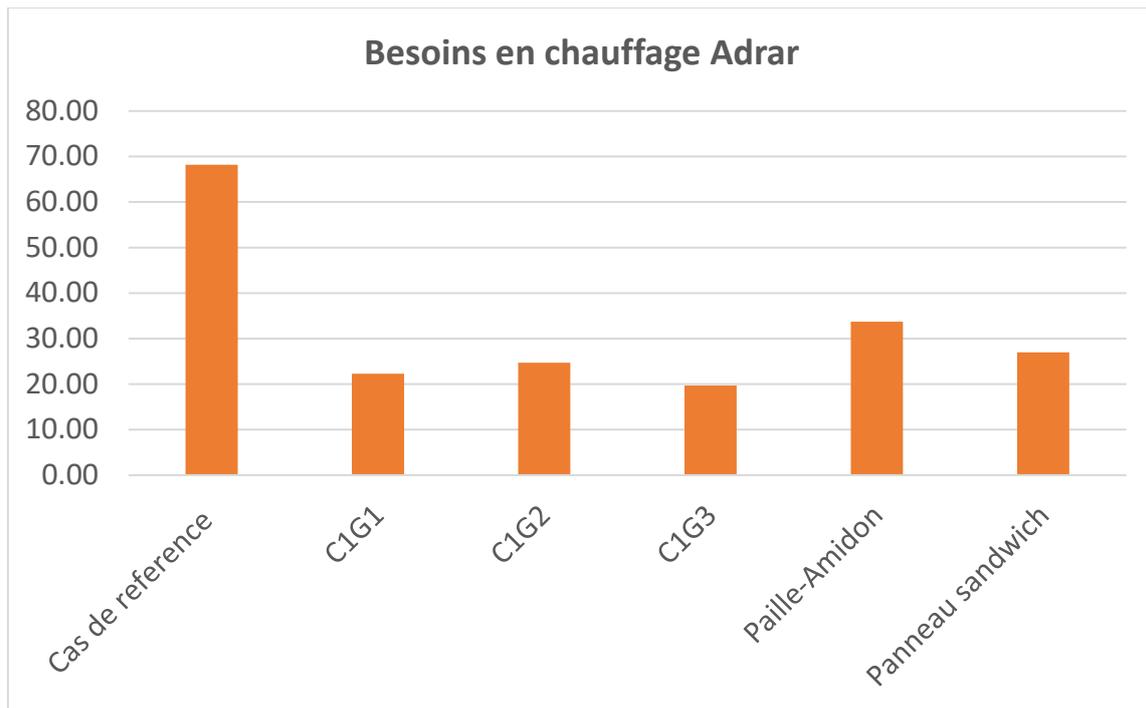
Les températures extérieures présentent une variation significative au cours de la journée, avec des pics de températures qui peuvent atteindre 36°C et baisser jusqu'à environ 22°C pour Alger, tandis qu'à Adrar, les températures varient de 31°C à 46°C.

L'isolation utilisant divers matériaux élaborés a permis de maintenir les températures intérieures des pièces en dessous des températures extérieures, tout en garantissant une stabilité des profils de température dans les deux chambres. Une légère fluctuation a été observée dans le séjour, particulièrement à Alger, où la courbe des températures du séjour se situe légèrement au-dessus de celle des températures extérieures, et c'est dû à la puissance dissipée des appareils utilisés ainsi que les apports internes émis par les occupants, nécessitant une augmentation du débit de ventilation.

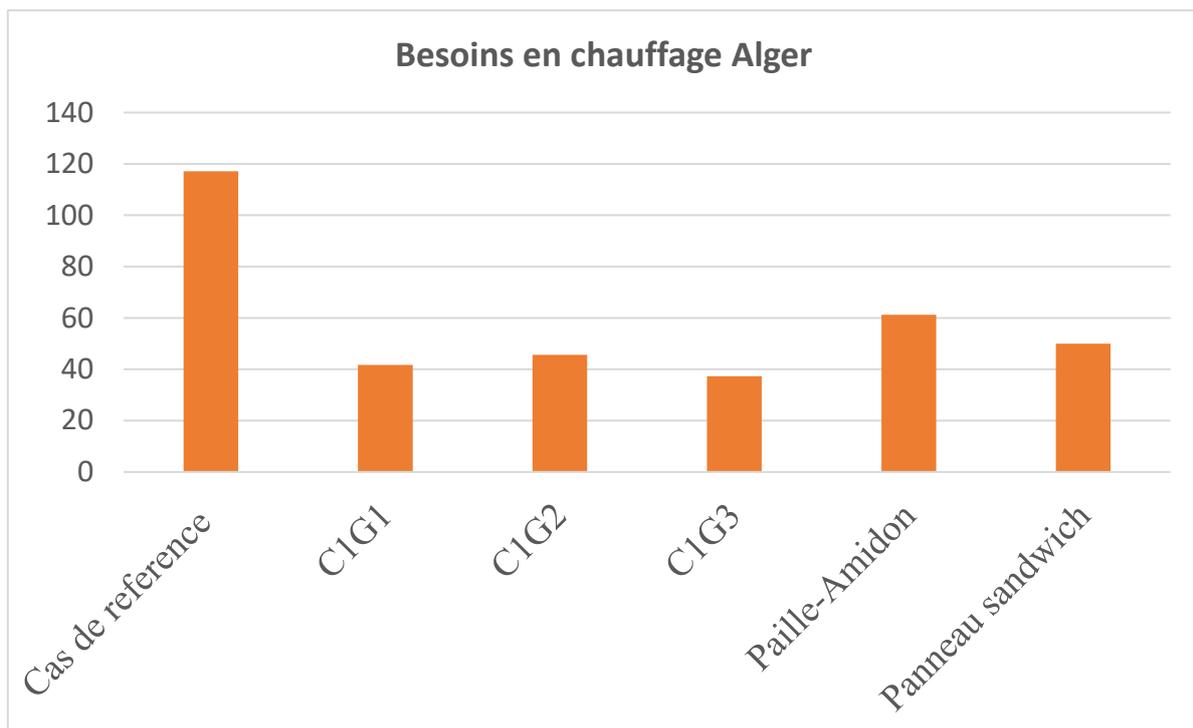
### V.2.2.2 Simulation avec consigne de thermostat :

**Tableau 30:** Les besoins de chauffage et de climatisation des cas de référence et cas amélioré dans les régions étudiés

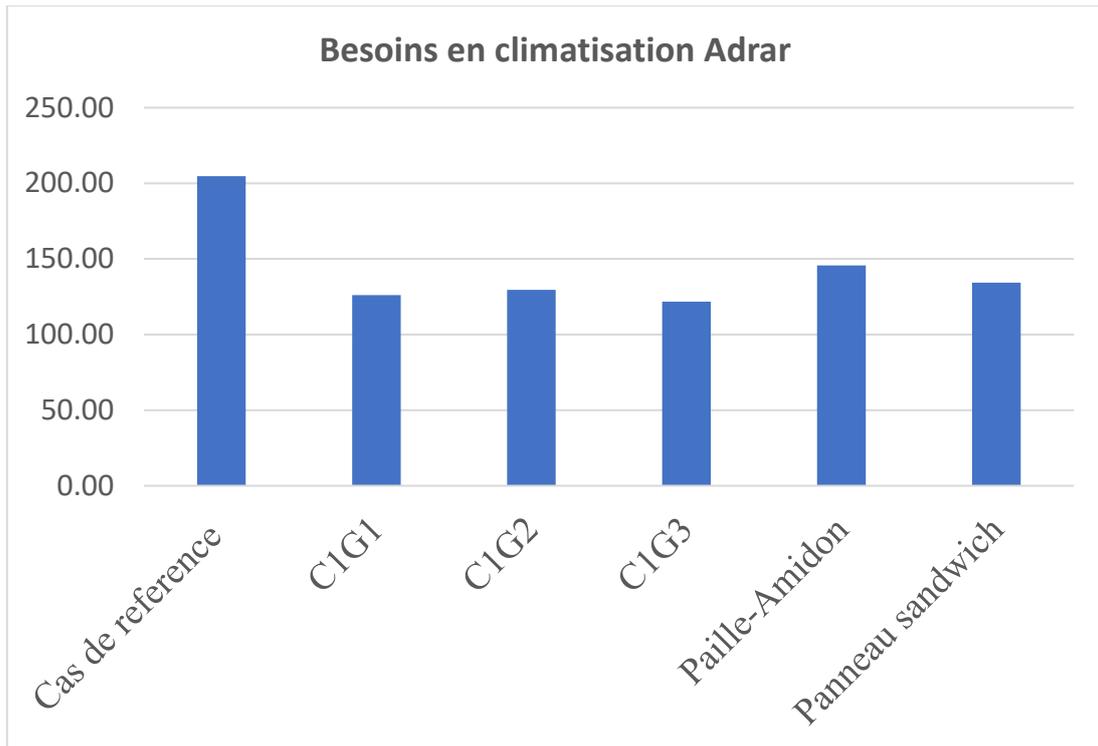
SURFACE m <sup>2</sup>	ISOLANT	Besoins Ch. ADRAR kWh/m <sup>2</sup>	Besoins Ch. ALGER kWh/m <sup>2</sup>	Besoins Clim. ADRAR kWh/m <sup>2</sup>	Besoins Clim. ALGER kWh/m <sup>2</sup>
71.8	Cas de référence	68.2	117.1	204.7	48.8
	C1G1	22.3	41.7	126.1	33.1
	C1G2	24.7	45.6	129.6	33.7
	C1G3	19.7	37.3	121.8	32.5
	Paille- Amidon	33.7	61.2	145.7	36
	Panneau sandwich	27	50	134.3	34.2



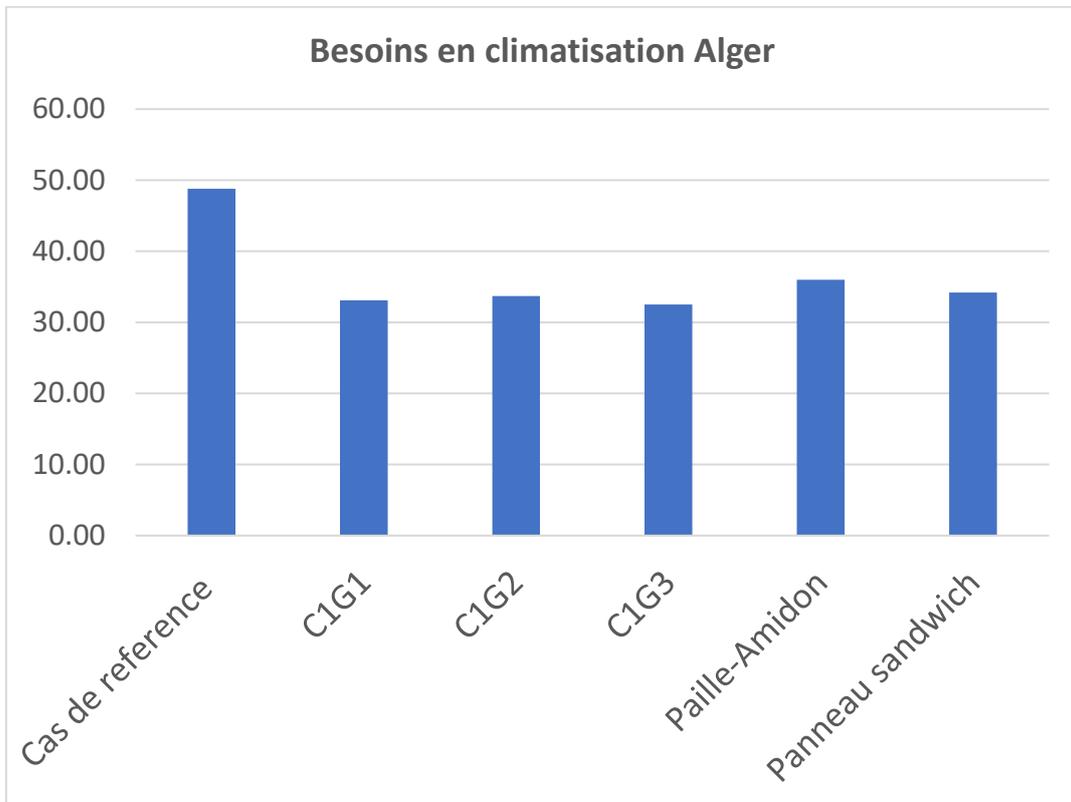
**Figure 89:** Comparaison des besoins de chauffage dans la région d'Adrar pour les différents isolants



**Figure 90:** Comparaison des besoins de chauffage dans la région d'Alger pour les différents isolants



**Figure 91:** Comparaison des besoins de climatisation dans la région d'Adrar pour les différents isolants



**Figure 92:** Comparaison des besoins de climatisation dans la région d'Alger pour les différents isolants

Le tableau 29 Présente les besoins énergétiques en chauffage et en climatisation, pour notre cas d'étude dans les deux régions choisies, en fonction de différents types d'isolants élaborés précédemment.

Les besoins énergétiques en chauffage sont globalement plus élevés à Alger qu'à Adrar cependant les besoins en climatisation sont nettement plus élevés à Adrar qu'à Alger, ce qui peut s'expliquer par les conditions climatiques des deux régions.

Tous les isolants utilisés réduisent significativement les besoins énergétiques en chauffage et en climatisation par rapport au cas de référence.

Les isolants C1G1, C1G2 et C1G3 montrent une meilleure performance par rapport aux autres matériaux.

Notamment l'isolant C1G3 qui s'avère le plus performant en termes de réduction des besoins énergétiques en chauffage pour Adrar (19,7 kWh/m<sup>2</sup>) et Alger (37,3 kWh/m<sup>2</sup>) et en climatisation pour Adrar (121,8 kWh/m<sup>2</sup>) une réduction de presque la moitié par rapport au cas initial, et Alger (32,5 kWh/m<sup>2</sup>).

En conclusion, l'utilisation d'isolants performants est essentielle pour réduire les besoins énergétiques en chauffage et en climatisation.

Cela souligne l'importance d'une bonne isolation pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments, particulièrement dans des environnements climatiques variés comme Adrar et Alger.

## VI. Conclusion générale

Le présent travail a abouti au développement de matériaux isolants biosourcés innovants à base de paille de blé et de matrices naturelles : La gomme arabique, et l'amidon. Ces matériaux ont démontré des caractéristiques thermiques et mécaniques optimales, ainsi qu'une empreinte écologique réduite, répondant ainsi aux exigences contemporaines de durabilité et de performance énergétique.

Pour évaluer leur performance thermique et leur impact sur la réduction de la consommation énergétique, les matériaux isolants élaborés ont été intégrés dans un logement standard algérien. Les résultats obtenus à partir des simulations thermiques dynamiques ont révélé une diminution significative de la consommation énergétique liée au chauffage et à la climatisation, confirmant ainsi l'efficacité des matériaux isolants biosourcés. Ces résultats mettent en évidence la capacité de ces matériaux à maintenir des conditions de confort thermique intérieures stables, même sous des variations importantes de la température extérieure.

En particulier, le matériau C1G3 a montré les meilleures performances en termes de conductivité thermique, avec une valeur de  $0,049 \text{ W/m}^2\text{K}$ . De plus, il a permis de réduire les besoins en chauffage et en climatisation jusqu'à presque 50 % dans les régions étudiées, à savoir Alger et Adrar. Cette performance remarquable est due à la combinaison efficace de la paille de blé et de la gomme arabique, qui confère au matériau des propriétés isolantes supérieures tout en étant écologiquement durable.

Les implications de ces résultats sont significatives. D'une part, ils démontrent que l'intégration de matériaux biosourcés dans la construction peut jouer un rôle crucial dans la réduction de la consommation énergétique des bâtiments, contribuant ainsi à des économies substantielles sur les coûts énergétiques. D'autre part, l'utilisation de matériaux à faible impact environnemental aide à réduire l'empreinte carbone globale de la construction, alignant ainsi les pratiques de construction avec les objectifs de développement durable.

En conclusion, la thématique de notre recherche a été validée, démontrant le potentiel des matériaux biosourcés pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments tout en réduisant leur impact environnemental. Cette avancée constitue une contribution significative dans le domaine de l'isolation thermique durable et ouvre des perspectives prometteuses pour l'application de matériaux biosourcés dans le secteur de la construction. Les résultats obtenus suggèrent que l'adoption de tels matériaux pourrait représenter une étape clé vers une construction plus durable et respectueuse de l'environnement.

En résumé, notre recherche montre que l'utilisation de matériaux isolants biosourcés n'est pas seulement une solution viable, mais aussi une solution nécessaire pour répondre aux défis actuels de l'efficacité énergétique, de lutte contre le changement climatique et de la durabilité environnementale dans le secteur de la construction. Ces matériaux offrent une alternative compétitive aux isolants conventionnels, tout en apportant des bénéfices environnementaux considérables, pour un avenir plus vert et plus durable

Listes de références :

[1] Bilan énergétique Algérien 2021

[2] "Programme de développement de l'efficacité énergétique à l'horizon 2030," APRUE, Ministère de l'Energie et des Mines, Algérie, 2015.

[3] Réglementation thermique du bâtiment « Document technique réglementaire DTR C3.2/4 » CNERIB , 2017 [4] APRUE. Consommation énergétique finale de l'Algérie, chiffres clés : année 2017. Edition 2019)

[5] Mise en application de la nouvelle réglementation thermique algérienne du bâtiment K. Imessad, R. Kharchi, S. Bouchaib, A. Chenak, S. Hakem A. Hamidat, S. Larbi-youcef, S. Sami et F. Sahnoune Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER B.P. 62, Route de l'Observatoire, 16340 Bouzaréah, Alger, Algérie (reçu le 15 Décembre 2017 - accepté le 25 Décembre 2017

[6] Mémoire de Master de CHAIMA SEDDIKI intitulé : Elaboration d'un nouveau matériau biocomposite à base de déchets de palmier dattier

[7] Chikhi Mourad- these de doctorat :metrologie et modelisation des transferts dans les composites naturels a faible cout pour l'isolation thermique dans les panneaux solaires université de Batna

[8] Ali Abakar. Caractéristiques mécaniques et thermiques de l'argile stabilisée par la gomme arabique et renforcée par la paille de riz. Mécanique des matériaux [physics.class-ph]. Université de Lorraine, 2018. Français. ffNNT : 2018LORR0066ff. fftel-01920664

[9] Lydie Marcelle Thiebleson. Élaboration et caractérisation de matériaux issus de ressources locales recyclées ou biosourcées. Matériaux. Université Rennes 1; Université Félix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 2018. Français. ffNNT : 2018REN1S133ff. fftel-02309637

[10] Brahim Mezhoud - Elaboration et caractérisation mécanique, hygrique et thermique de composites bio-sourcés

[11] Abakar Ali, Riad Benelmir, Jean-Louis Tanguier, Abdoulaye Saleh. Caractéristiques mécaniques de l'argile de Ndjama stabilisée par la gomme arabique. Afrique Science : revue internationale des sciences et technologies, 2017, 13 (5), pp.330 - 341. ffhal-01837086

[12] Étude des caractéristiques physico-mécaniques des tuiles en micro-béton fabriquées localement à base de la gomme arabique

Renonet Karka BOZABE1\*, Chakirou Akanho TOUKOUROU1, Gérard A. GBAGUIDI1 et Mahouton Norbert HOUNKONNOU2

[13] M.Majda , M.Halima « ÉLABORATION D'UN MATÉRIAU ISOLANT À BASE DE GRIGNON D'OLIVE ET DE PAPIER » université de blida 01 , Blida, Algérie 2019.

[14] B. Agoudjil, A. Benchabane, A. Boudenne, L. Ibos, and M. Fois, *Renewable materials to reduce building heatloss: Characterization of date palm wood*, *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 491-497, 2011

[15] le site officiel de IZUBA ENERGIES

[16] OUKACI SOUMIA « Application des anciens procédés dans l’habitat contemporain »  
Thèse de doctorat, Université de SAAD DAHLEB 01 de BLIDA, Algérie, 2023.

[17] Smahi et al Comparative bioclimatic approach for comfort and passive heating and cooling strategies in Algeria

[18] **Le programme Eco-Bat, un vecteur pour la transition écologique ? Cas des 80 logements HPE a Djelfa** Présenté par Zagaar Sohai