



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLEB –BLIDA1-
INSTITUT D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME
Département d'architecture

**Rapport de soutenance de master professionnel en efficacité énergétique dans les
bâtiments**

Nouvelle conception d'une façade vitrée destinée aux climats Algériens

Réalisé par :

AYACHE Nassima

Encadré par :

Pr HAMID Abd El Kader Prof. Université de Blida 1

Co-encadré par :

Dr OUKACI Soumia Chercheur, CNERIB

Membre de jury :

Mme KHELIFI Prof. Université de Blida 1 Présidente

Mr ATIK Prof. Université de Blida 1 Examineur

Année universitaire 2023/2024

Remerciements

Je remercie en premier lieu Dieu le tout-puissant qui m'a donné le courage, la volonté et la patience pour accomplir ce travail à temps.

Tout d'abord j'adresse un énorme remerciement et un profond respect à Pr HAMID Abdelkader et Dr OUKACI Soumia, signe de gratitude envers des personnes qui ont su être là, à me soutenir, m'encourager, et m'encadrer tout au long de ce travail. Je les remercie pour l'aide et le temps qu'elles ont bien voulu nous consacrer.

Je souhaite adresser mes très sincères et vifs remerciements aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont manifesté à l'égard de ce modeste travail, en me faisant l'honneur d'évaluer et de juger ce dernier. Merci Mme KHELIFI d'avoir accepté de présider le jury. Je tiens à remercier Mr ATIK d'avoir accepté d'être examinateur de ce mémoire.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers la GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit) pour nous avoir offert cette opportunité exceptionnelle de suivre un master professionnel leur collaboration et leur financement ont été essentiels, grâce à leur soutien nous avons pu bénéficier d'une formation de haute qualité renforçant nos compétences et nos connaissances dans le domaine de l'efficacité énergétique dans les bâtiments.

Je souhaite également remercier RENAC (Renewable Acadey) pour leur contributions précieuses, RENAC avec ses formateurs compétents et expérimentés nous a dispensé des formations de qualité supérieure.

Un grand merci à mes chers parents et à ma famille qui m'ont toujours soutenu le long de mon parcours, merci d'avoir cru en moi.

Je remercie aussi tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour accomplir ce travail.

Nassima AYACHE

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 transitions 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, Passivhaus....) 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, efficience, 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 leurs 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 »

Résumé

Les bâtiments tertiaires en Algérie, souvent dotés de façades vitrées extensives, souffrent de problèmes de confort thermique et de surconsommation d'énergie. En été, ces façades entraînent des surchauffes, augmentant les besoins en climatisation, tandis qu'en hiver, elles ne parviennent pas à retenir suffisamment de chaleur et même peuvent devenir une source de déperdition, nécessitant une consommation accrue de chauffage.

Le présent travail propose une nouvelle configuration de façade vitrée intégrant un système de chauffage solaire passif adapté dans trois zones climatiques distinctes. Cette configuration vise à optimiser l'utilisation de l'énergie solaire pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments.

Dans le cadre de ce travail une étude comparative a été faite entre trois configurations de façade adaptées dans trois zones climatiques en Algérie : Alger, El Bayadh et In Salah et une étude paramétrique afin de définir la configuration optimale adaptée au contexte climatique Algérien.

Les résultats obtenus montrent que la nouvelle configuration de façade vitrée combinée avec un mur capteur est une solution adéquate pour résoudre le problème de l'utilisation excessive de vitrage dans les deux régions d'Alger et El Bayadh contribuant ainsi à la réduction de la consommation énergétique et à l'amélioration du confort intérieur. Contrairement à In Salah, où les conditions climatiques difficiles (climat chaud et aride) ont montré que les façades vitrées en général ne sont pas adaptées à ce type de climat.

Les mots clés : Efficacité énergétique, Façade vitrée, Mur de trombe, Confort thermique, Confort visuel, Contexte climatique.

Abstract

Tertiary building in Algeria, often equipped with extensive glazed facades, suffer from thermal comfort issues and excessive energy consumption. In summer, these facades lead to overheating increasing the need for air conditioning, while in winter, they fail to retain sufficient heat and even become a source of heat loss, necessitating increased heating consumption.

This work proposes a new glazed facade configuration incorporating a passive solar heating system, adapted to three distinct climatic zones. This configuration aims to optimize the use of solar energy to improve the Energy Efficiency of building.

As part of this work, a comparative study was conducted between three facade configurations adapted to three climatic zones in Algeria: Algiers, El bayadh and In salah, along with a parametric study to define the optimal configuration suited to the Algerian climate.

The results showed that the new glazed facade configuration combined with a collector wall is an adequate solution to address the problem of excessive glazing use in the regions of Algiers and El bayadh, thus contributing to reducing energy consumption and Improving indoor comfort. In contrast, in In Salah, the harsh climatic conditions (hot and aride climate) demonstrated that glazed facades in general are not suitable for this type of climate.

Keywords: Energy efficiency, Glass facade, Trombe wall, Thermal comfort, Visual comfort, Context climate.

ملخص

تعاني مباني قطاع الخدمات في الجزائر، والتي غالبيتها مجهزة بواجهات زجاجية واسعة من مشاكل في تحقيق الراحة الحرارية والاستهلاك المفرط للطاقة. في الصيف، تؤدي هذه الواجهات الى ارتفاع درجات الحرارة مما يزيد من الحاجة الى التكييف، بينما في الشتاء تفشل هذه الواجهات في الاحتفاظ بالحرارة الكافية وتصبح حتى مصدرا لفقدان الحرارة مما يتطلب زيادة استهلاك التدفئة.

يقترح هذا العمل تكوينا جيدا لواجهة زجاجية مدمجة مع نظام غير آلي للتدفئة بالطاقة الشمسية يتكيف مع ثلاث مناطق مناخية متميزة يهدف هذا التكوين الى تحسين استخدام الطاقة الشمسية لتحسين كفاءة الطاقة في المباني.

كجزء من هذا العمل تم اجراء دراسة مقارنة بين ثلاثة تكوينات للواجهة تتكيف مع ثلاث مناطق مناخية في الجزائر: الجزائر، البيض وعين صالح الى جانب دراسة معلومات لتحديد التكوين الامثل المناسب للسياق المناخي الجزائري.

اظهرت النتائج ان تكوين الواجهة الزجاجية الجديد المدمج مع جدار جامع للحرارة هو حل مناسب لمعالجة مشكلة الاستخدام المفرط للزجاج في منطقتي الجزائر والبيض مما يساهم في تقليل استهلاك الطاقة وتحسين الراحة الحرارية الداخلية، على العكس من ذلك، في عين صالح اظهرت الظروف المناخية الصعبة (المناخ الحار والجاف) ان الواجهات الزجاجية بشكل عام غير مناسبة لهذا النوع من المناخ.

الكلمات المفتاحية: كفاءة الطاقة، الواجهة الزجاجية، جدار ترامب، الراحة الحرارية، الراحة البصرية، السياق المناخي.

SOMMAIRE

Remerciements	
PRÉAMBULE	
Résumé	
Abstract	
ملخص	
Chapitre I: Chapitre introductif	
Introduction générale	1
Contexte de la thématique	3
Problématique générale	4
Problématique spécifique	4
Hypothèses	4
Objectifs du travail	5
Méthodologie de travail	6
Chapitre II : Développement du système proposé	
Introduction	7
I. Etat de l'art :	7
1. Le chauffage solaire passif	8
2. Revus de la littérature	9
2.1 Livre « Habitat Solaire Passif »	9
2.2 Etude du confort thermique en zone semi-aride	10
2.3 Etude de l'impact de l'inertie thermique :	11
2.4 Etude de système Barra-Constantini	12
II. Description de la nouvelle configuration de façade :	13
1. Description du système de James Bier	13
2. Description de la nouvelle configuration de mur de trombe proposé :	15
2.1 Principe de choix de la nouvelle configuration	15
3. Principe de fonctionnement de la nouvelle configuration proposée	17
3.1 Fonctionnement hivernal	18
3.2 Fonctionnement estivale	18
III. Méthodologie de travail	19
1. Présentation des outils de travail :	20
1.1 Meteonorm	20
1.2 DesignBuilder 7.0.2.006	21

2.	Choix du cas d'étude.....	21
3.	Le choix des zones climatiques.....	23
4.	Les différents scénarios de simulation.....	24
4.1	Evaluation thermique comparative	25
4.2	Evaluation visuel comparative.....	28
4.3	Etude paramétrique	28
4.4	Analyse de rentabilité de la nouvelle configuration proposé	29
Chapitre III: Résultats et discussions		
	Introduction.....	30
I.	Etude comparative.....	30
1.	Confort thermique.....	30
1.1.	Température opérative	31
1.2.	Predicted Mean Vote (PMV).....	33
1.3.	Percentage of people dissatisfied (PPD).....	36
	Conclusion de l'étude comparative de confort thermique	38
2.	Confort visuel	39
2.1.	La façade conventionnelle.....	39
2.2.	Le mur trombe	40
2.3.	La nouvelle configuration de façade.....	41
II.	Etude paramétrique.....	41
1.	Influence du type de vitrage	41
2.	Influence de changement de matériaux et épaisseurs.....	44
3.	Influence de la protection solaire.....	45
3.1.	Calcul de la dimension de la protection solaire	45
	Conclusion de l'étude paramétrique.....	50
III.	Analyse de la rentabilité économique du système	51
	Conclusion générale	42
	Les références	

Nomenclature

➤ Alphabet latin

<u>Symbole</u>	<u>Désignation</u>
e	Epaisseur (cm)
U	Coefficient de transmission thermique ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)
T	Température ($^{\circ}\text{C}$)
C	Chaleur spécifique ($\text{J/kg} \cdot \text{K}$)

➤ Lettre grec

<u>Symbole</u>	<u>Désignation</u>
δ	Déclinaison solaire
ω	Angle horaire solaire
θ_z	Angle zénithal
α	Altitude solaire
γ_s	Azimut solaire
ρ	Masse volumique (kg/m^3)
λ	Conductivité thermique ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)

➤ Abréviation

<u>Symbole</u>	<u>Désignation</u>
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CNERIB	Centre National d'Études et de Recherches Intégrées du Bâtiment
CDER	Centre de Développement des Energies Renouvelables
CVC	Chauffage, Ventilation et Climatisation
DTR	Document Technique Règlementaire
CREG	Commission de Régulation de l'Electricité et de Gaz
PMV	Vote Moyen Prédit (Predicted Mean Vote)
PPD	Pourcentage prédit d'insatisfaits (Predicted Percentage of Dissatisfied)
XPS	Polystyrène extrudé

Liste des figures

Figure 1 Principe de fonctionnement de chauffage solaire passif	8
Figure 2 Principe de fonctionnement de stratégie de refroidissement passif	8
Figure 3 Système à apport direct	9
Figure 4 Système à apport indirect	9
Figure 5 Principe de fonctionnement de mur trombe en été.....	14
Figure 6 Principe de fonctionnement de mur trombe en Hiver	14
Figure 7 Plan de mur trombe de James Bier. (Habitat solaire passif)	14
Figure 8 3D représentatif de mur trombe de James Bier.	14
Figure 9 Schéma de dimensions d'un morceau de mur capteur.	15
Figure 10 3D illustrant la première proposition de façade.....	15
Figure 11 3D illustrant la deuxième proposition de façade.....	16
Figure 12 Principe de fonctionnement de la première proposition de façade (jour et nuit).	16
Figure 13 Principe de fonctionnement de la deuxième proposition de façade (jour et nuit).	17
Figure 14 Fonctionnement hivernale de la nouvelle configuration de façade (Jour et nuit).	18
Figure 15 Fonctionnement estivale de la nouvelle configuration de façade (Jour et nuit).....	19
Figure 16 Interface de logiciel meteonorm	20
Figure 17 Interface de logiciel DesignBuilder	21
Figure 18 Plan de l'espace de bureau étudié.....	22
Figure 19 Vue intérieur et extérieur de la façade sud intégrant la nouvelle configuration.	23
Figure 20 Les différents composants utilisés dans le scénario de la façade conventionnelle.	25
Figure 21 Les différents composants utilisés dans le scénario de Mur Trombe.	27
Figure 22 Les différents composants utilisés dans le scénario de la nouvelle façade.....	28
Figure 23 Evolution des températures opératives mensuelles des différentes configurations de façades. A : Alger ; B : El Bayadh ; C : In Salah	31
Figure 24 Comparaison entre les PMV des différentes configurations de façades. A : Alger ; B : El Bayadh ; C : In Salah.	34
Figure 25 Comparaison entre les PPD des différentes configurations de façades. A : Alger ; B : El Bayadh ; C : In Salah.	37
Figure 26 La carte de distribution de la lumière naturelle pour la façade conventionnelle.....	39
Figure 27 La carte de distribution de la lumière naturelle pour le mur trombe	40
Figure 28 La carte de distribution de la lumière naturelle pour la nouvelle configuration de façade.	41
Figure 29 Les variations de température intérieure selon le type de vitrage intérieur et extérieur dans la nouvelle configuration. A : Alger ; B : El Bayadh ; C : In Salah.	42
Figure 30 Les variations de température intérieure selon les matériaux de constructions et l'épaisseurs dans la nouvelle configuration. A : Alger ; B : El Bayadh ; C : In Salah.	44
Figure 31 Schéma explicatif pour le calcul des protections solaires.....	45
Figure 32 Les variations de température intérieure dans le cas de présence et d'absence de protection solaire. A : Alger ; B : El Bayadh ; C : In Salah.....	48
Figure 33 Schéma explicatif de l'impact de la protection solaire sur la façade selon l'angle d'incidence de soleil dans les trois régions étudiées.	49
Figure 34 Les différences de consommation énergétique pour le chauffage et le refroidissement entre la façade conventionnelle et la nouvelle configuration de façade à Alger	51
Figure 35 Les différences de consommation énergétique pour le chauffage et le refroidissement entre la façade conventionnelle et la nouvelle configuration de façade à El Bayadh	52

Figure 36 Les différences de consommation énergétique pour le chauffage et le refroidissement entre la façade conventionnelle et la nouvelle configuration de façade à In Salah 53

Liste des tableaux

Table 1 Analyse d'exemple de mur trombe de livre Habitat solaire passif	10
Table 2 Analyse d'un prototype de maison solaire contenant un mur trombe et un Eco-Cooler .	11
Table 3 Détails de l'analyse de simulation des besoins énergétiques d'un prototype de logement à Constatine	12
Table 4 Analyse thermique de système Bara-Constantini dans les conditions climatiques Algériens	13
Table 5 Les zones climatiques choisis et les coordonnées géographiques.	24
Table 6 Les températures extérieures moyennes mensuelles des trois régions choisis.....	24
Table 7 Caractéristiques thermo-physique des matériaux utilisés dans le 1er scénario.	25
Table 8 Caractéristiques thermo-physique des matériaux utilisés dans le 2ème scénario.....	26
Table 9 Caractéristiques thermo-physique des matériaux utilisés dans le 3ème scénario.....	27
Table 10 Les différences de températures entre l'extérieur et les différentes façades étudiées .	33
Table 11 Les variations de PMV des trois configurations de façades étudiées	35
Table 12 Les variations de PPD des trois configurations de façades étudiées	38
Table 13 Comparaison entre les charges énergétiques et les économies de cout avant et après l'intégration de la nouvelle configuration	53

CHAPITRE

INTRODUCTIF

Introduction générale

Le changement climatique est devenu l'un des défis les plus pressants de notre époque, se manifestant par des inondations, des sécheresses, une élévation des températures moyennes mondiales, et des phénomènes météorologiques extrêmes plus fréquents. Ces perturbations provoquent un écosystème déstabilisé, menaçant la sécurité alimentaire et la vie humaine. [1]

Dans ce contexte, la quête du confort thermique, un besoin fondamental pour les êtres humains, est devenue une préoccupation majeure. L'homme moderne, attaché à son bien-être, en épuisant les ressources non renouvelables notamment les énergies fossiles qui sont nocives et polluantes.

Sur les marchés mondiaux de l'énergie, l'Algérie joue un rôle crucial en tant que premier producteur et exportateur de gaz naturel en Afrique. De ce fait, le pays se base presque exclusivement sur les énergies fossiles, en particulier le gaz naturel [2], malgré qu'elle dispose d'un énorme potentiel d'énergie renouvelable, principalement l'énergie solaire, que le gouvernement tente d'exploiter à travers un ambitieux programme d'énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique à l'horizon de 2030 [3].

Dans le secteur du bâtiment, l'application des énergies renouvelables permet de compléter les systèmes énergétiques conventionnels. Pratiquement, une combinaison de systèmes solaires passifs peut réduire considérablement les coûts énergétiques.

En Algérie, les méthodes de construction actuelles, souvent importées de pays aux climats différents, ne tiennent pas suffisamment compte des spécificités climatiques locales. Cela conduit à une inefficacité énergétique marquée, où les bâtiments consomment excessivement pour maintenir un confort thermique acceptable.

Dans ce contexte, les bâtiments publics en Algérie présentent souvent une utilisation excessive des façades vitrées, ce qui entraîne des problèmes de confort thermique et une surconsommation d'énergie. Bien que ces façades soient bénéfiques pour l'éclairage naturel, elles peuvent causer des surchauffes en été et une perte de chaleur en hiver, rendant le contrôle climatique intérieur coûteux et inefficace. Des solutions dans la littérature ont été proposées pour tirer parti de ces façades vitrées, parmi lesquelles, les systèmes de chauffages solaires passifs, tels que le mur trombe.

Le mur trombe se compose d'un mur de couleur sombre faisant face au soleil, généralement fait de béton, de briques pleines ou même d'adobe, et celui-ci est séparé de l'environnement extérieur par un vitrage, avec une couche d'air entre les deux. [4]. Les recherches montrent qu'il s'agit d'une technologie efficace pour économiser l'énergie. Par exemple, l'économie annuelle d'énergie de chauffage peut être atteinte jusqu'à 32,1 % dans un climat méditerranéen [5]. D'autres études ont examiné sa performance ont mis en évidence l'influence d'une série de composants tels que la composition et la taille des murs de stockage et le type de vitrage [6], l'absorbeur [7].

Dans des climats comme celui de l'Algérie (méditerranéen, semi-aride et aride), le mur trombe assure un confort thermique hivernale mais cause des surchauffes pendant les mois d'été. De plus, l'intégration de façades vitrées pose des défis supplémentaires en termes de confort visuel et d'éclairage naturel. Ces aspects doivent être soigneusement étudiés pour éviter les désagréments tout en maximisant les bénéfices du chauffage solaire passif. Face à ces défis, cette étude propose une nouvelle conception de façade vitrée combinée avec un système à apport indirect (morceaux de mur capteur). En examinant l'efficacité énergétique de cette nouvelle solution, nous espérons offrir une alternative viable pour les bâtiments publics en Algérie, contribuant ainsi à une réduction de la consommation énergétique et à une amélioration du confort intérieur.

Contexte de la thématique

L'ancien chef de département au sein de l'APRUE, Kamel Lamiri, a présenté des résultats de plusieurs audits réalisés au niveau d'un bâtiment administratif a démontré une consommation de 100 % supérieure aux standards entre les mois de juin et octobre. [8]

La consommation énergétique nationale en 2021 s'était établie à 50 millions TEP, le secteur des bâtiments résidentiels et tertiaires ayant représenté le plus grand consommateur d'énergie avec 46 % du total [9]

En Algérie, on constate que la majorité des bâtiments tertiaires sont à mur rideaux et ne sont pas confortable sur tout en été. Elles peuvent facilement souffrir des problèmes de surchauffe ou de grandes charges de refroidissement de pointe et même des pertes de chaleur pendant les mois d'hiver. Il en résulte une consommation accrue d'énergies due à la male intégration de ses bâtiments au climat qui apparait dans l'utilisation excessive de vitrage.

A l'heure actuelle, les façades vitrées sont devenue un élément incontournable de l'architecture contemporaine, mais elle se distingue par sa tendance à laisser échapper la chaleur, entraînant ainsi une déperdition énergétique. Cependant, dans cette époque axée sur la durabilité, une réorientation de la perspective s'impose. Plutôt que de percevoir ces déperditions comme des inconvénients inévitables, nous pouvons les considérer comme des opportunités latentes pour exploiter l'énergie solaire à notre avantage.

Sachant que l'Algérie vue sa localisation géographique, elle dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara).

L'énergie reçue annuellement sur une surface horizontale de 1m² soit près de 3 KWh/m² au nord et dépasse 5,6 KWh/m² au grand sud. [10]

Dans ce contexte, en intégrant des solutions tel que les systèmes de chauffage solaire passif comme le mur trombe, qui nous aide à profiter des rayonnements solaires et transformer ces façades vitrées en élément actifs de gestion thermique. Par ailleurs, en optimisant l'utilisation de mur trombe, nous pouvons réduire son impact en été, le rendant ainsi mieux adapté au climat algérien. Cette approche permettrait non seulement de minimiser la

surchauffe, mais aussi d'améliorer le confort thermique et de maximiser l'efficacité énergétique des bâtiments.

L'amélioration de l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment est primordiale surtout que des milliers de nouveaux bâtiments seront construits sans aucune considération pour l'efficacité énergétique et des millions de bâtiments existants consommant plus d'énergie que nécessaire seront toujours présents. Agir maintenant implique de réduire leur consommation énergétique et de faire de réels progrès pour lutter contre le changement climatique.

Problématique générale

Comment repenser ces façades vitrées pour répondre aux exigences climatiques algériennes, tout en limitant les déperditions pendant l'hiver et en atténuant les impacts thermiques pendant l'été ?

Hypothèse

Une combinaison entre une façade vitrée (système à apport direct) et des morceaux de mur capteur (système à apport indirect) peut optimiser le rendement et l'adaptation des façades vitrées au contexte climatique Algérien.

Problématique spécifique

Comment optimiser la configuration de cette nouvelle façade vitrée combinée avec des morceaux de mur capteur pour améliorer sa performance dans les différents types de climats en Algérie ?

Hypothèses

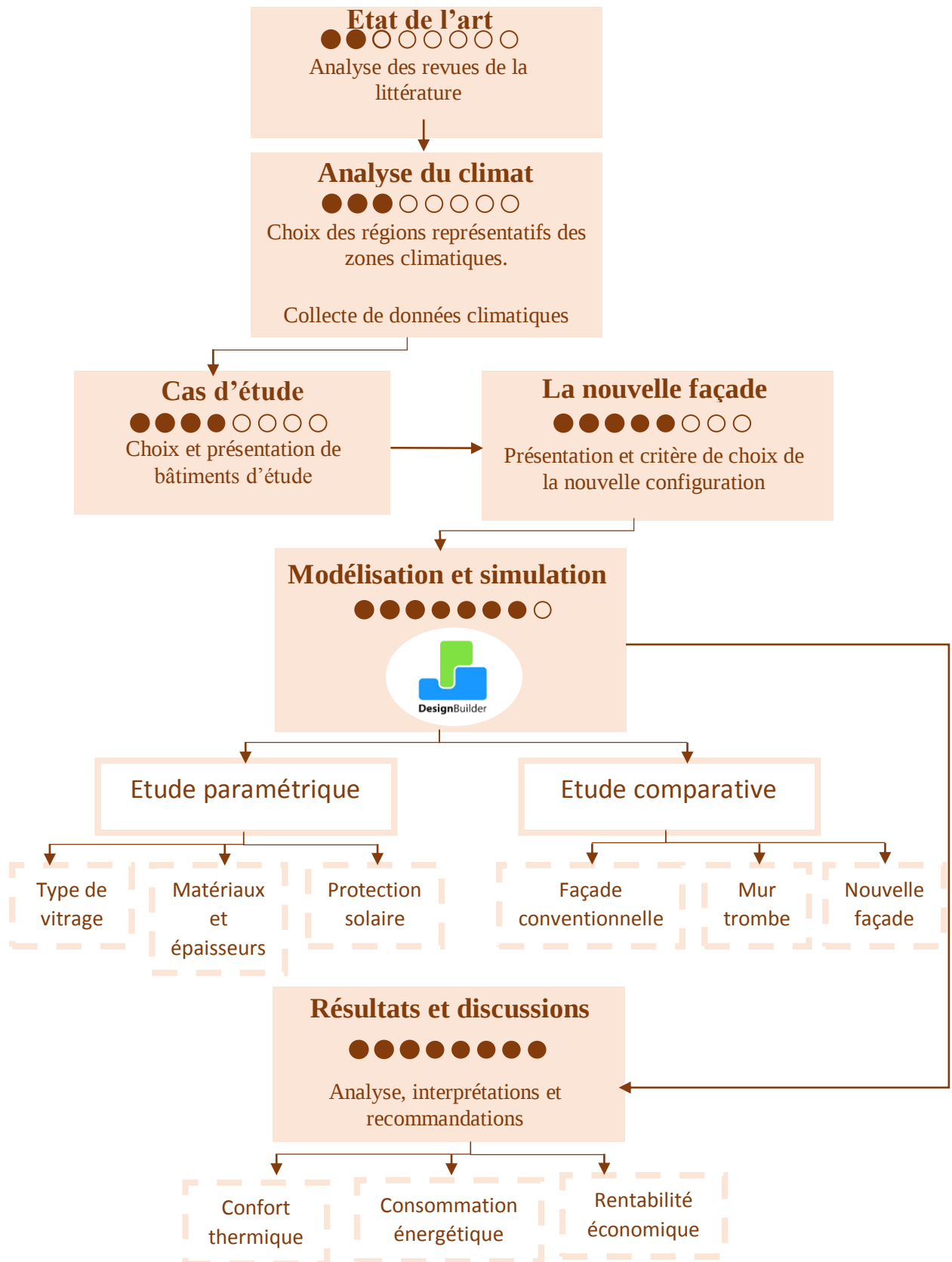
Le changement de plusieurs paramètres permet d'améliorer la performance de notre système tels que :

Le changement de type du vitrage, le changement des matériaux de construction et épaisseurs, le changement de l'orientation et de dimensions des morceaux de mur et la création de l'ombrage par des protections solaires.

Objectifs du travail

L'objectif de ce travail est de développer une solution innovante et durable qui répond aux défis posés par l'utilisation excessives de façades vitrées dans le contexte climatique de l'Algérie par la conception et l'optimisation d'une nouvelle configuration de façade vitré, spécifiquement adaptée à ce contexte. Dont l'objectifs principale est d'améliorer le confort thermique des bâtiments tertiaires en Algérie, en optimisant le chauffage solaire passif pour le confort hivernal et en évitant la surchauffe de mur capteurs pour assurer le confort estival.

Méthodologie de travail



CHAPITRE II

Développement du système

Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons en premier lieu l'état de l'art en mettant l'accent sur les notions de base liées aux systèmes de chauffage solaire passif. Nous commencerons par une revue des concepts fondamentaux, en nous appuyant sur une analyse des documents pertinents qui ont permis de tirer les recommandations nécessaires pour le développement de notre nouvelle configuration.

Ensuite, nous présentons une description détaillée de la nouvelle configuration proposée et les critères de choix de cette dernière, puis nous expliquerons son fonctionnement.

Enfin, nous exposerons la méthodologie de travail adaptée pour évaluer l'impact de cette nouvelle configuration sur l'efficacité énergétique des bâtiments. Cette section comprendra une présentation des différents climats étudiés, les outils utilisés, ainsi que les scénarios envisagés pour établir une étude comparative, paramétrique qui permettra d'évaluer le confort thermique et visuel.

I. Etat de l'art :

Le confort thermique est un concept important pour les systèmes de chauffage et de climatisation. La société américaine des ingénieurs de chauffages, de refroidissement et de climatisation de l'air 'ASHRAE' l'a définie comme 'l'état de l'esprit dans lequel la satisfaction s'exprime à l'égard de l'environnement thermique' [11]

Dans l'architecture sensible au climat, des stratégies sont adoptées pour répondre aux besoins des occupants, en tenant compte le rayonnement solaire local, la température, le vent et d'autres conditions climatiques. Différentes stratégies sont nécessaires pour les différentes saisons. Ces stratégies peuvent elles-mêmes être subdivisées en un certain nombre de concepts, qui représentent des actions. [12]

La stratégie de chauffage solaire passif comprend quatre concepts (Voir la figure 1) :

- Captation de la chaleur du soleil à travers l'enveloppe du bâtiment.
- Stockage de chaleur dans la masse des murs et des sols.
- Distribution de la chaleur collectée aux différents espaces nécessitant un chauffage.
- Conservation de la chaleur à l'intérieur du bâtiment.

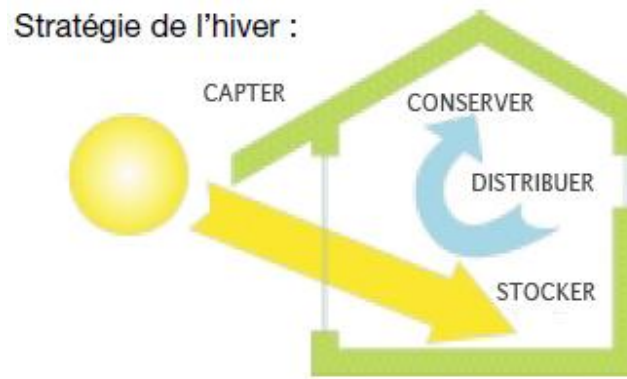


Figure 1 Principe de fonctionnement de chauffage solaire passif

La stratégie de refroidissement comprend cinq concepts (Voir la figure 2) :

- Contrôle solaire : protection du bâtiment contre le rayonnement solaire direct.
- Ventilation : expulsion et remplacement de l'air chaud indésirable.
- Minimiser les gains internes : réduction de la chaleur des occupants, des équipements et de l'éclairage artificiel.
- Protection contre la chaleur indésirable par infiltration ou conduction à travers l'enveloppe.
- Refroidissement naturel : améliorer la ventilation naturelle en agissant sur l'air extérieur.

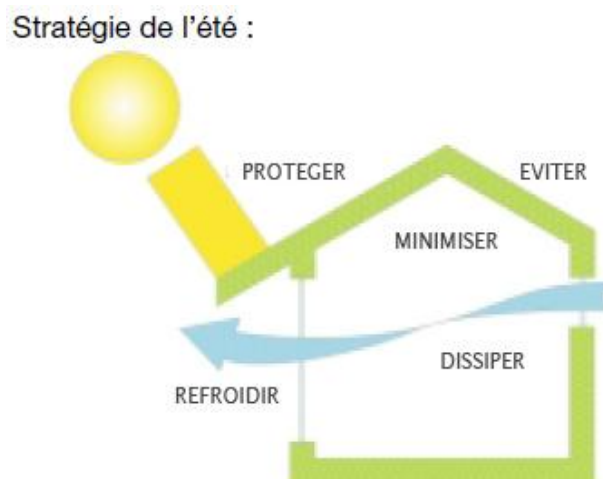


Figure 2 Principe de fonctionnement de stratégie de refroidissement passif

1. Le chauffage solaire passif

Ce système est basé sur le principe de l'utilisation d'une partie de l'énergie solaire pour le chauffage, cette énergie est appelée passive, car elle ne nécessite pas la mise en place d'installation de traitement de l'énergie pour chauffer un logement [13].

Les procédés de chauffage solaire passif sont classés en deux familles, les systèmes à apports directs et les systèmes à apports indirects.

Les systèmes à apports directs consistent à capter le rayonnement solaire à travers les baies vitrées du local. (Voir figure 3)

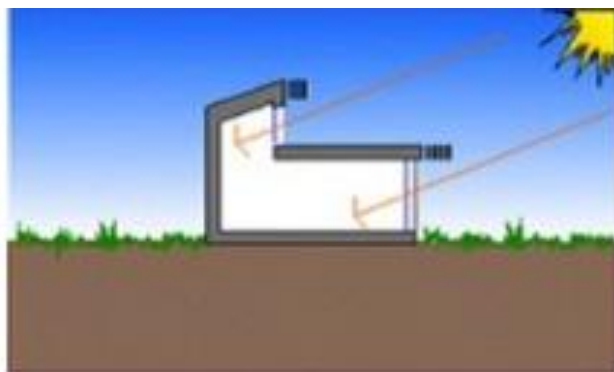


Figure 3 Système à apport direct

Les systèmes à apports indirects utilisent les éléments extérieurs de la construction pour absorber le rayonnement solaire. Dans le mur trombe par exemple, cet élément est un mur épais de béton non isolé, ainsi l'énergie absorbée est transférée par conduction vers la face intérieure. Cette étape s'effectue en plusieurs heures, puis l'énergie est échangée par rayonnement, avec les autres parois et par convection avec l'air du local. (Voir figure 4) [14]

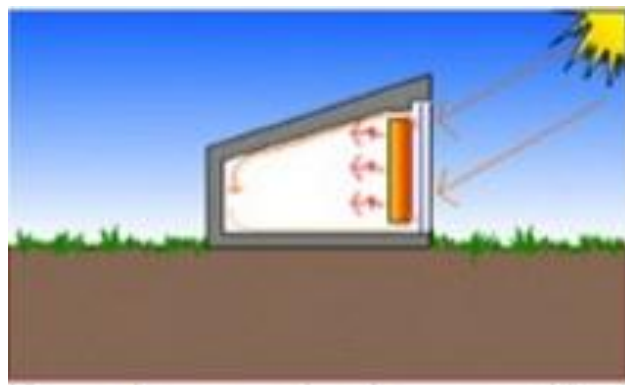


Figure 4 Système à apport indirect

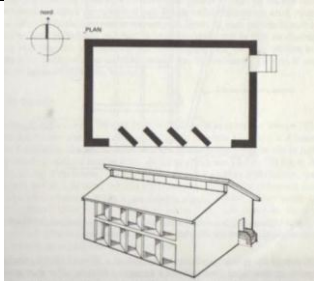
Dans la littérature, de nombreuses études ont été menées pour évaluer les performances du mur trombe. Ces études se concentrent sur différents aspects du mur, y compris ses propriétés thermiques, ses capacités de stockage de la chaleur, et son efficacité énergétique dans divers climats.

2. Revus de la littérature

2.1 Habitat Solaire Passif

Le livre de l'habitat solaire passif, l'auteur RALPH M. LEBENS a fournis plusieurs exemples et études de cas démontrant l'application réussite du mur trombe dans différents contextes climatiques. Ces études montrent comment le mur trombe peut être adapté pour répondre aux besoins spécifiques de chauffage et de refroidissement passif dans diverses régions [14]. Un parmi les exemples traités par le livre celui dans le tableau suivant :

Table 1 Analyse d'exemple de mur trombe de livre *Habitat solaire passif*

	Chauffage	Matériaux de constructions	Résultats
 Morceaux de mur capteur 80 × 30 cm Orienté à 45 °	Chauffage solaire par la combinaison de 2 systèmes (à apport direct et à apport indirect) Le soleil matinal pénètre dans les pièces directement, l'après-midi, les rayons sont interceptés et stockés par le mur.	Béton peint en noir	Assurer le chauffage solaire passif tout en évitant la surchauffe causé par le mur trombe traditionnel

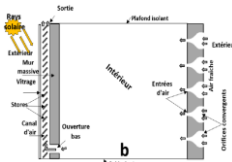
2.2 Etude du confort thermique en zone semi-aride

La thèse de doctorat « Etude du confort thermique avec optimisation de la consommation énergétique en zone semi-aride (Batna) », BOULEBBINA Cherif, Université Batna 2

Ce travail porte sur le confort thermique et l'optimisation de la consommation énergétique dans un bâtiment situé en zone semi-aride. Plus précisément, il s'agit d'une étude expérimentale et numérique d'un prototype de maison solaire passive utilise un système à mur trombe, conçu et testé sous les conditions climatiques de Batna. [15]

Les détails de cette étude sont dans le tableau suivant :

Table 2 Analyse d'un prototype de maison solaire contenant un mur trombe et un Eco-Cooler

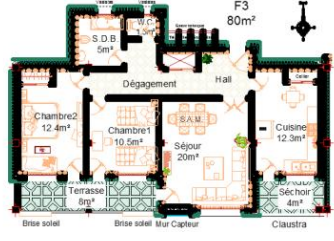
	Chauffage	Refroidissement	Matériaux de construction	Résultats
 Un mur peint de couleur noir mate, exposé au soleil et devant lequel dispose un vitrage. Mur 1×1 m²	L'air circule de bas en haut par un système de clapets. L'air froid sort de la maison, se réchauffe en montant au contact de la vitre pour rentrer réchauffé dans la pièce où il se refroidit. La nuit : lorsque les clapets sont fermés, la chaleur accumulée dans le mur continue d'être restituée dans l'habitation durant quelques heures	Les clapets seront ouverts pour faire dissiper la chaleur accumulé pendant la journée Système Eco-Cooler (Des orifices sous forme de convergent dans la face arrière de la maison solaire située à l'ombre et entourée par des arbres.) 	Façade sud : 1-Pierres taillées (Matériau local) 2-Briques d'Adobe composées de terre mélangée à la paille et de l'eau. Autre façades : paroi multicouches. Pour l'isolation des murs latéraux utilisé le bois du palmier-dattier. Pour la face arrière :le polystyrène expansé.	L'orientation optimale de mur trombe '160° Sud-Est' Le bois de palmier-dattier contribue à l'efficacité énergétique des bâtiments dans la zone semi-aride. Le mur trombe en adobe combiné avec le système Eco-Cooler est performant pour le chauffage et le rafraichissement dans la zone semi-aride.

2.3 Etude de l'impact de l'inertie thermique :

L'article « simulation de l'impact de l'inertie thermique sur la consommation énergétique d'un bâtiment résidentiel dans un climat méditerranéen (Constantine) », Ikram AHMARI*, Ammar KORICHI, Farid GASMI et Salah KRADA, Constantine3

Cet article évalue l'impact de l'inertie thermique de l'enveloppe architecturale sur la consommation énergétique des bâtiments. Une simulation numérique du bilan énergétique d'un prototype de bâtiment résidentiel collectif dans le climat méditerranéen de Constantine [16]. Les points essentiels de ce travail son résumé dans le tableau suivant :

Table 3 Détails de l'analyse de simulation des besoins énergétiques d'un prototype de logement à Constantine

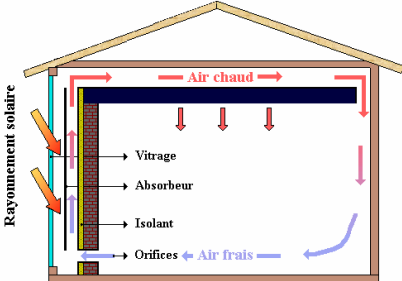
	Chauffage	Matériaux de construction	Résultats
 Simulation des besoins énergétiques d'un prototype de logement de type collectif à Constantine	Le principe de mur Trombe et le renforcement de l'isolation thermique réduisent les déperditions.	1-Construction conventionnelle. 2- l'isolation de la façade nord (liège expansé) et utilisation de la brique de terre cuite. 3- Plancher et plafond (polystyrène expansé) 4- Double vitrage. 5- Ajout de mur capteur (mur trombe).	Les résultats de consommation au 5ème scénario sont six fois moins importants que ceux du 1^{er} (construction conventionnelle). Ceci est l'équivalent de 84 % d'économie d'énergie. Mur trombe seule assure une économie d'énergie de 20%

2.4 Etude de système Barra-Constantini

L'article « Analyse thermique d'un système de chauffage solaire passif » K. Imessad et M. belhamel, CDER

Ce travail porte sur l'étude technico-économique d'un système de chauffage solaire passif, développé par le professeur O.A Barra, adapté aux conditions climatiques de l'Algérie (Alger, Constantine et El Djelfa) [17]. Plus de détails dans le tableau ci-après

Table 4 Analyse thermique de système Bara-Constantini dans les conditions climatiques Algériens

	Chauffage	Matériaux de construction	Résultats
 La distance vitrage absorbeur et absorbeur mur est de 10 cm. Le capteur est connecté à 5 canaux situés dans le plafond de 45 cm de largeur et 10 cm de hauteur.	Un absorbeur entre le mur et le vitrage chauffe l'air puis l'air monte et pénètre des canaux au plafond. La chaleur est ensuite partiellement stockée et restituée par le plafond, tandis que l'air chaud est directement diffusé dans le local.	Absorbeur en métal. Le mur massique en béton. Une couche d'isolant avant le mur massique.	La mise en place du dispositif engendre une économie de 60 % à 70 % des besoins de chauffage. Pour les économies apportées sont faible (260 DA à Alger-400 DA à Constantine et 490 DA à El Djelfa)

II. Description de la nouvelle configuration de façade :

1. Description du système de James Bier

Les premières constructions utilisant le mur Trombe conçues par le docteur Félix Trombe en 1967 à Odeillo dans le sud de la France utilisent des façades sud en béton noir de 600 mm d'épaisseur pour capter et stocker l'énergie solaire l'hiver, ces maisons prototypes intègrent un double vitrage pour réduire les pertes thermiques et permettent le chauffage par convection de l'air entre le vitrage et le mur. La chaleur prend 10 à 15h pour traverser le mur mais un chauffage instantané est possible par la convection naturelle de l'air de la pièce, entre le vitrage et le mur. Des volets placés devant les orifices inférieurs permettent d'éviter l'effet thermosiphon la nuit. Le reste de la structure de ces habitations est bien isolé de sorte que les besoins de chauffage sont faibles. L'avancée du toit protège le mur sud du soleil et des orifices vitrés peuvent être ouverts pour améliorer la ventilation et prévenir les surchauffes. (Voir les figures 5 et 6)

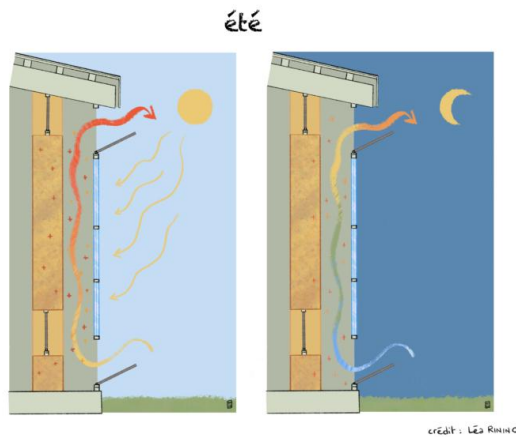


Figure 5 Principe de fonctionnement de mur trombe en été

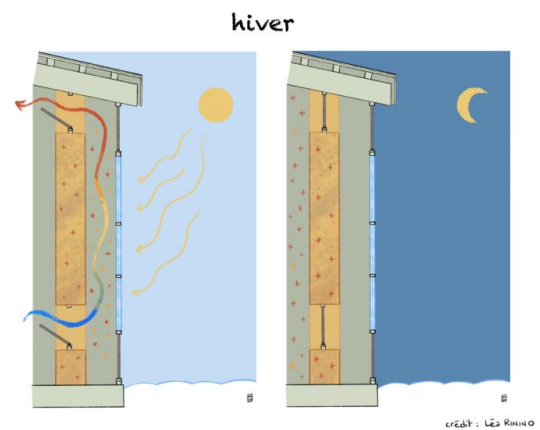


Figure 6 Principe de fonctionnement de mur trombe en Hiver

Des idées nouvelles et ingénieuses ont été développées indépendamment permettent d'éliminer en partie les problèmes de mur trombe. De son côté James Bier à construit une maison à Ferrum en Virginie (Etats Unis) dans laquelle il a décomposé le mur trombe habituel en des parties indépendantes chacune étant orienté à 45° par rapport au vitrage, c'est portion de mur en pour dimensions de 800 mm par 300 mm et leur centre sont distants de 1,2 m (Voir figures 7 et 8). Ce procédé rassemble les fonctions d'un système à apports directs et celles d'un système a apport indirects. [14]

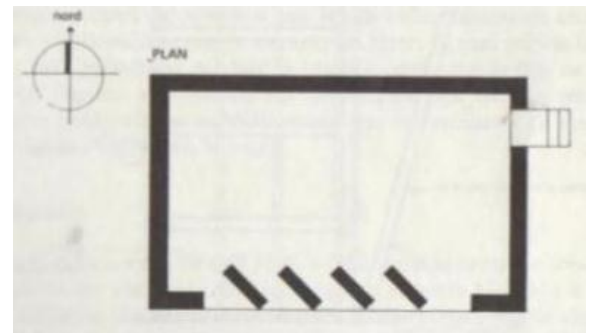


Figure 7 Plan de mur trombe de James Bier. (Habitat solaire passif)

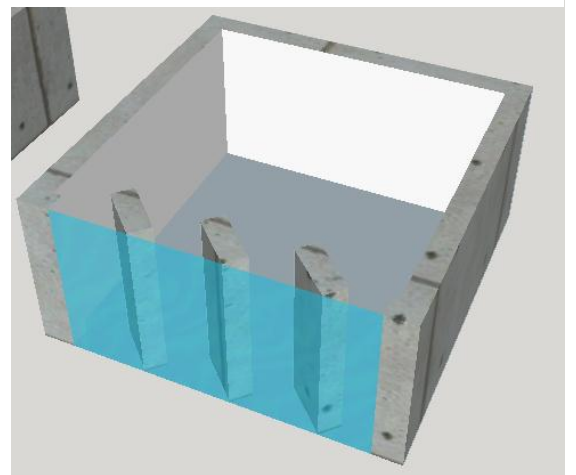


Figure 8 3D représentatif de mur trombe de James Bier. (Auteur)

2. Description de la nouvelle configuration de mur de trombe proposé :

La nouvelle façade est une combinaison entre le système à apport direct (vitrage) et un système à apport indirect (mur capteur), une technique vise à maximiser l'utilisation de l'énergie solaire pour le chauffage passif en hiver et à minimiser les surchauffes en été.

Ce système s'inspire de celui créé par James Bier, où les morceaux de murs capteurs ont des dimensions $800\text{mm} \times 300\text{mm}$ orientés à 45° par rapport au vitrage extérieur avec une hauteur correspondant à la hauteur du local et un espacement de 1.2 m entre les deux axes de murs (Figure 9). Nous avons travaillé à améliorer cette configuration de base, initialement destinée aux Etats Unis, pour l'adapter au contexte climatique algérien.

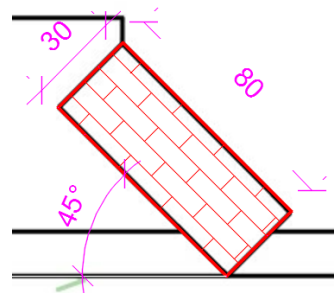


Figure 9 Schéma de dimensions d'un morceau de mur capteur. (Auteur)

2.1 Principe de choix de la nouvelle configuration

Afin d'améliorer la performance du système et l'adapter au contexte climatique algérien, deux configurations ont été proposées :

1. La première proposition consiste à enlever le vitrage continu sur la face extérieure et à relier les morceaux de murs capteurs par un vitrage et donc on aura des morceaux de mur capteur orientés à 45° vers le sud-ouest et d'autres morceaux de mur vitré orientés à 45° vers le sud-est. (Voir la figure 10)

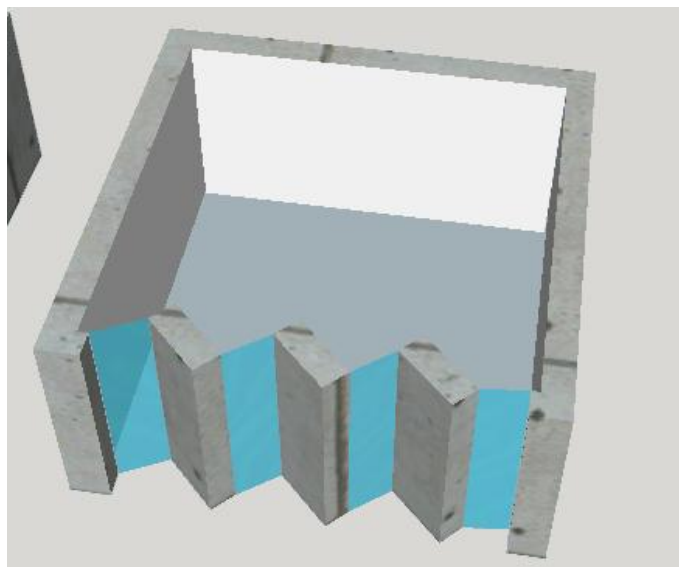


Figure 10 3D illustrant la première proposition de façade. (Auteur)

2. La deuxième proposition diffère par rapport à la première en réintroduisant le vitrage extérieur tout en maintenant le vitrage intérieur afin de créer une cavité d'air,

ce principe reprend celui du mur trombe sauf que ce dernier contient une seule cavité d'air en longueur tandis que la configuration proposée contient plusieurs cavités en module. (Voir la figure 11)

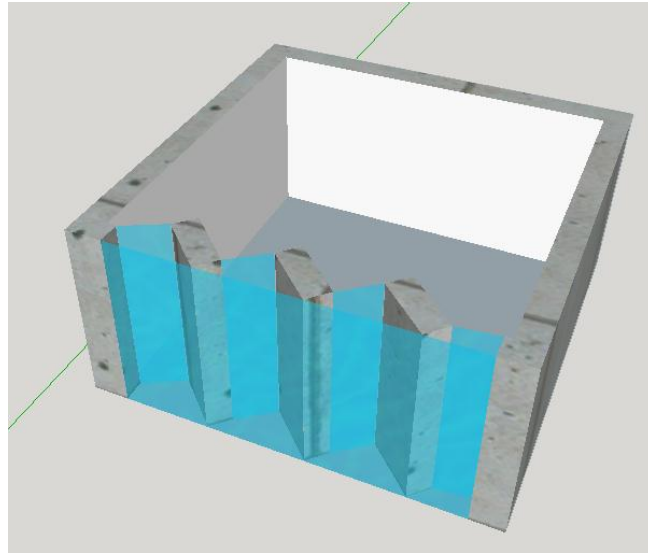


Figure 11 3D illustrant la deuxième proposition de façade. (Auteur)

Notre choix est porté pour la deuxième configuration pour les raisons suivantes :

Bien que la première proposition permette une bonne transmission de lumière naturelle et un certain captage de chaleur en plus facile à nettoyer, elle manque de cavité et donc d'isolation thermique adéquate, rendant le contrôle de flux de chaleur difficile. (Voir la figure 12)

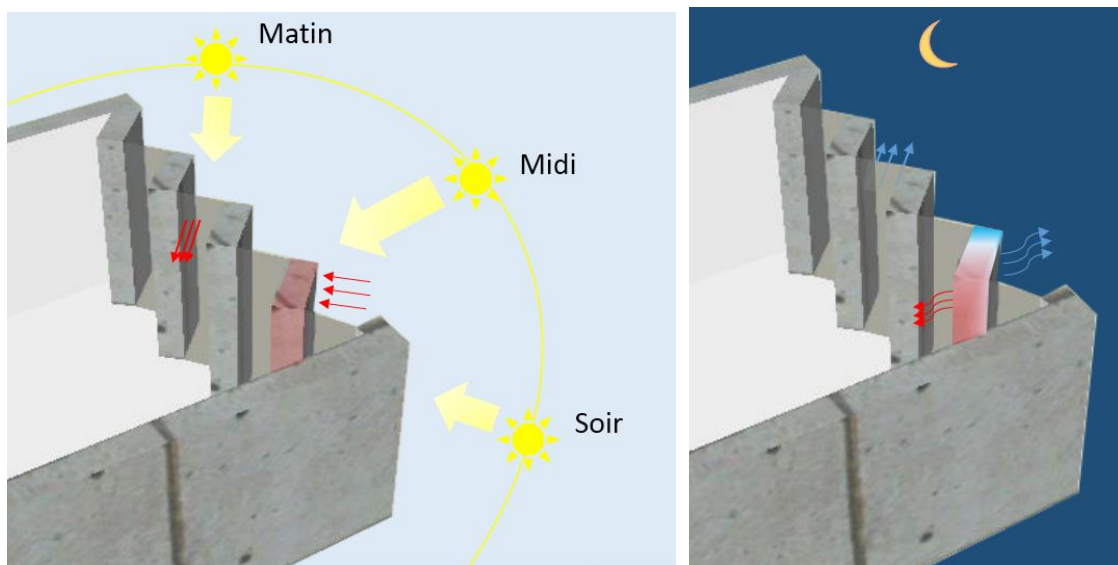


Figure 12 Principe de fonctionnement de la première proposition de façade (jour et nuit). (Auteur)

Tandis que, dans la deuxième proposition l'ajout du vitrage extérieur crée des cavité d'air ce qui va améliorer l'isolation thermique permettant un ajustement de la circulation thermique selon les besoins saisonniers. Ainsi cette configuration combine les avantages du mur trombe et la façade vitrée assurant à la fois le chauffage solaire passif (apport direct et indirect) et l'éclairage naturel, afin d'assurer un confort thermique optimal et une luminosité accrue à l'intérieur. (Voir la figure 13)

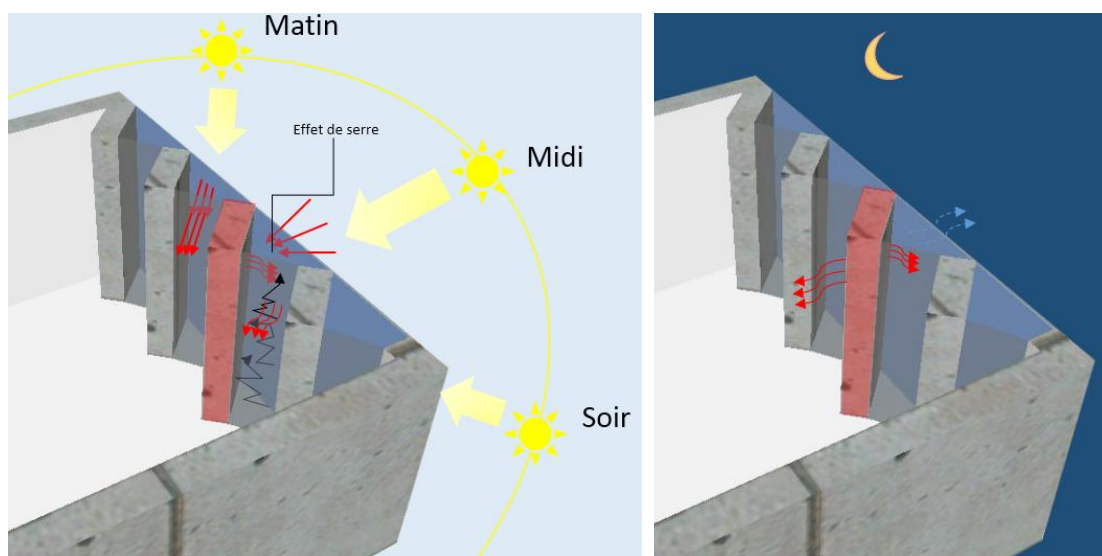


Figure 13 Principe de fonctionnement de la deuxième proposition de façade (jour et nuit). (Auteur)

3. Principe de fonctionnement de la nouvelle configuration proposée

Comme déjà citait auparavant le système se compose de deux éléments principaux, un mur massif orienté à 45° vers le sud-ouest et un mur vitré orienté à 45° vers le sud-est collé sur un vitrage extérieur formant une cavité d'air. Il possède des ouvertures en haut et en bas dans la vitre extérieure et intérieure pour faire circuler l'air.

Le soleil matinal pénètre dans les pièces directement par le vitrage orienté sud-est, qui permet la transmission directe des rayonnements solaires et qui fournit à la fois la chaleur et la lumière le matin lorsqu'un chauffage immédiat est requis, alors que l'après-midi sous l'effet du rayonnement solaire qui pénètre le vitrage extérieur le mur réchauffe et émet un rayonnement infrarouge qui ne peuvent pas retraverser le vitrage extérieur et donc la chaleur sera piégée dans la cavité d'air (effet de serre), le mur massif absorbe et stocke la chaleur par l'effet de son inertie thermique ce qui empêche le transfert de chaleur vers la surface intérieure de mur avant le soir.

On utilise ce système différemment selon les saisons et la période de la journée.

3.1 Fonctionnement hivernal

La journée : les clapets extérieurs sont fermés et l'intérieurs sont ouverts, le soleil pénètre la matinée par des rayons directs à l'intérieur de l'espace, durant l'après-midi, grâce à l'effet de serre et la convection, l'air chaud monte puis entre via les clapets hauts intérieurs vers l'espace à chauffer. (Voir la figure A 14)

La nuit : l'effet de l'inertie thermique commence, les clapets intérieurs et extérieurs seront fermés pour éviter que l'air s'échappe et refroidir dans la cavités d'air permettant de l'inertie de mur de maintenir la chaleur. (Voir la figure B 14)

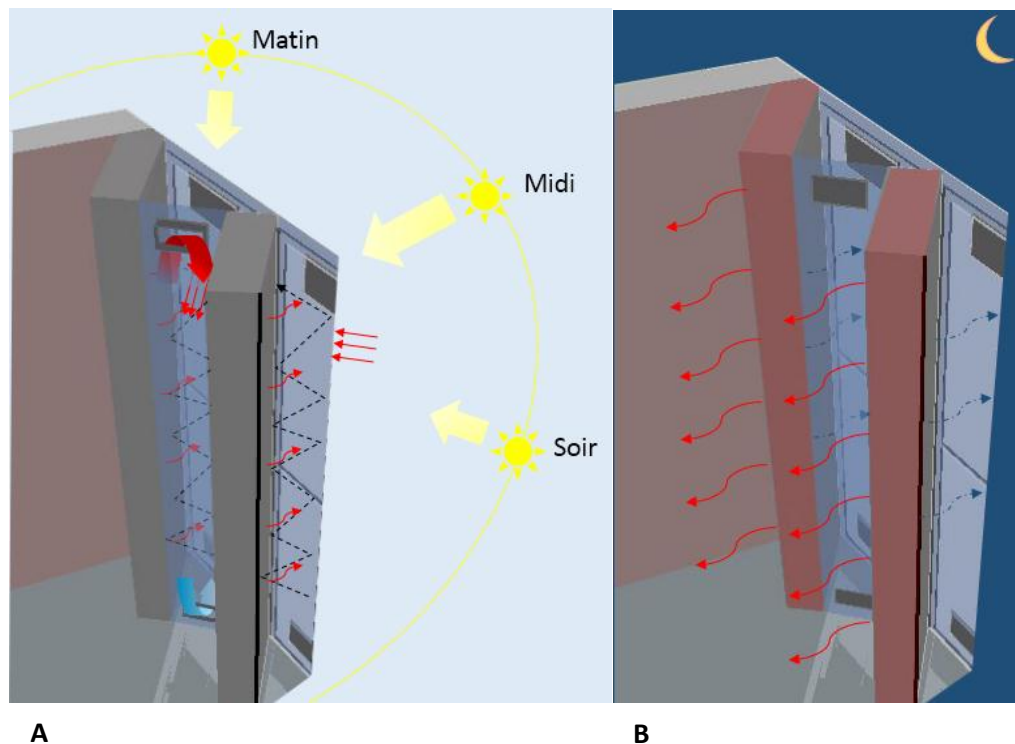


Figure 14 Fonctionnement hivernal de la nouvelle configuration de façade (Jour et nuit). (Auteur)

3.2 Fonctionnement estivale

Une protection solaire est indispensable pour bloquer les rayonnements solaires direct, durant la journée les clapets extérieurs vont être ouverts pour que l'espace ne soit pas en surchauffe (Voir la figure A 15), la nuit par une ventilation nocturne l'air chaud est évacué en ouvrant les clapets intérieurs et extérieurs pour créer un mouvement d'air (Voir la figure B 15).

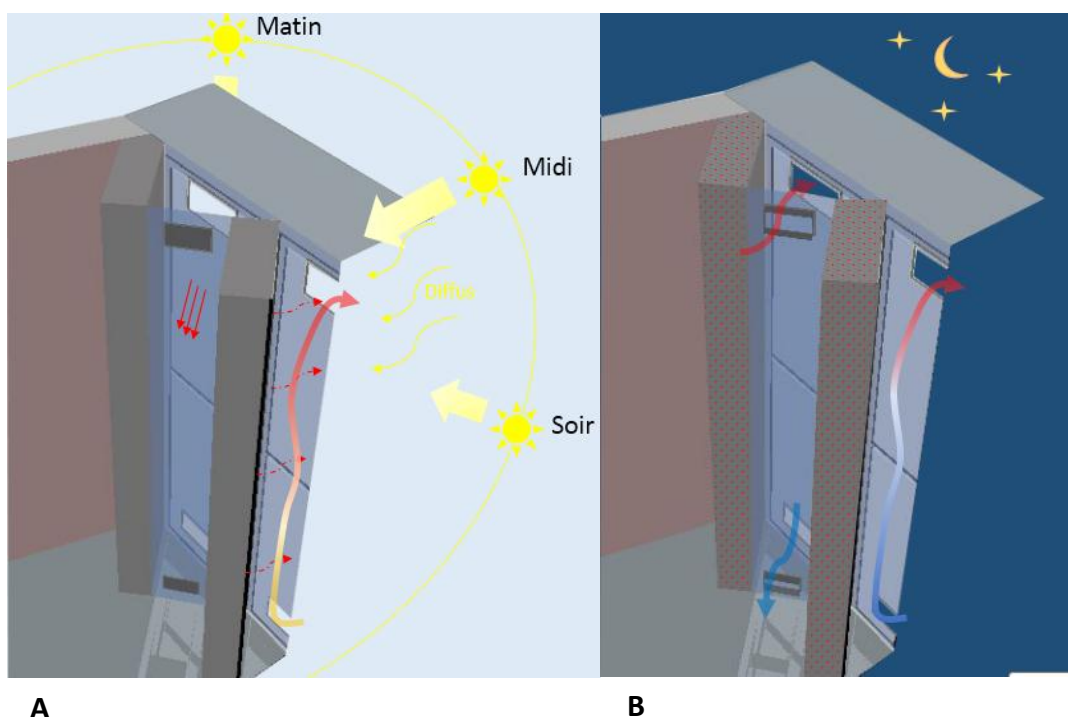


Figure 15 Fonctionnement estival de la nouvelle configuration de façade (Jour et nuit). (Auteur)

III. Méthodologie de travail

Afin de trouver une solution au problème d'utilisation excessive des façades vitrées dans les équipements tertiaires en Algérie et afin de réduire son impact sur le confort thermique et la consommation énergétique, nous avons proposé la nouvelle configuration de façade vitrée qui combine les avantages des systèmes de chauffage solaire passif à apport direct et à apport indirect, cette configuration sera intégrée dans un espace de bureau afin d'évaluer son impact sur l'efficacité énergétique de cet espace adapté dans différents contextes climatiques Algériens.

La méthodologie de travail consiste en une évaluation thermique à travers des simulations thermiques dynamiques à l'aide de logiciel « DesignBuilder », qui ont été faite sur trois types de façades et qui sont comme suit : La façade vitrée conventionnelle adaptée actuellement en Algérie, Le système de mur trombe et La nouvelle configuration proposée lors de cette étude. L'étude de ces trois variantes été faite dans différents contextes climatiques du territoire Algérien, climat méditerranéen, climat semi-aride et le climat aride et qui sont respectivement représenté par les régions suivantes : Alger, El Bayadh et In

Salah. Afin de trouver la configuration optimale de la nouvelle proposition de façade pour chaque zone climatique, une étude paramétrique a été menée.

1. Présentation des outils de travail :

La simulation thermique dynamique a été établie à l'aide des deux logiciels expliqués brièvement ci-après :



1.1 Meteonom

Est un logiciel et une base de données météorologiques, largement utilisée pour des applications dans les domaines de la simulation énergétique. Il fournit des données climatiques et des outils pour générer des fichiers météorologiques spécifiques à un site, adaptés aux besoins de divers projets. La figure (16) illustre l'interface de ce logiciel. [18]

Les données météorologiques insérées au niveau du logiciel Metenorm8, sont celles des stations météorologiques « ALGER, EL BAYADH et In Salah ».

Output



EL BAYADH

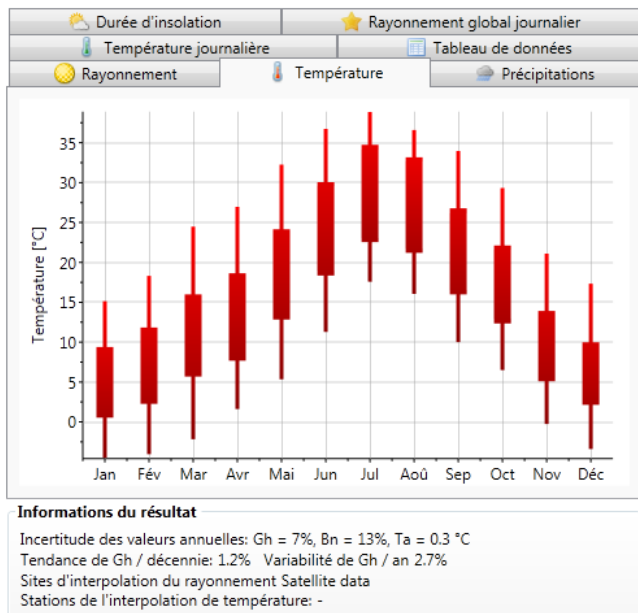


Figure 16 Interface de logiciel meteonom



1.2 DesignBuilder 7.0.2.006

DesignBuilder est logiciel de simulation thermique dynamique. Un environnement de modélisation convivial dans lequel on travaille avec des modèles de bâtiments virtuels. Il fournit une gamme de données sur les performances environnementales telles que : la consommation d'énergie, les émissions de carbone, les conditions de confort, l'éclairage de la lumière du jour, les températures et la taille des composants CVC (chauffage, ventilation et climatisation). [19]

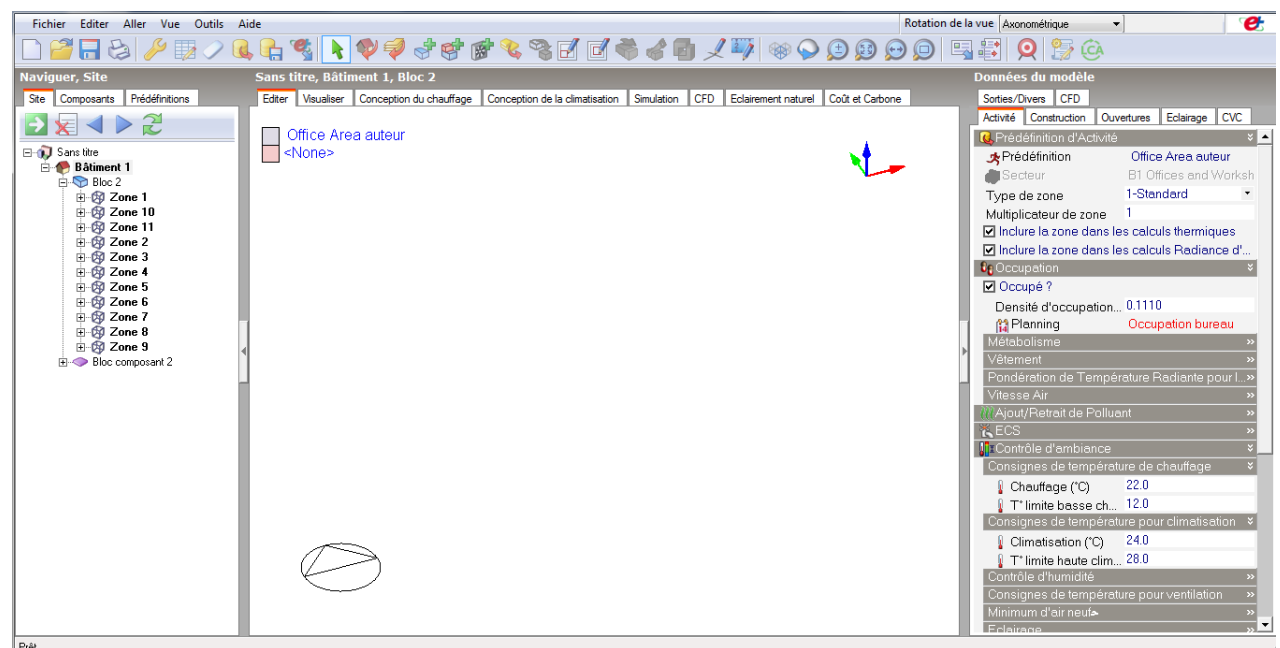


Figure 17 Interface de logiciel DesignBuilder

2. Choix du cas d'étude

Pour voir l'impact de la nouvelle configuration proposée sur l'efficacité énergétique d'un bâtiment nous avons intégré ce système dans un bureau. Ce bureau représente une surface de 70 m², abritant un espace ouvert contenant une salle de réunion, une kitchenette, un bureau séparé et des sanitaires. (Voir la figure 18)



Figure 18 Plan de l'espace de bureau étudié. (Auteur et YAICI Dalia Dahbia)

Le système est intégré le long de la façade sud de 10 m de longueur, 8 éléments de mur capteur, 8 cavités et des volets de ventilation en haut et en bas ont été installés. (Voir la figure 19)





Figure 19 Vue intérieur et extérieur de la façade sud intégrant la nouvelle configuration. (Auteur et YAICI Dalia Dahbia)

3. Le choix des zones climatiques

Selon la réglementation thermique (DTR C3-2/4) [20], l'Algérie compte des zones climatiques hivernale et estivale distinguées :

Classification thermique d'hiver :

Zone (A) : au nord de l'Algérie, incluant la zone côtière ; Zone (B) : au sud de la zone (A), incluant la plaine derrière le bord de mer ; Zone (C) : au sud de la zone (B), incluant les hauts plateaux ; Zone (D) : au sud de l'Algérie, y compris le désert ; et les zones climatiques (B') et (D'), représentant respectivement des sous-zones au sein des zones principales (B) et (D).

Classification thermique d'été :

Zone (A) : le rivage de la mer au nord et les plaines côtières au sud ; Zone (B) : la partie nord des hautes plaines de l'intérieur, incluant deux sous zones, B1 comprend la vallée du Chlef, B2 comprend Guelma ; Zone (C) : les hautes plaines de l'intérieur ; Zone (D) : les différentes régions du nord Saoura chott el Hodna ; Zone (E) : le nord, l'est et le sud-ouest

ainsi l'extrême sud du Sahara, incluant une sous zones E1 le Hoggar et le Tassili ; Zone (F) : la région de Tanezrouft.

Notre choix a porté sur trois régions représentatives des zones climatiques Algériennes :

Table 5 Les zones climatiques choisies et les coordonnées géographiques.

Nom du lieu	Les coordonnées géographiques	Altitude (m)	Zone climatique hivernale	Zone climatique estivale
ALGER	36.6 °N 3.2 °E	25	A	A
EL BAYADH	33.7 °N 1 °E	1341	B	C
IN SALAH	27.2 °N 2.5 °E	268	D	E

Les températures moyennes mensuelles de chaque région sont mentionnées dans le tableaux suivant :

Table 6 Les températures extérieures moyennes mensuelles des trois régions choisies

	Températures moyennes mensuelles (°C)											
	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Alger	10.1	10.9	13.4	15.5	19	23.1	25.8	26.2	23.2	20.1	14.6	11.7
El Bayadh	4.6	6.8	10.7	13.3	18.5	24.7	28.6	27.2	21.6	16.9	9.3	5.8
In Salah	14.1	17.3	22.5	26.2	31.7	36	38.6	37.6	34.1	28.5	20.3	15.5

4. Les différents scénarios de simulation

Notre travail consiste à effectuer trois séries de simulation en changeant la configuration de la façade et le type du climat, afin de faire une évaluation thermique, énergétique et visuel comparative, afin de tester l'efficacité énergétique de la nouvelle configuration et sa capacité d'améliorer le confort thermique et visuel dans les différents contextes climatiques étudiés.

4.1 Evaluation thermique comparative

Scénario 01 : La construction conventionnelle

Cette étape constitue l'étape de référence. Les matériaux utilisés dans cette étape sont les matériaux ordinaires avec des épaisseurs courantes à savoir la brique creuse, plancher à corps creux et le vitrage simple et dont les propriétés thermo-physiques sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

Table 7 Caractéristiques thermo-physique des matériaux utilisés dans le 1er scénario.

Elément	Composition	e (cm)	λ (w/m².K)	ρ (Kg/m³)	c (J/Kg.K)	U(w/m².K)
Mur extérieur	Brique creuse	10	1.12	720	794	1.59
	Lame d'air	05	0.22	1000	1297	
	Brique creuse	15	1.12	720	794	
Cloison	Brique creuse	10	1.12	720	794	2.86
Plancher extérieur	Corps creux	16	4.43	1300	650	1.9
	Dalle de compression	04	6.32	2300	920	
Vitrage	simple	U= 5.718 w/m².K				

De l'extérieur vers l'intérieur

Source : Conçu par l'auteur sur la base des données de DesignBuilder

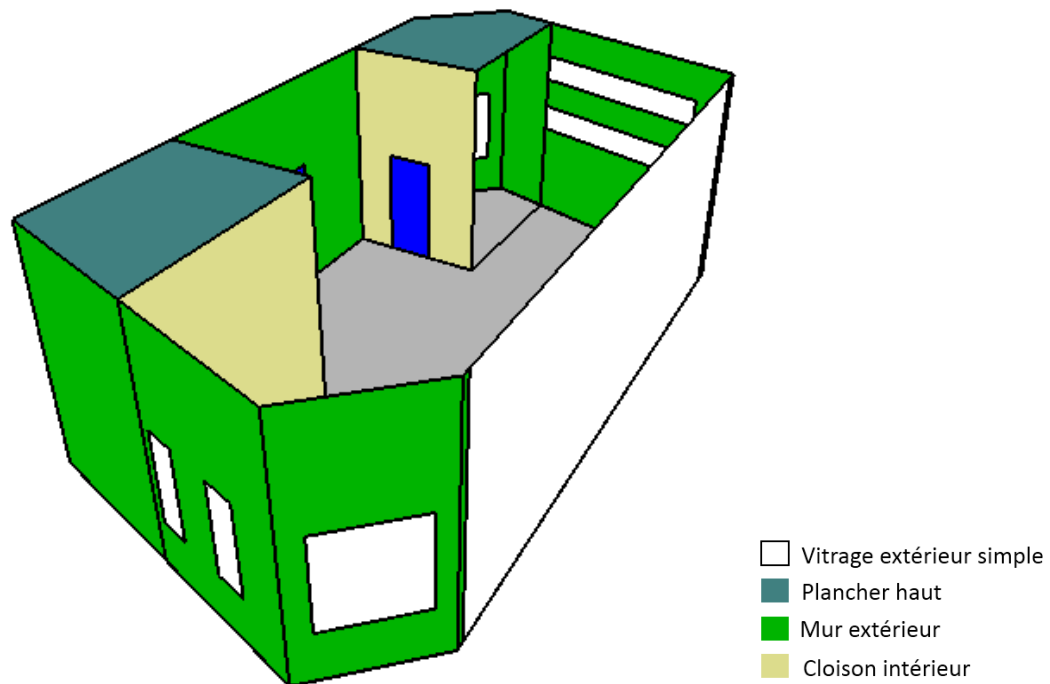


Figure 20 Les différents composants utilisés dans le scénario de la façade conventionnelle. (DesignBuilder, traité par l'auteur)

Scénario 02 : Le mur trombe

Dans ce 2ème scénario, les modifications résident d'une part, dans la modification de matériau de mur extérieur par la brique mono-mur et l'ajout du polystyrène extrudé de 15 cm d'épaisseur comme isolant par l'extérieur dans la toiture. D'autre part, l'usage du béton pour le mur trombe dans la façade sud d'une surface de 38.8 m² (10m × 3.88 m).

Les propriétés thermo-physiques et les épaisseurs des matériaux utilisés sont indiquées dans le tableau ci-après.

Table 8 Caractéristiques thermo-physique des matériaux utilisés dans le 2ème scénario

Elément	Composition	e (cm)	λ (w/m ² .K)	ρ (Kg/m ³)	c (J/Kg.K)	U(w/m ² .K)
Mur extérieur	Brique mono-mur	30	0.08	600	794	0.25
Cloison	Brique creuse	10	1.12	720	794	2.86
Plancher extérieur	XPS	15	0.034	35	1400	0.28
	polystyrène					
	Corps creux	16	4.43	1300	650	
	Dalle de compression	04	6.32	2300	920	
Masse thermique	Béton	10	1.4	2100	840	3.01
Vitrage ext	Double (air)	U= 2.78 w/m ² .K				

De l'extérieur vers l'intérieur

Source : Conçu par l'auteur sur la base des données de DesignBuilder

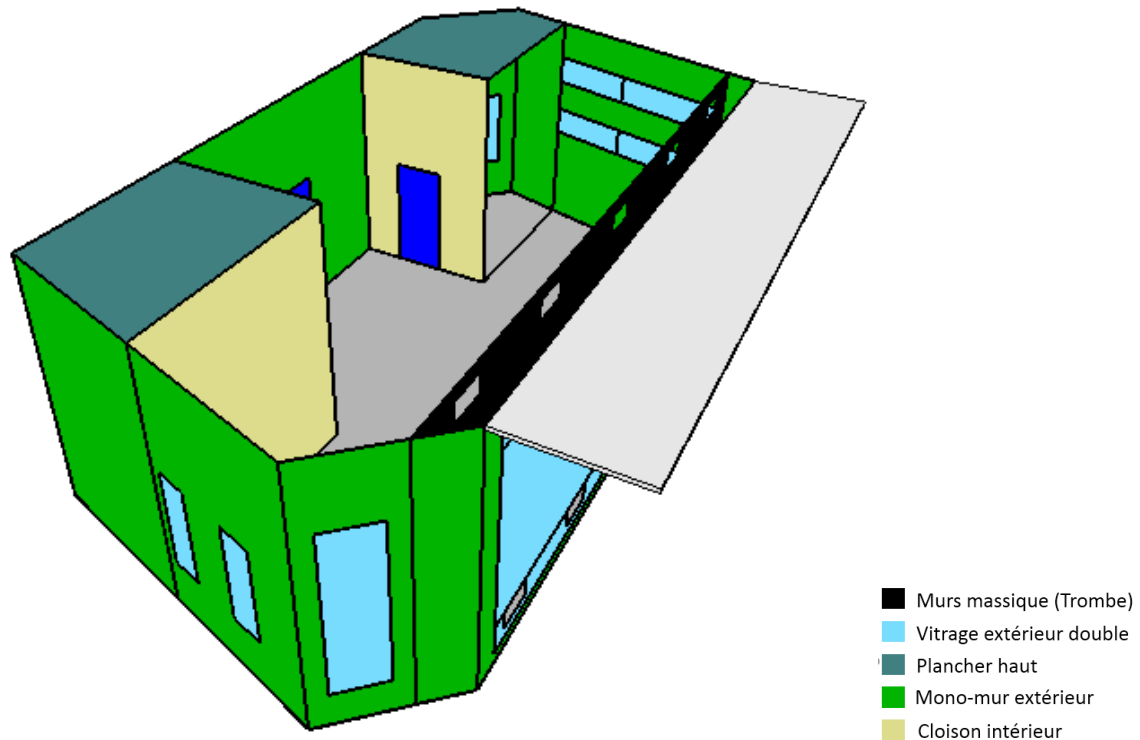


Figure 21 Les différents composants utilisé dans le scénario de Mur Trombe. (DesignBuilder, traité par l'auteur)

Scénario 03 : La nouvelle configuration de façade proposée lors de cette étude

Dans ce 03ième scénario, la modification a été effectuée au niveau de la façade sud où le mur trombe est remplacé par le nouveau système proposé, les morceaux de mur massique en béton, le vitrage intérieur triple et extérieur double.

Les propriétés thermo-physiques et les épaisseurs des matériaux utilisés dans ce scénario sont indiquées dans le tableau suivant.

Table 9 Caractéristiques thermo-physique des matériaux utilisés dans le 3ème scénario

Elément	Composition	e (cm)	λ (w/m ² .K)	ρ (Kg/m ³)	c (J/Kg.K)	U(w/m ² .K)
Masse thermique	Béton	10	1.4	2100	840	3.01
	Adobe	10	0.6	1700	700	2.34
Vitrage	Double (air)	U= 2.78 w/m ² .K				
Vitrage	Triple (air)	U= 2.31 w/m ² .K				

Source : Conçu par l'auteur sur la base des données de DesignBuilder

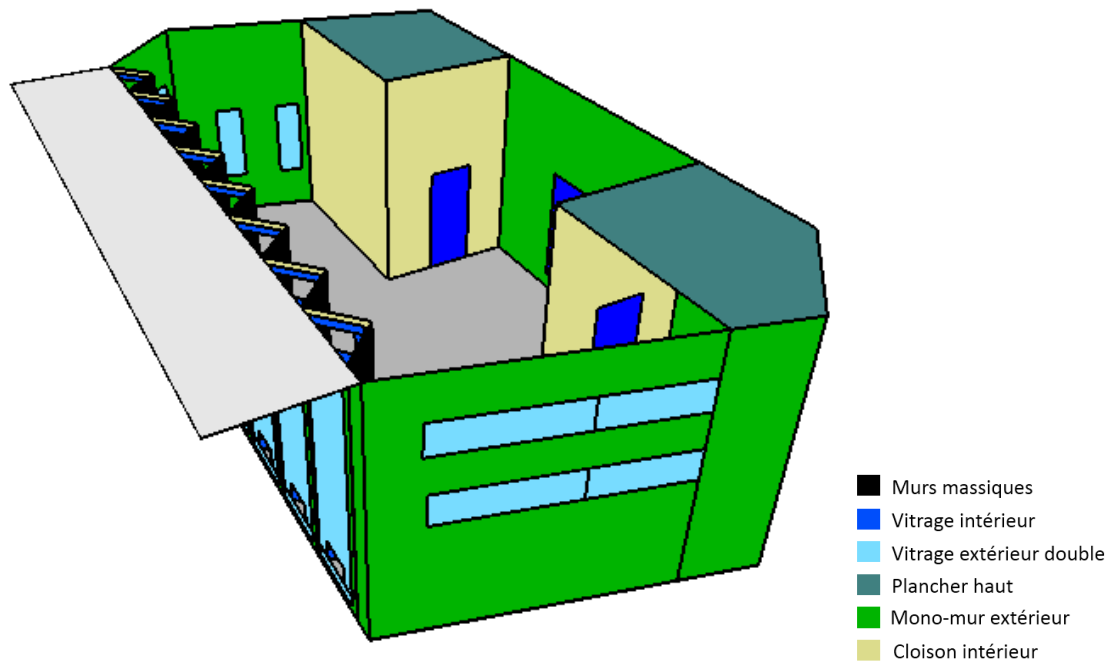


Figure 22 Les différents composants utilisés dans le scénario de la nouvelle façade. (DesignBuilder, traité par l'auteur)

4.2 Evaluation visuelle comparative

En parallèle avec l'étude thermique, nous avons également évalué le confort visuel offert par chaque configuration de façade (la façade conventionnelle, le mur trombe et la nouvelle configuration) afin de déterminer quelle configuration offre le meilleur compromis entre le confort visuel et l'efficacité énergétique.

4.3 Etude paramétrique

A la fin de la comparaison entre les trois types de façades, nous avons effectué une étude paramétrique sur la nouvelle configuration afin d'optimiser sa performance pour qu'elle soit adaptée aux différents types de climat étudiés, divers scénarios ont été testés pour identifier les variables les plus efficaces. Les paramètres modifiés incluent :

- *Orientation des éléments* : modification de l'orientation de morceaux de mur capteur, entraînant un changement de l'orientation des vitrages pour maximiser l'efficacité thermique.
- *Matériaux de constructions* : changement des matériaux pour les murs capteurs tels que l'adobe, afin de tirer parti de leurs propriétés thermiques en termes d'inertie thermique.

- *Configuration de vitrage* : utilisation de différents types de vitrage pour optimiser les gains solaires et minimiser les pertes de chaleur. L'étude a inclus des vitrages simple, double et triple.
- *Protections solaires* : utilisation des brises soleils de différentes dimensions et des protections directes sur la face extérieure des murs capteurs.

Ces scénarios ont été simulés et évalués pour identifier leurs impacts sur le confort thermique des bâtiments dans les climats ciblés.

Dans le chapitre suivant (Résultats et discussions), nous avons présenté les résultats les plus pertinents, notamment le changement de vitrage, l'utilisation de matériaux de construction comme l'adobe et l'ajout de protections solaires.

4.4 Analyse de rentabilité de la nouvelle configuration proposé

Pour évaluer la rentabilité économique de la nouvelle configuration de façade proposée nous avons effectué une comparaison en matière de la consommation énergétique nécessaire pour le chauffage et le refroidissement, les économies réalisées ont été traduites en termes financiers en utilisant les tarifs locaux du gaz et d'électricité.

CHAPITRE III

RESULTAT

ET

DISCUSSIONS

Introduction

Ce chapitre présente les résultats d'une étude paramétrique et comparative à l'aide d'un outil de simulation thermique dynamique DesignBuilder, qui ont été menées pour évaluer les performances thermiques et visuelles de différentes configurations de façades proposées et qui ont été adaptées dans trois régions climatiquement distinctes d'Algérie : Alger, El Bayadh, et In Salah. L'objectif principal de cette recherche est de déterminer les paramètres, les plus efficaces pour optimiser la performance de la nouvelle configuration de façade et de comparer cette dernière avec les configurations conventionnelles et mur trombe afin de tester et évaluer son efficacité.

La première partie du chapitre se concentre sur une étude comparative des trois configurations de façades : la façade vitrée conventionnelle, le mur trombe, et la nouvelle configuration proposée. Nous évaluons leurs performances en termes de confort thermique et de confort visuel. Le confort thermique est analysé à travers des indicateurs tels que la température opérative, le vote moyen prévu (PMV), et le pourcentage de personnes insatisfaites (PPD), tandis que le confort visuel est évalué en termes de qualité de l'éclairage naturel, essentiel pour le bien-être et la productivité des occupants.

Dans la deuxième partie, nous analysons les résultats de l'étude paramétrique, qui incluent des variables comme : types de vitrage, matériaux de construction et épaisseur, tout en tenant compte de l'impact de la protection solaire dans les différentes régions. Cette analyse permet d'identifier les meilleures pratiques pour améliorer la performance de la nouvelle configuration de façade.

En combinant ces trois approches, nous visons à fournir une compréhension complète des avantages et des limitations de chaque configuration de façade.

I. Etude comparative

1. Confort thermique

Les graphiques suivant montrent une comparaison des variations de la température opérative (en °C) le PMV (varie de -3(très froid) à +3 (très chaud), avec 0 représentant une condition de confort thermique optimal) et le PPD (le pourcentage de personnes insatisfaites par les conditions thermiques) pour les trois configurations de façade (Conventionnelle-mur trombe-la nouvelle configuration) tout au long de l'année des trois régions (Alger – El Bayadh –In Salah)

1.1.Température opérative

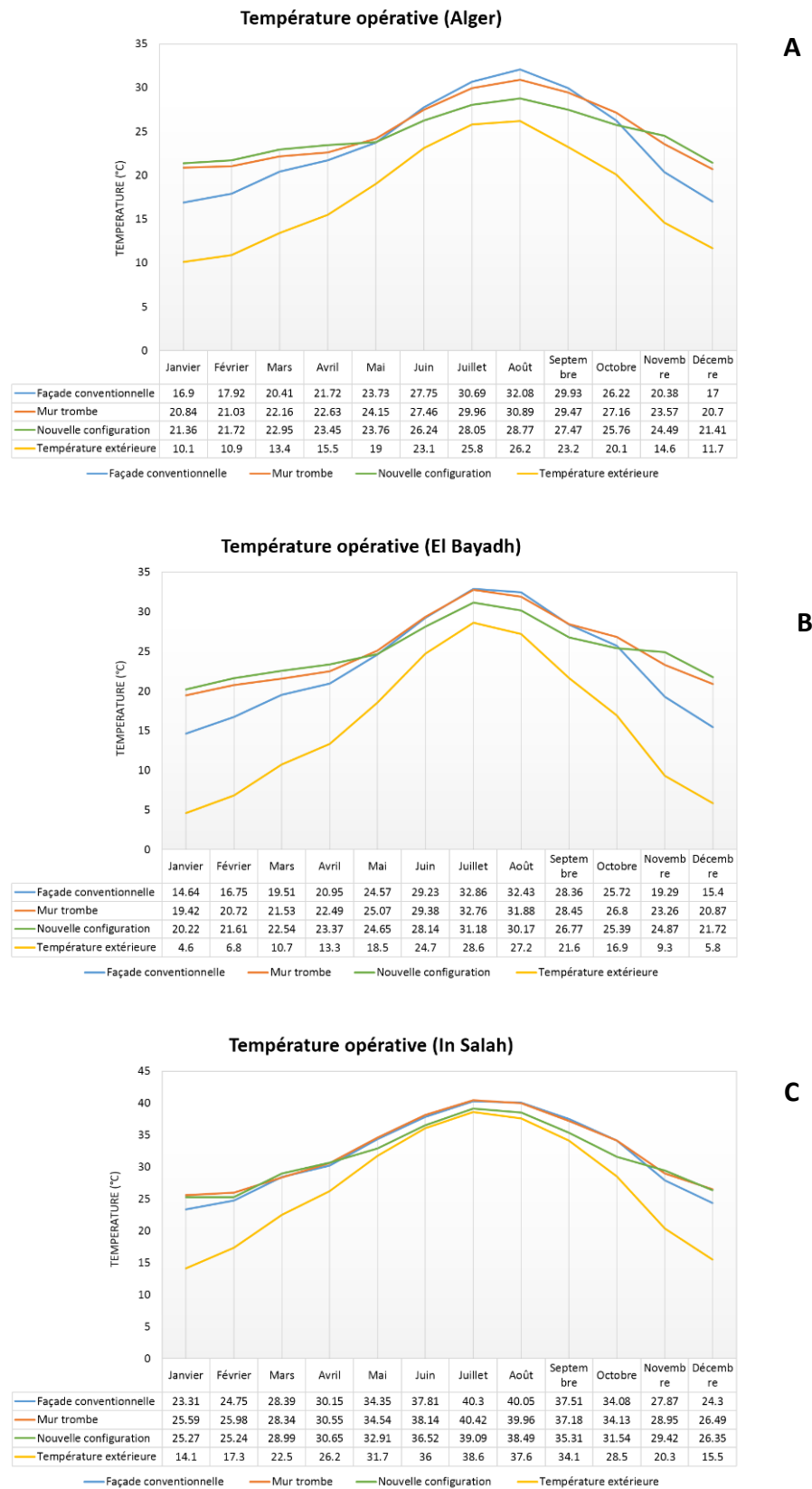


Figure 23 Evolution des températures opérative mensuelle des différents configurations de façades.
A : Alger ; B : El Bayadh ; C : In Salah

Dans les trois graphes présentés dans la figure (23), on remarque les tendances suivantes :

Le trait de la façade conventionnelle (vitrée) suit le trait des variations de températures extérieures par des lignes presque parallèles, ce qui veut dire que dans les trois régions la façade conventionnelle est inconfortable en hiver comme en été avec des températures variant de :

Alger : entre 16.9°C et 32.08°C avec une différence de température de 6°C par rapport à la température extérieure.

El Bayadh : varie de 14.46°C à 32.86°C, avec une différence de 10°C en hiver et 4°C en été par rapport à l'extérieur.

In Salah : entre 23.31°C et 40.3°C, avec un ΔT par rapport à l'extérieur de 9°C en hiver et 2°C en été.

Cela est à cause de la mauvaise isolation thermique de cette façade ce qui la rend la moins efficace parmi les trois.

L'intégration de mur trombe à améliorer les températures par rapport à la façade conventionnelle (Voir la figure B 23), les températures varient :

Alger : entre 20.84°C et 30.89°C, avec un ΔT de 4°C en hiver et de 2°C en été par rapport à la façade conventionnelle.

El Bayadh : les températures varient de 19.42°C à 31.88°C, et un ΔT de 5°C en hiver et de 1°C en été par rapport à la façade conventionnelle.

In Salah : les températures varient de 25.59°C à 40.42°C, avec un ΔT de 2°C en hiver et aucun changement en été ($\Delta T=0^\circ$).

Cela montre une amélioration notable du confort hivernal et une réduction limitée de la surchauffe estivale.

La nouvelle configuration de façade montre les températures les plus stables et confortables parmi les trois configurations étudiées où on remarque une légère amélioration par rapport au mur trombe (Voir la figure 23) avec des températures variant de :

Alger : entre 21.36°C et 28.77°C, avec un ΔT de 1°C en hiver et de 2°C en été par rapport au mur trombe.

El Bayadh : entre 20.22°C et 31.18°C avec un ΔT 1°C en hiver et en été par rapport au mur trombe.

In Salah : varient de 25.27°C à 39.09°C, et un ΔT de 1°C en été par rapport au mur trombe.

Cela rendre la nouvelle façade la plus efficace en terme de confort thermique hivernale et la réduction de la surchauffe estivale, grâce au captage direct des rayonnements solaires et à la masse thermique des morceaux de murs capteurs, sachant que à In Salah le confort estival n'est pas atteint par les trois configurations ce qui nécessite des stratégies avancées de régulations thermiques supplémentaires pour améliorer le confort thermique.

Le tableau suivant récapitule les résultats de températures opératives obtenus, représente la différence entre la température extérieure et la température de confort de chaque configuration de façade dans les trois régions.

Table 10 Les différences de températures entre l'extérieur et les différentes façades étudiées

Variante	ALGER		EL BAYADH		IN SALAH	
	Hiver	Eté	Hiver	Eté	Hiver	Eté
T extérieures (°C)	10.1	26.2	4.6	28.6	14.1	38.6
ΔT Façade conventionnelle (°C)	6	6	10	4	9	2
ΔT Mur Trombe (°C)	10	4	15	4	11	2
ΔT Nouvelle Façade (°C)	11	2	16	3	11	1

1.2.Predicted Mean Vote (PMV)

La figures (24) montrent une comparaison de l'indice de confort thermique PMV entre les trois types de façades appliquées, nous remarquons que :

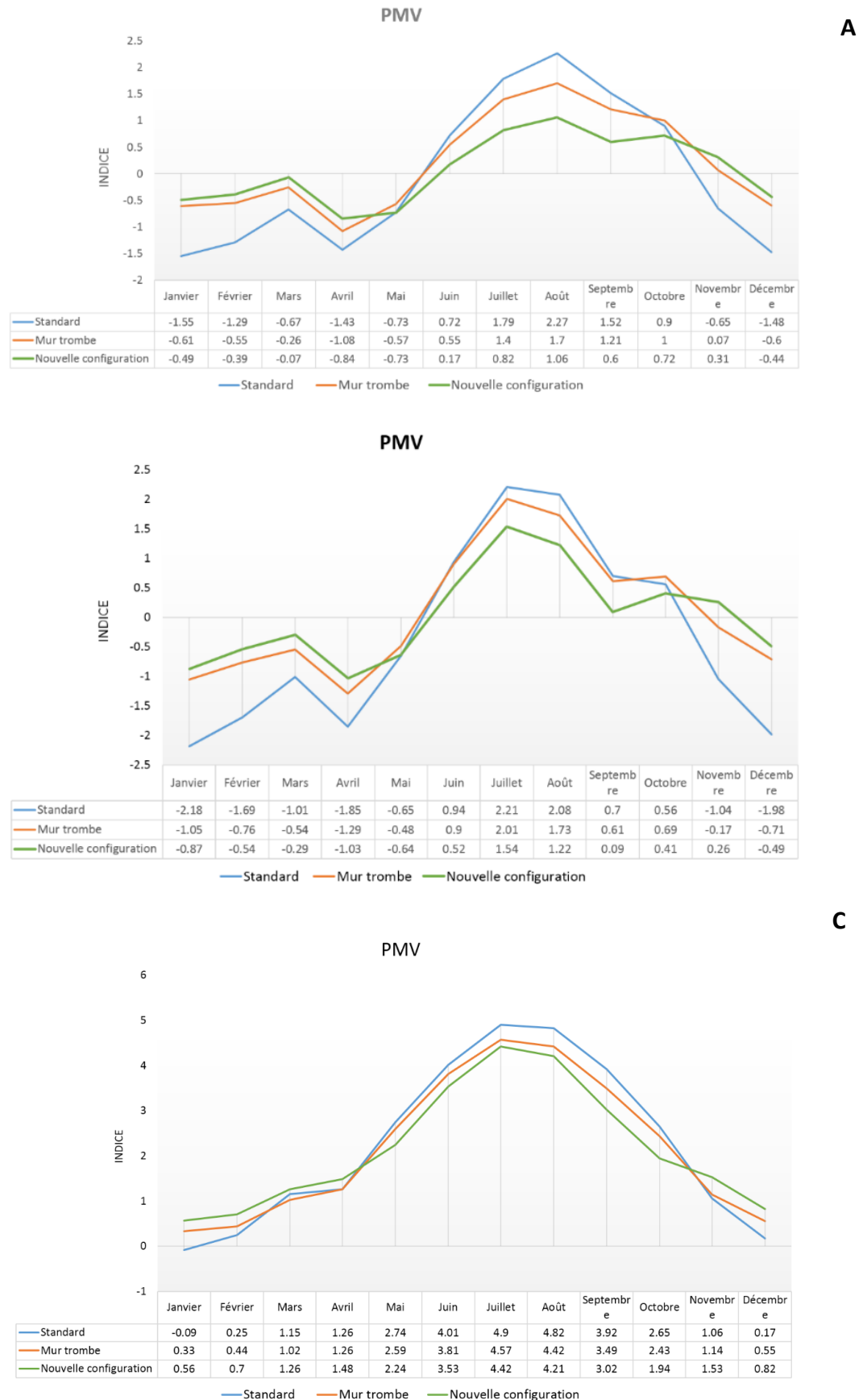


Figure 24 Comparaison entre les PMV des différents configurations de façades. A : Alger ; B : El Bayadh ; C : In Salah.

Comme les graphiques de la température opérative ont montré, le PMV de la configuration standard (conventionnelle) montre des valeurs variant de -1.55 en hiver et 2.27 en été à Alger et -2.18 en hiver et 2.21 en été à El Bayadh, indiquant un inconfort thermique prononcé. A In Salah les valeurs sont entre -0.09 en hiver et 4.9 en été, révélant un confort thermique en hiver et un inconfort majeur en été.

Tandis que le mur trombe améliore le confort thermique d'une façon significative par rapport à celui de la configuration conventionnelle, de ce fait les valeurs PMV devenues : à Alger, en hiver -0.61 et en été 1.7 réduisant l'inconfort thermique d'une unité d'indice, à El Bayadh, varie entre -1.05 en hiver à 2.01 en été, montrant une amélioration notable de confort particulièrement en hiver, et à In Salah les valeurs sont entre -0.33 et 4.57, ce qui préserve le confort en hiver bien que l'effet en été reste limité.

La nouvelle configuration maintient les meilleures conditions de confort, réduisant significativement l'inconfort par rapport à la façade conventionnelle et améliore le confort par rapport au mur trombe et présente les valeurs suivantes : entre -0.49 en hiver et 1.06 en été à Alger, entre -0.87 en hiver et 1.54 en été à El Bayadh et enfin à In Salah les valeurs sont entre 0.56 en hiver et 4.42 en été indiquant aussi une surchauffe estivale.

Le tableau suivant résume les variations de PMV entre l'hiver et l'été dans les trois régions de différentes configurations de façade

Table 11 Les variations de PMV des trois configurations de façades étudiées

Variables	ALGER		EL BAYADH		IN SALAH	
	Hiver	Eté	Hiver	Eté	Hiver	Eté
Façade conventionnelle	-1.55	2.27	-2.18	2.21	-0.09	4.9
Mur trombe	-0.61	1.7	-1.05	2.01	0.33	4.57
Nouvelle façade	-0.49	1.06	-0.87	1.54	0.56	4.42

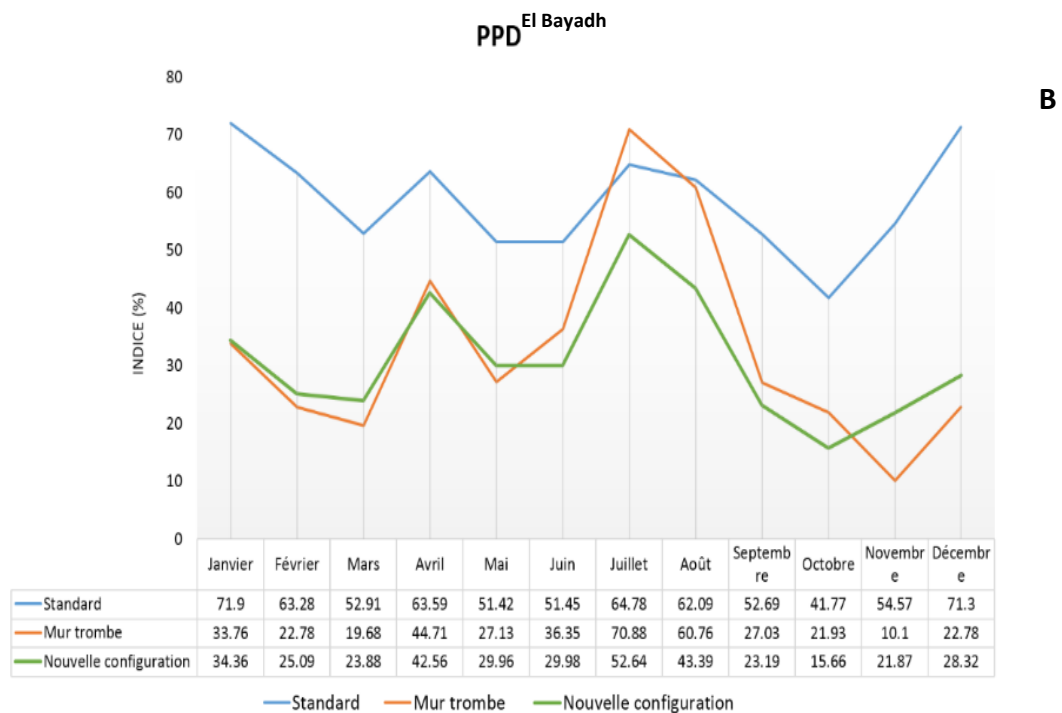
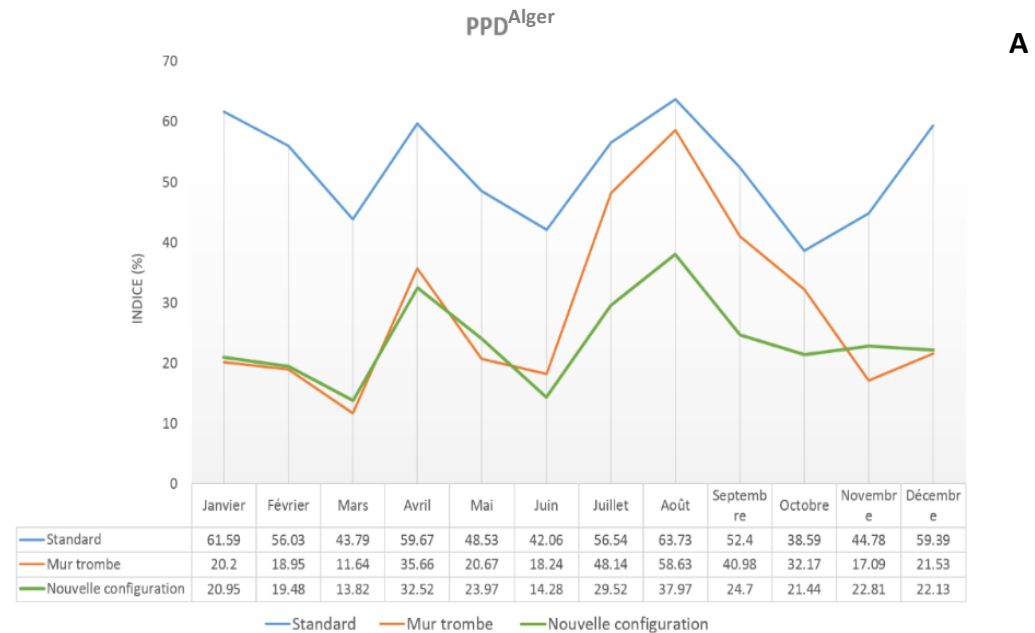
En résumé, la nouvelle configuration offre les meilleures performances globales en réduisant l'inconfort thermique sur tout à Alger et El Bayadh.

Remarque :

Il est crucial de noter que les valeurs PMV théoriques varient entre -3 et +3, représentent les extrêmes de l'inconfort thermique. Cependant, dans le cas d'In Salah, les valeurs PMV fournies par le logiciel « DesignBuilder » dépassent cette plage, atteignant des valeurs de 4.9, 4.57 et 4.42. Cela indique une anomalie, suggérant que l'équation de PMV utilisée par

le logiciel peut produire des valeurs erronées, surtout dans les conditions climatiques extrêmes. Cette anomalie doit être prise en compte lors de l'interprétation des résultats.

1.3. Percentage of people dissatisfied (PPD)



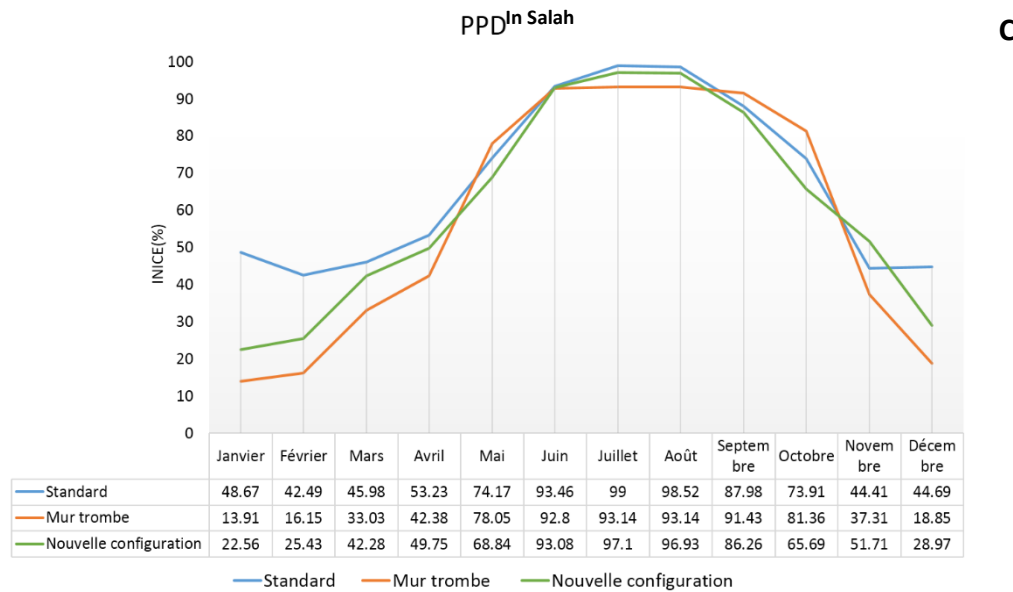


Figure 25 Comparaison entre les PPD des différentes configurations de façades.
A : Alger ; B : El Bayadh ; C : In Salah.

La figure (25) représente le PPD des trois configurations de façade dans différentes zones climatiques.

La configuration standard (conventionnelle) affiche les pourcentages les plus élevés de personnes insatisfaites, le mur trombe diminue le PPD par rapport à la configuration conventionnelle. En hiver une réduction de 41.39% à Alger, 38.14 % à El Bayadh et 34.76% à In Salah ce qui représente une amélioration significative par rapport à la façade conventionnelle. En été les réductions sont 5% à Alger, tandis que à El Bayadh la valeur augmente de 6 % par rapport à la façade conventionnelle et pour In Salah le PPD montre une amélioration notable de 13.91% réduit l'insatisfaction mais reste très élevé (93.14%).

La nouvelle configuration montre les plus faibles pourcentages de personnes insatisfaites, où à Alger le PPD est de 20.95 % en hiver similaire au mur trombe et 37.97% en été, à El Bayadh les valeurs sont 34.36% en hiver et 52.64 % en été et à In Salah les pourcentages sont meilleure que la façade conventionnelle (22.56% en hiver et 97.1% en été) mais toujours inconfortable en été.

Table 12 Les variations de PPD des trois configurations de façades étudiées

Variables	ALGER		EL BAYADH		IN SALAH	
	Hiver	Eté	Hiver	Eté	Hiver	Eté
Façade conventionnelle (%)	61.59	63.73	71.9	64.78	48.67	99
Mur trombe (%)	20.2	58.63	33.76	70.88	13.91	93.14
Nouvelle façade (%)	20.95	37.97	34.36	52.64	22.56	97.1

D'après la figure 25 et le tableau 12 la nouvelle configuration est la plus performante à Alger et El Bayad, réduisant significativement le pourcentage de personnes insatisfaites. À In Salah, bien que des améliorations soient notées, le confort thermique reste insuffisant.

Conclusion de l'étude comparative de confort thermique

La configuration conventionnelle (standard) montre un inconfort thermique significatif dans les trois régions étudiées (Alger, El Bayadh, In Salah) en raison de la mauvaise isolation thermique du vitrage simple. En été, ce vitrage laisse entrer une grande quantité de chaleur, augmentant la température intérieure et la demande en climatisation, tandis qu'en hiver, il permet à la chaleur intérieure de s'échapper, nécessitant plus de chauffage.

Le mur trombe améliore le confort thermique par rapport à la configuration conventionnelle grâce à sa capacité à stocker la chaleur pendant la journée et à la libérer progressivement la nuit, cette régularisation des variations de température conduit à des températures plus stables et plus confortables, et sa masse thermique épaisse agit comme un isolant, réduisant les pertes de chaleur pendant les périodes plus froides.

La nouvelle configuration est la plus efficace à Alger et El Bayadh grâce à l'optimisation du captage solaire et au stockage et à la libération de la chaleur. Le mur massif orienté à 45°C vers l'ouest capte efficacement la chaleur pendant l'après-midi, et le mur vitré orienté vers l'est capte le rayonnement solaire dès le matin. Le mur massif stocke l'énergie thermique avec une surface de captage réduite par rapport au mur trombe, et l'espace tampon entre les murs internes et la façade vitrée améliore l'isolation thermique et la répartition de la chaleur. Ces caractéristiques permettent de maintenir une température intérieure stable et confortable, surpassant les configurations standard et mur trombe.

Cependant, la nouvelle configuration n'est pas efficace à In Salah en raison des conditions climatiques extrêmes. Le manque d'adaptation au climat désertique, l'effet combiné de gain

direct et indirect est non optimisé, l'accumulation excessive de chaleur et l'efficacité limitée des protections solaires entraînent une surchauffe. Les températures élevées dépassent la capacité de dissipation thermique du système, rendant cette configuration insuffisante pour un confort optimal à In Salah, mais elle reste mieux que la configuration conventionnelle.

2. Confort visuel

L'analyse du confort visuel dans les espaces intérieurs est essentielle pour garantir un environnement agréable et fonctionnel pour les occupants. Le confort visuel dépend de divers facteurs, dont la qualité et la quantité de la lumière naturelle et artificielle. Une bonne conception de l'éclairage peut améliorer la productivité, le bien-être et la satisfaction des utilisateurs. Cette étude se concentre sur l'évaluation des niveaux d'éclairement de la façade conventionnelle vitrée et le mur trombe et la nouvelle façade. L'objectif est de comprendre comment ces différentes configurations influencent la distribution de la lumière naturelle et d'identifier les ajustements nécessaires pour optimiser le confort visuel.

Selon l'article R.232-7 du code du travail français pour les locaux particuliers et les zones de travail, un espace de bureau nécessite en minimum un éclairement de 200 Lux et maximum 500 Lux. [21]

2.1.La façade conventionnelle

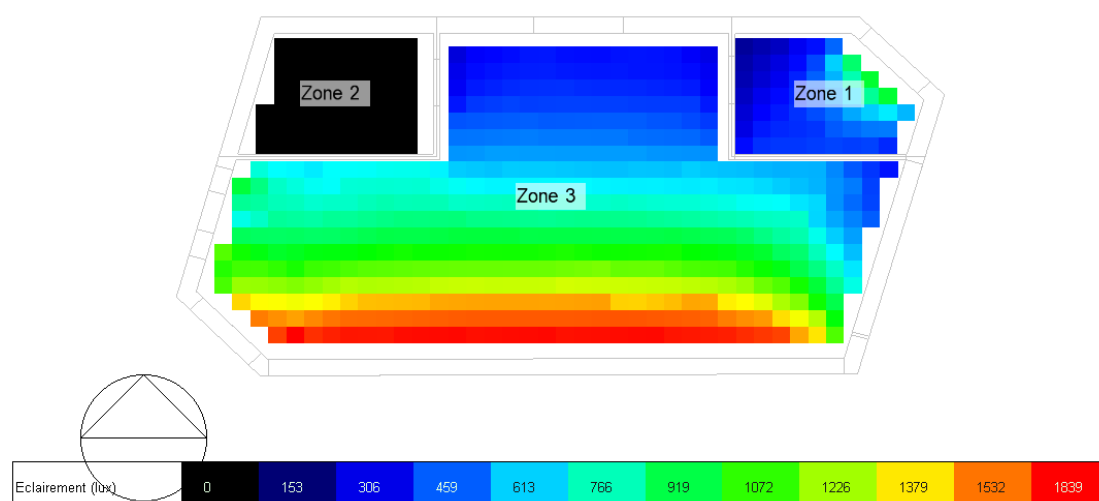


Figure 26 La cartes de distribution de la lumière naturelle pour la façade conventionnelle

La carte de distribution de la lumière pour la façade conventionnelle (Figure 26) montre une distribution graduelle de l'éclairement, augmente progressivement en se rapprochant du vitrage, le niveau d'éclairement à côté du vitrage est très élevé (1800 lux) et peut causer de l'éblouissement s'il n'est pas correctement gérés, et à l'intérieur de l'espace l'éclairement est 900 lux et donc l'espace est très lumineux. En référent au code de travail français ce taux d'éclairement est inconfortable, créant un environnement visuel vibrant.

2.2.Le mur trombe

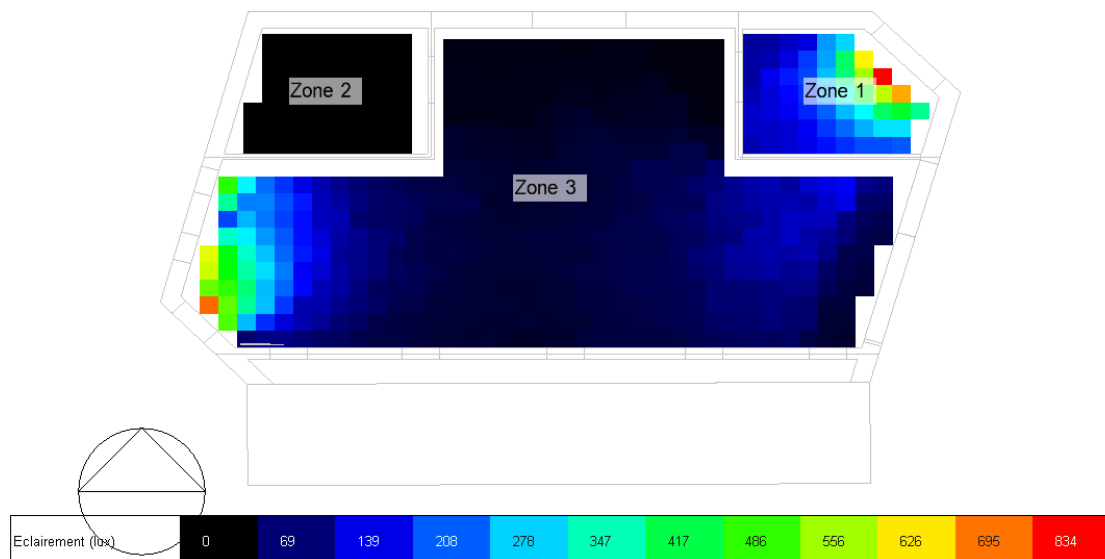


Figure 27 La cartes de distribution de la lumière naturelle pour le mur trombe

La figure 27 montre que l'utilisation de mur trombe empêche la pénétration de la lumière naturelle, résultant des niveaux d'éclairement très faibles (69 Lux au centre de l'espace). Pour optimiser le confort visuel, il est nécessaire de compléter l'éclairage naturel par de l'éclairage artificiel.

2.3. La nouvelle configuration de façade

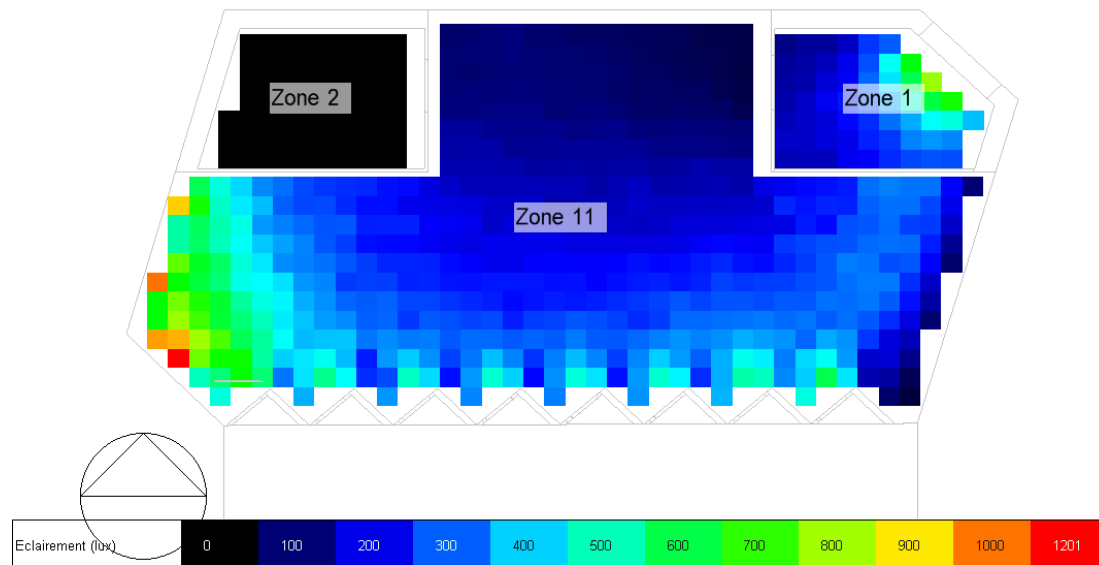


Figure 28 La carte de distribution de la lumière naturelle pour la nouvelle configuration de façade.

Bien que la nouvelle configuration qui est une combinaison entre le système à gain direct (fenêtre) et à gain indirect (mur capteur) offre un éclairage moins important que la façade vitrée, et plus important que ce de mur trombe, avec un niveau d'éclairement à côté du vitrage 500 Lux et au centre de l'espace 200 Lux, ce qui est conforme au code de travail français. (Voir la figure 28)

Cette nouvelle façade assure à la fois le confort thermique et le confort visuel.

II. Etude paramétrique

1. Influence du type de vitrage

Les visualisations graphiques suivantes représentent l'évolution des températures opératives moyennes intérieures mensuelles pour la nouvelle configuration avec des types de vitrages différents dans les trois régions étudiées.

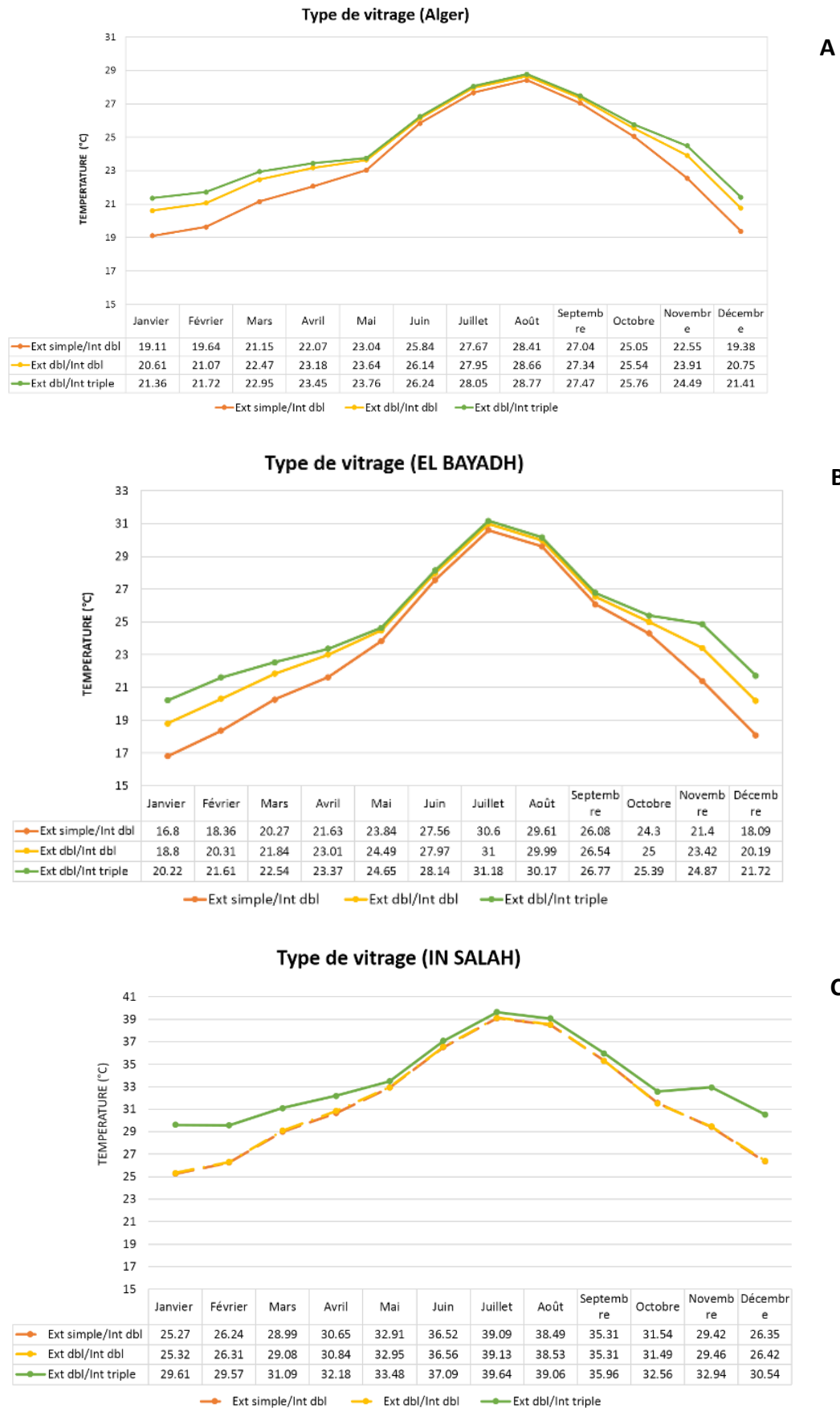


Figure 29 Les variations de température intérieure selon le type de vitrage intérieur et extérieur dans la nouvelle configuration. A : Alger ; B : El Bayadh ; C : In Salah.

La figure (29) montre que à Alger, la combinaison Extérieur Double avec Intérieur Triple maintient les températures les plus élevées en hiver (en janvier 21.36°C), avec une amélioration de 1°C par rapport à la combinaison extérieure double et intérieure double et de 2°C par rapport à la combinaison extérieure simple et intérieure double, indiquant une bonne isolation thermique, mais les différences entre les configurations se réduisent en été, où toutes les combinaisons montrent des températures similaires (28°C) ce qui rend cette combinaison la plus efficace offrant une isolation optimale en hiver et des températures intérieures confortables en été.

À El Bayadh, la même combinaison Extérieur Double avec Intérieur Triple offre les températures les plus élevées en hiver (20.22°C), suggérant une bonne isolation thermique, et en été, les températures sont similaires à celles de la combinaison extérieure double et intérieure double (Juillet 31°C), et donc on peut dire que la configuration extérieur double avec intérieur triple est la meilleure option, car elle assure une isolation thermique supérieur en hiver et une gestion efficace des gains solaires en été, maintien des températures intérieures plus stable et confortable.

À In Salah, toutes les combinaisons montrent des températures élevées en été (Juillet 39°C), avec la combinaison Extérieur simple avec Intérieur double et extérieure double avec intérieure double montre des températures hivernale confortable (25°C) (voir figure), malgré que ces deux combinaisons semblent les plus efficaces entre les trois, elles restent inconfortables. Le simple vitrage extérieur, tout en permettant une certaine transmission solaire, semble suffisant pour ventiler et éviter l'accumulation excessive de chaleur intérieure, malgré cette gestion passive de la chaleur cette configuration ne limite pas la surchauffe estivale ce qui est crucial dans un climat aride et chaud comme celui de In Salah.

2. Influence de changement de matériaux et épaisseurs

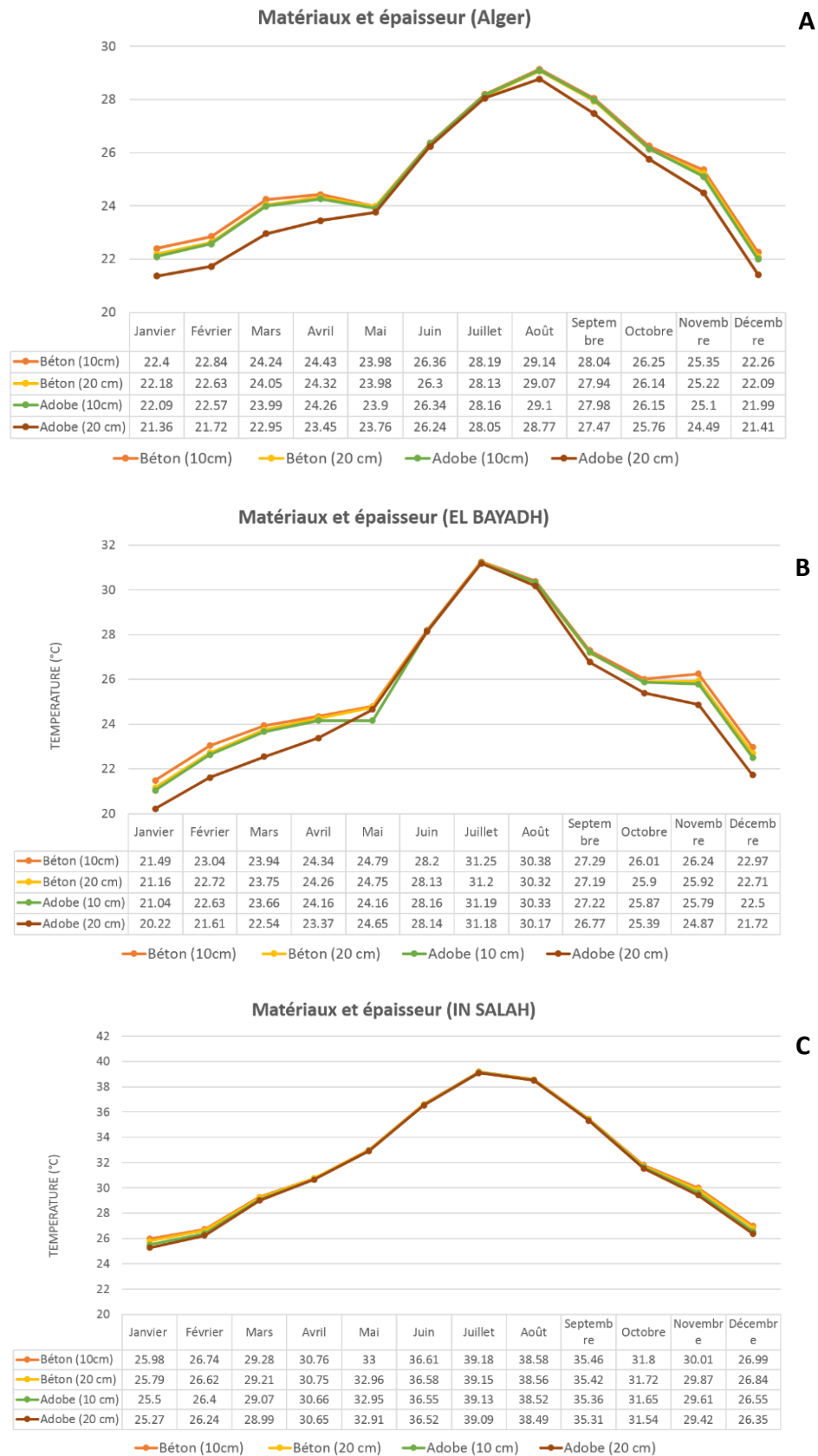


Figure 30 Les variations de température intérieure selon le matériaux de constructions et l'épaisseurs dans la nouvelle configuration. A : Alger ; B : El Bayadh ; C : In Salah.

Les visualisations graphiques (Figure 30) représentent l'évolution des températures opératives moyennes mensuelles intérieures pour la nouvelle configuration avec des matériaux et des épaisseurs différentes dans les trois régions étudiées.

À Alger, la figure montre que les températures varient de 21°C à 28°C pour l'Adobe de 20cm et les autres configuration présente une capacité similaire à maintenir des températures hivernale et estivale confortables (22°C et 29°C), ce qui rendre l'adobe 20cm la meilleure option qui a assurer le confort hivernale et réduire la surchauffe estivale par rapport aux autres configuration par une différence de 1°C . El Bayadh, l'adobe de 20cm montre une température inférieur de 1°C par rapport aux autres configurations en hiver, et en été présente des température similaires aux autres (31°C), et donc les trois propositions sont efficaces (Adobe 10cm, Béton 10cm et 20cm) bien que l'adobe soit préférable du point de vue environnemental. En revanche, In Salah, avec ses températures extrêmes allant de 25°C à 39°C , montre que les deux matériaux avec ces deux épaisseurs présentent des températures similaires et une tendance à la surchauffe en été, soulignant les défis posés par le climat local.

3. Influence de la protection solaire

3.1. Calcul de la dimension de la protection solaire

Afin de protéger la façade sud de rayonnement solaire direct dans les trois régions étudiée, la mise en place d'un système de protection solaire est indispensable.

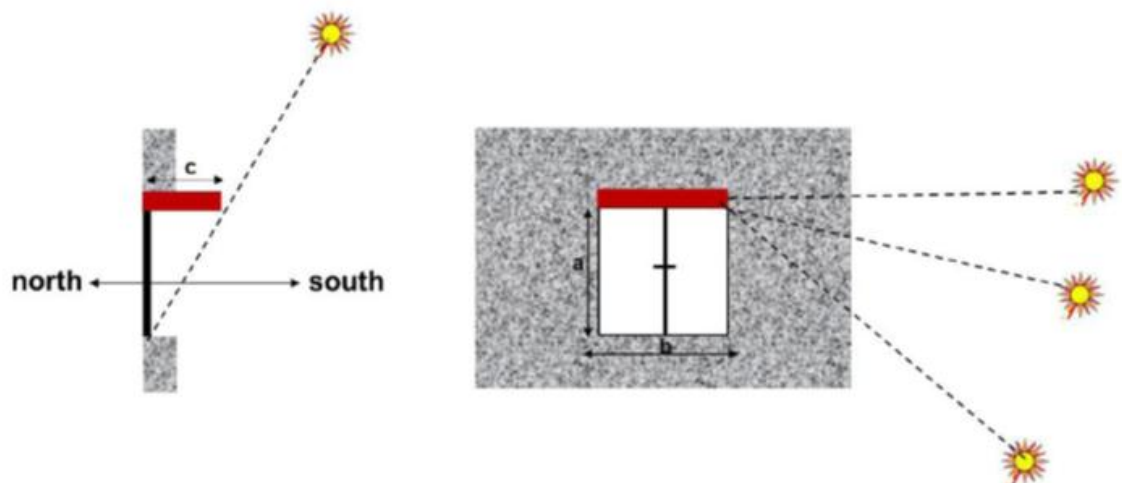


Figure 31 Schéma explicatif pour le calcul des protections solaires

Le logiciel utilisé pour le calcul : Excel

Les équations utilisées :

$$\delta = 23.45 \sin(360(284+n/365))$$

$$\omega = (T-12)*360/24$$

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta$$

$$\alpha = \sin^{-1}[\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega]$$

$$\gamma_s = \text{sign}(\omega) | \cos^{-1}(\cos \theta_z \sin \phi - \sin \delta) / (\sin \theta_z \cos \phi) |$$

ALGER

La journée de calcul est le 1 mai : une fenêtre orientée plein sud de dimension 4.08×10 m , $\Phi = 36.6^\circ$ N (latitude), nombre de jour N= 135j

L'angle horaire 9h : $\omega = (9-12) \times 15$, $\omega = -45^\circ$

$$\delta = 23.45 \sin(360(284+n/365)) = 14.8^\circ$$

$$\alpha = \sin^{-1}[\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega] = 44.58^\circ$$

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta = 0.658 \rightarrow \theta_z = 45.48^\circ$$

$$\gamma_s = \text{sign}(\omega) | \cos^{-1}(\cos \theta_z \sin \phi - \sin \delta) / (\sin \theta_z \cos \phi) | \rightarrow \gamma_s = -73.54^\circ$$

Orienté plein sud, donc : $\gamma = 0$

Profile angle α_p :

$$\tan \alpha_p = \tan(44.58) / \cos(-73.54) = 3.47$$

$$\text{Calcul de la dimension c: } c = a / \tan(\alpha_p) \rightarrow \mathbf{c = 1.17 \text{ m}}$$

EL BAYADH

La journée de calcul est le 1 Mai : une fenêtre orientée plein sud de dimension 4.08×10 m , $\Phi = 33.7^\circ$ N (latitude), nombre de jour N= 121j

L'angle horaire 9h : $\omega = (9-12) \times 15$, $\omega = -45^\circ$

$$\delta = 23.45 \sin(360(284+n/365)) = 14.8^\circ$$

$$\alpha = \sin^{-1}[\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega] = 45.33^\circ$$

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta = 0.658 \rightarrow \theta_z = 44.72^\circ$$

$$\gamma_s = \text{sign}(\omega) \mid \cos^{-1}(\cos \theta_z \sin \phi - \sin \delta) / (\sin \theta_z \cos \phi) \mid \rightarrow \gamma_s = -76.33^\circ$$

Orienté plein sud, donc : $\gamma=0$

Profile angle α_p :

$$\tan \alpha_p = \tan(45.33) / \cos(-76.33) = 4.28$$

$$\text{Calcul de la dimension c: } c = a / \tan(\alpha_p) \rightarrow \mathbf{c = 0.95 \text{ m}}$$

IN SALAH

La journée de calcul est le 15 Avril : une fenêtre orientée plein sud de dimension 4.08×10 m , $\Phi = 27.2^\circ$ N (latitude), nombre de jour $N = 80j$

L'angle horaire 9h : $\omega = (9-12) \times 15$, $\omega = -45^\circ$

$$\delta = 23.45 \sin(360(284+n/365)) = 9.3^\circ$$

$$\alpha = \sin^{-1}[\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega] = 44.05^\circ$$

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta = 0.658 \rightarrow \theta_z = 46.01$$

$$\gamma_s = \text{sign}(\omega) \mid \cos^{-1}(\cos \theta_z \sin \phi - \sin \delta) / (\sin \theta_z \cos \phi) \mid \rightarrow \gamma_s = -75.95^\circ$$

Orienté plein sud, donc : $\gamma=0$

Profile angle α_p :

$$\tan \alpha_p = \tan(44.05) / \cos(-75.95) = 3.98$$

$$\text{Calcul de la dimension c: } c = a / \tan(\alpha_p) \rightarrow \mathbf{c = 1.02 \text{ m}}$$

Les graphiques représentent l'effet des protections solaires sur la température intérieure dans les trois régions étudiées. Les deux courbes indiquent les températures mensuelles moyennes, l'une sans protection solaire et l'autre avec protection solaire.

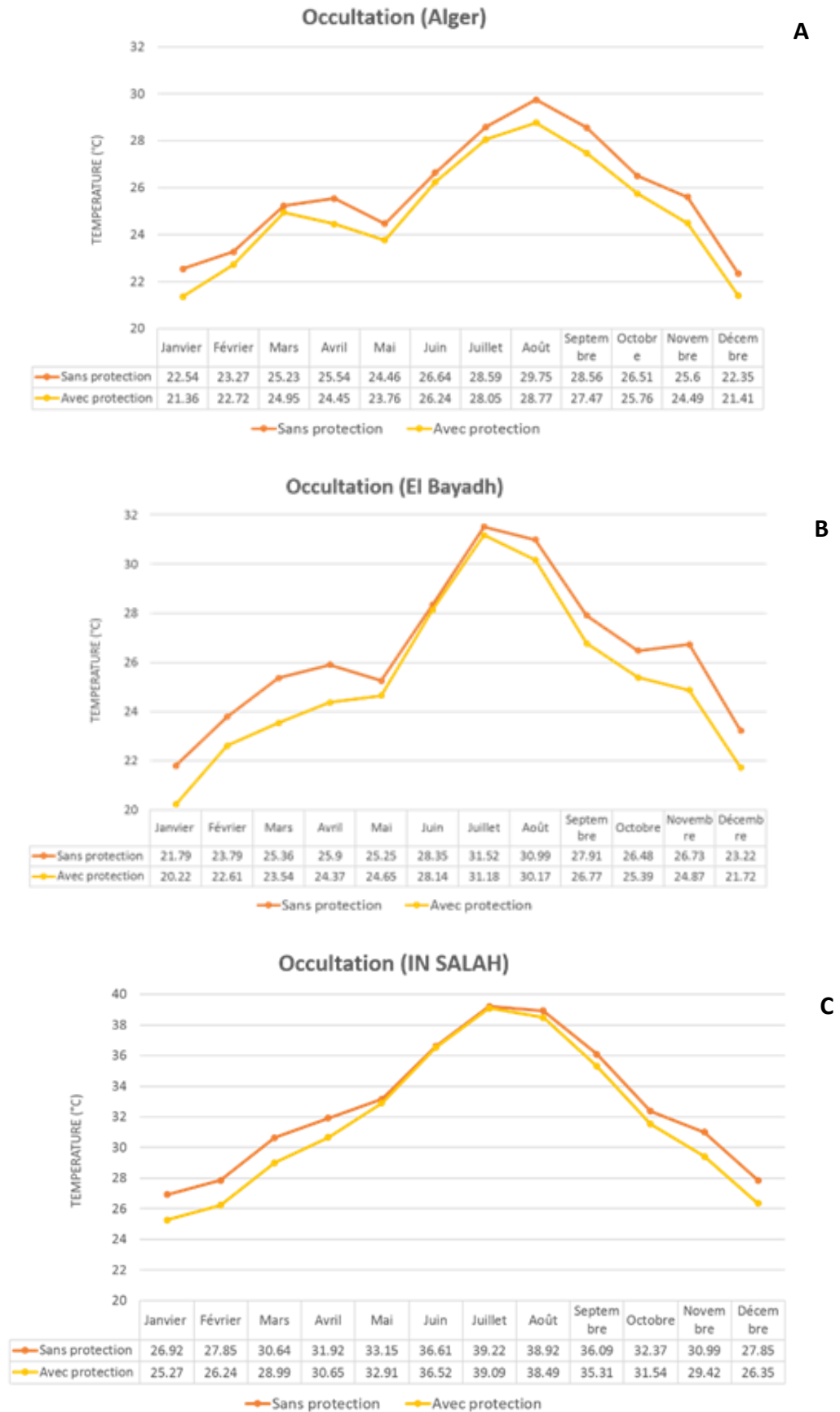


Figure 32 Les variations de température intérieure dans le cas de présence et d'absence de protection solaire. A : Alger ; B : El Bayadh ; C : In Salah.

Sans protection :

En hiver les températures intérieures sont supérieures de 1°C par rapport à celle avec protection dans les trois régions en raison de l'absorption directe du rayonnement solaire par la façade vitrée, et en été les températures atteignent des niveaux élevés, en raison de l'absorption maximale du rayonnement solaire direct.

Avec protection :

En été la protection solaire à Alger réduit les températures intérieures de 1°C en éliminant une partie du rayonnement solaire direct mais ça reste à faible impact à El Bayadh et In Salah.

Et donc, la réduction des températures est minimale en comparaison avec celle sans protection, Cela est à cause de la position de soleil (l'angle d'incidence sur le vitrage est faible) dans les trois régions qui est en mois d'été très haut (Voir la figure 33) , ce qui peut limiter l'impact direct des protections solaires sur les températures intérieures.

En d'autres termes, même sans protection solaire, ce système aide à modérer les variations de température intérieure.

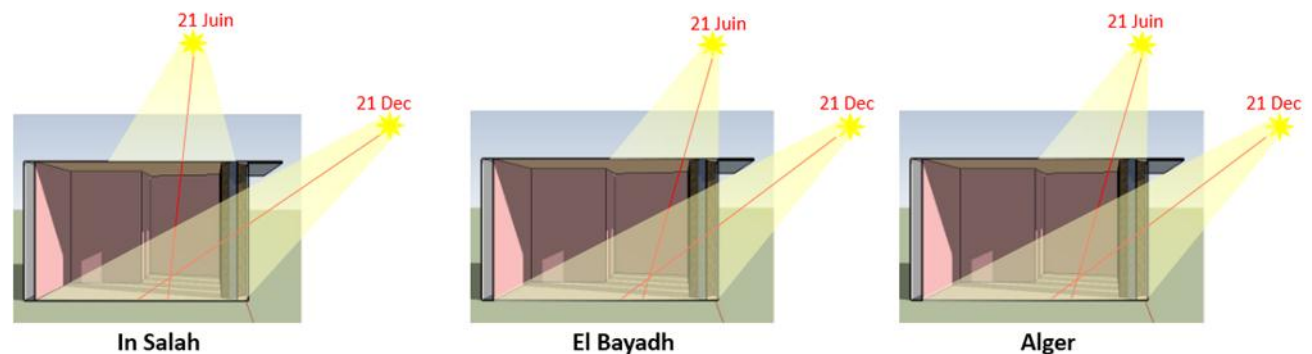


Figure 33 Schéma explicatif de l'impact de la protection solaire sur la façade selon l'angle d'incidence de soleil dans les trois régions étudiées.

Conclusion de l'étude paramétrique

L'étude paramétrique menée dans les régions d'Alger, El Bayadh et In Salah a identifié des configurations optimales spécifiques pour améliorer les performances thermiques des bâtiments dans ces climats variés. À Alger, où le climat est doux, l'utilisation d'un triple vitrage intérieur avec double vitrage extérieur a été recommandée, renforcée par l'adoption de l'adobe de 20 cm pour maintenir des températures intérieurs stables. À El Bayadh, comme à Alger le double vitrage extérieur avec le triple vitrage intérieur montrer une performance optimale par rapport aux autres combinaisons, ainsi que le béton de 10 cm ou 20 cm et d'adobe de 10 cm ont montrer une performance optimale tandis que l'Adobe de 10cm est préférable pour des soucis environnementaux. En revanche, à In Salah, caractérisée par des températures extrêmes, un simple vitrage extérieur avec intérieur double ou un double intérieur et extérieur double ont été préconisés pour gérer les échanges thermiques. Tant l'adobe que le béton ont montré des performances similaires.

Les protections solaires ont montré une réduction de 1°C à Alger et El Baydh et In Salah n'a aucun impact en raison de l'influence prédominante de position du soleil (angle d'incidence) avec l'effet de l'inertie thermique.

III. Analyse de la rentabilité économique du système

Le succès d'un système de chauffage passif repose sur sa rentabilité économique.

Les économies d'énergies engendrées par la mise en place de la nouvelle configuration sont évaluées en effectuant une comparaison entre les besoins de chauffage et de refroidissement de la façade conventionnelle et la nouvelle.

L'analyse a été effectuée pour les différentes régions précédentes représentant chacune une zone climatique différente.

ALGER

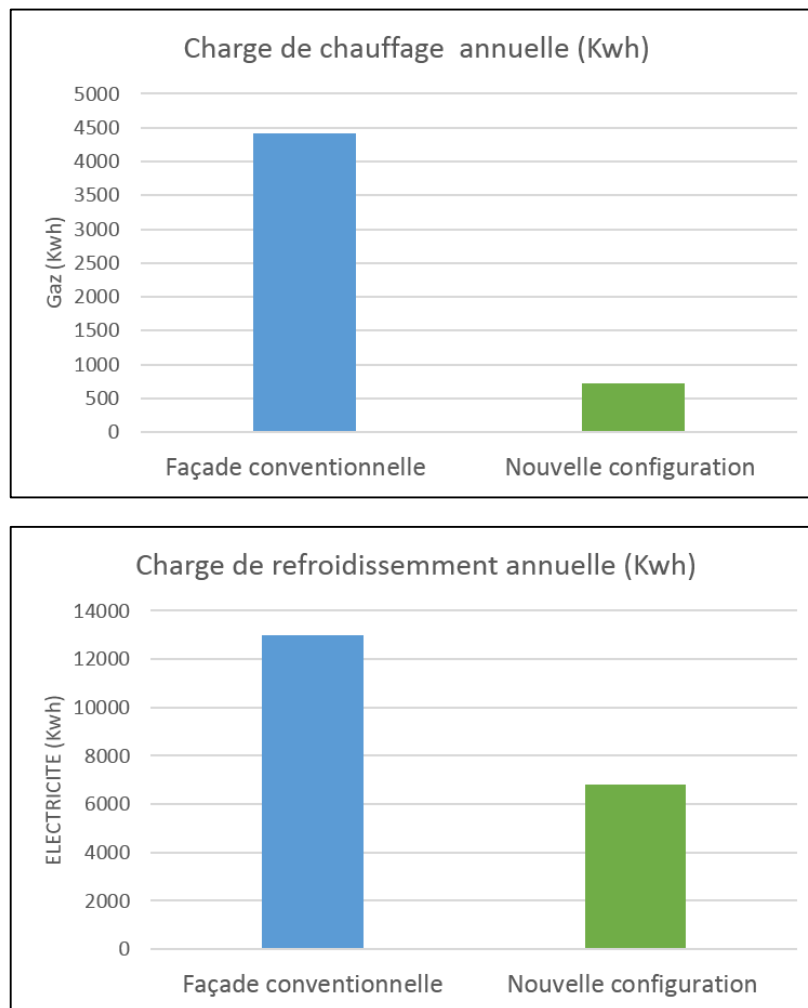


Figure 34 Les différences de consommation énergétique pour le chauffage et le refroidissement entre la façade conventionnelle et la nouvelle configuration de façade à Alger

EL BAYADH

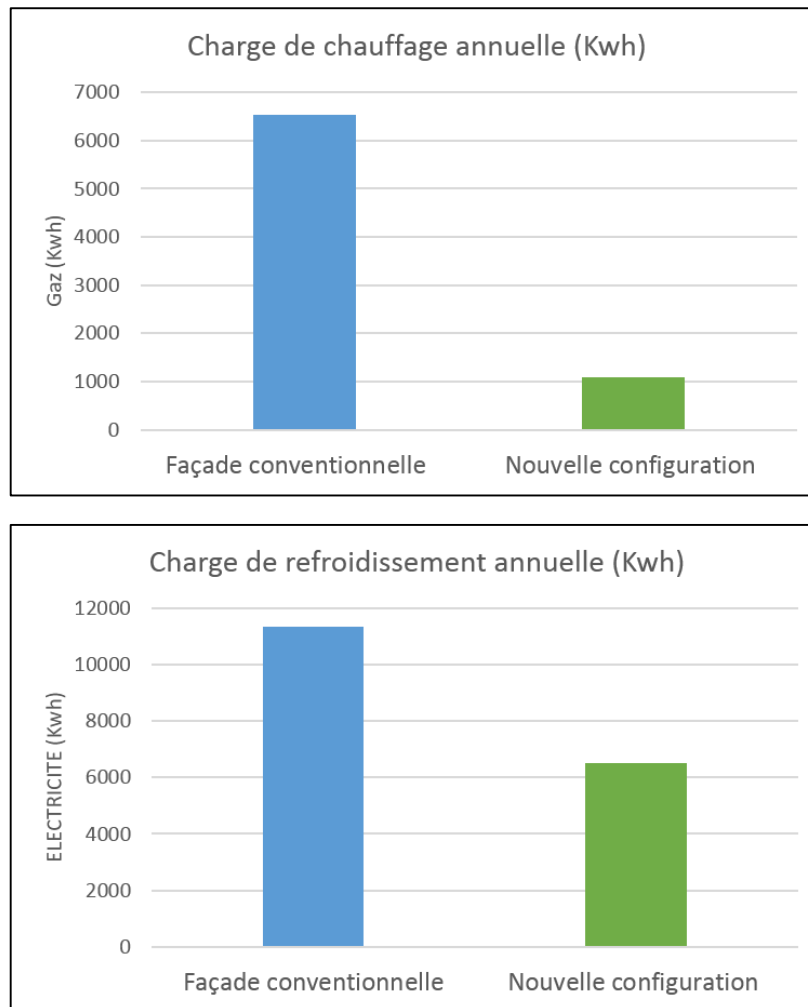
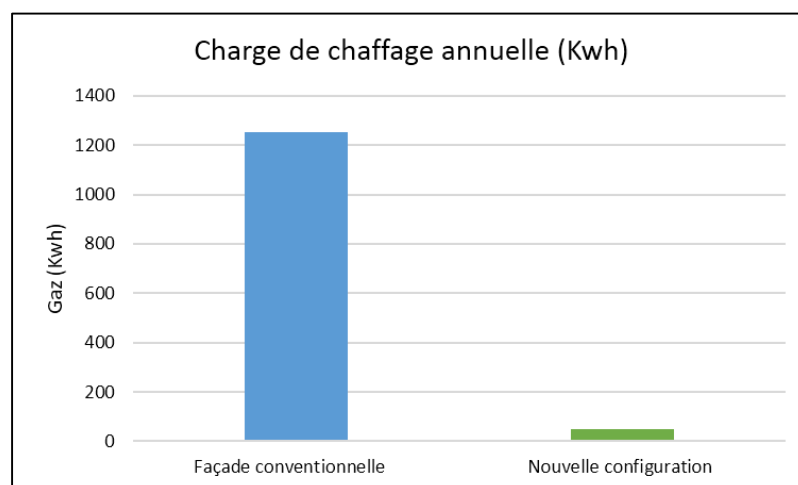


Figure 35 Les différences de consommation énergétique pour le chauffage et le refroidissement entre la façade conventionnelle et la nouvelle configuration de façade à El Bayadh

IN SALAH



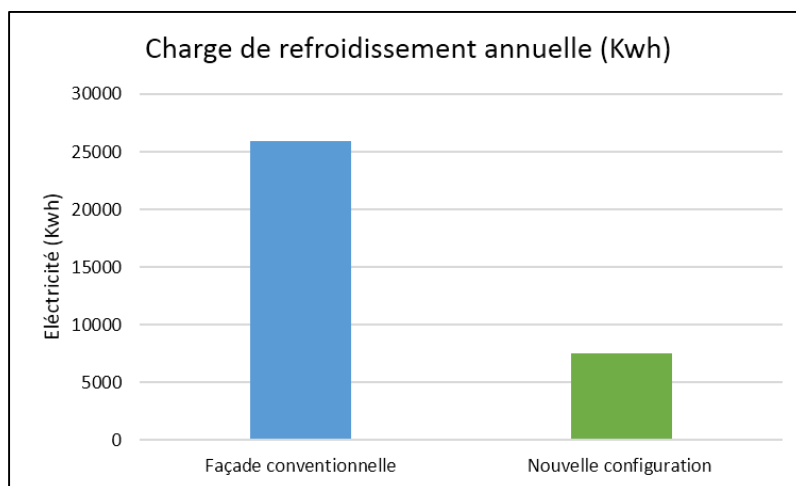


Figure 36 Les différences de consommation énergétique pour le chauffage et le refroidissement entre la façade conventionnelle et la nouvelle configuration de façade à In Salah

Nous pouvons observer que la mise en place de la nouvelle configuration engendre une économie environ 84 % de besoin en chauffage et 45% de besoin en refroidissement à ALGER et EL BAYADH et une économie environ 96% de besoin en chauffage et 70% de besoin en refroidissement à IN SALAH.

1 Kwh gaz ===== 0.476 DA [global petrol prices]

1 Kwh électricité ===== 4.17 DA [CREG]

Table 13 Comparaison entre les charges énergétiques et les économies de cout avant et après l'intégration de la nouvelle configuration

	ALGER		EL BAYADH		IN SALAH	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
Charge annuelle de chauffage (Kwh)	4420.37	727.61	6542.21	1088.56	1254.61	47.93
Charge annuelle de refroidissement (Kwh)	12990.08	6792.58	11354.16	6524.44	25879.29	7551.81
Cout de chauffage (DA)	2104.09	346.34	3114.09	518.15	597.194	22.81468
Cout de refroidissement (DA)	54168.63	28325.05	47346.84	27206.91	107916.63	31491.0477
Economie chauffage (DA)	1757.75		2595.93		574.37968	
Economie refroidissement (DA)	25843.57		20139.93		76425.5916	
Economie annuelle (DA)	27601.32		22735.86		76999.9713	

Les économies apportées peuvent paraître assez faible, mais sur le plan macro-économique ces économies sont considérables.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le présent rapport a exploré la problématique du manque de confort thermique et la surconsommation d'énergie dans les bâtiments tertiaires en Algérie, en particulier ceux dotés de façades vitrées extensives. Ces bâtiments souffrent de surchauffes estivales et de pertes de chaleurs hivernales, entraînant une consommation énergétique excessive pour le chauffage et le refroidissement. En réponse à ces défis, une nouvelle configuration de façade intégrant un système de chauffage solaire passif à apport direct (vitrage) et à apport indirect (mur trombe) a été proposée. L'objectif principale de cette étude était d'améliorer le confort thermique des bâtiments tertiaires en Algérie, en optimisant l'utilisation de l'énergie solaire afin d'assurer le chauffage solaire passif pour le confort hivernal tout en évitant la surchauffe de mur capteur pour assurer le confort estival.

Pour atteindre cet objectif, nous avons proposé une configuration innovante de façade, combinant des morceaux de murs capteurs orienté à 45° sud-ouest et des vitrages orientés à 45° vers le sud –est fermé par un vitrage extérieur afin de créer des cavités (principe de mur trombe), visant à maximiser les gains solaires en hiver tout en minimisant les surchauffes estivales. Cette configuration a été intégrée dans un espace de bureau afin d'évaluer son impact sur l'efficacité énergétique de ce dernier, adapté dans différents contexte climatique Algérien.

Notre travail consiste à évaluer les performances thermiques, énergétiques et visuelles de cette nouvelle configuration, par la réalisation d'une série de simulation par le logiciel « DesignBuilder » sur trois différentes configurations de façades : la façade vitrée conventionnelle adaptée actuellement en Algérie, le mur trombe et la nouvelle configuration proposé lors de cette étude. L'étude de ces trois variantes été faite dans différents contextes climatiques du territoire Algérien, climat méditerranéen, climat semi-aride et le climat aride et qui sont respectivement représenté par les régions suivantes : Alger, El Bayadh et In Salah. Et afin de trouver la configuration optimale de la nouvelle proposition de façade pour chaque zone climatique, une étude paramétrique a été menée.

Les résultats obtenus de l'étude comparative montrent que la nouvelle configuration de façade vitrée combinée avec un mur capteur est une solution adéquate pour résoudre le problème de l'utilisation excessive de vitrage dans les deux régions d'Alger et El Bayadh avec des différences de températures marquantes en comparaison avec la façade conventionnelle , à Alger le ΔT en hiver est 5°C et en été 4°C, à El Bayadh le ΔT en hiver

est 6°C et en été 1°C avec une amélioration notable de confort thermique , contribuant ainsi à la réduction de la consommation énergétique dans ses deux régions, environs 80% de réduction pour le chauffage et 45% pour le refroidissement. A In Salah, où les conditions climatiques difficiles (climat chaud et aride) la différence de température par rapport à la façade conventionnelle est 2°C en hiver et 1°C en été, mais le confort thermique n'est pas atteint ce qui montre que les façades vitrées en général ne sont pas adaptées à ce type de climat.

Ainsi la comparaison en terme de confort visuel montre que cette nouvelle façade contribue à l'amélioration de l'éclairement de l'espace a 200 Lux au centre de l'espace et 500 Lux à coté de vitrage ce qui est compatible à la norme l'éclairement dans les espaces de bureaux.

L'étude paramétrique a montré que le changement de type de vitrage intérieur et extérieur peut optimiser la performance de cette nouvelle configuration dans les trois régions étudiées d'une différence de température varie entre 1°C et 2°C en hiver et 1°C en été à Alger et El Bayadh et à In Salah un ΔT est 4°C en hiver et pas d'impact en été. Pour le changement de matériaux de construction (Adobe et Béton) et épaisseurs (10cm et 20 cm) à Alger et El Bayadh ont un faible impact par contre à In Salah ils n'ont aucun impact. L'occultation, leurs influences est limité sauf que à Alger l'occultation a réduit la température en été de 1°C.

Pour renforcer les résultats obtenus et assurer une application efficace, plusieurs recommandations sont proposées :

Pour améliorer le confort thermique assurer par la nouvelle configuration de façade dans les trois différentes régions, il est essentiel de combiner plusieurs stratégies passives, ces stratégies varient selon les caractéristiques du climat de chaque région :

- Isolation des planchers bas, des toitures et des murs afin de réduire les déperditions de l'enveloppe.
- Utilisation des fenêtres à double vitrage pour améliorer l'isolation thermique et réduire les pertes de chaleurs en hiver.
- Installation des systèmes automatisés de gestion de l'énergie qui peuvent ajuster les protections solaires et les clapets de ventilation en fonction des conditions météorologique.

- Pour le cas d'Alger : il faut assurer la déshumidification par exemple, l'utilisation des matériaux de construction qui régulent naturellement l'humidité comme les enduits à base d'argile.
- Pour El Bayadh et In Salah : il faut assurer l'humidification par l'utilisation des humidificateurs.
- Pour le cas d'In Salah :
 - Assurer une bonne ventilation naturelle par l'adoption des systèmes passifs efficaces tels que la tour à vent qui peut être combiné avec les cavités de façade.
 - Selon des études antérieures [22] à montrer qu'un système de refroidissement par évaporation passif (humidification adiabatique) permet d'améliorer le confort thermique à In Salah pendant la période de surchauffe et donc un système de ventilation par humidification peut améliorer les résultats obtenus.
 - Selon (DTR C3.2/4 2016) la région d'In Salah est la région la plus chaude du sud algérien et donc ce système peut donner des résultats mieux que celle d'In Salah dans d'autre région de la même zone climatique.

Comme perspective nous proposons l'intégration des systèmes de contrôles intelligents pour optimiser automatiquement l'utilisation de l'énergie solaire et la ventilation naturelle en fonction des conditions climatiques et des besoins énergétiques du bâtiment.

Références bibliographiques

Les références

- [1] Site officiel de l'Organisation mondiale de la santé, www.who.int/fr consulté en 06/2024
- [2] **CDER**, Algerian Renewable Energy Resource Atlas, 1st edition, 2019
- [3] **APRUE**, Programme de développement de l'efficacité énergétique à l'horizon 2030, 2015
- [4] **N. Simões et all.** Performance énergétique des murs solaires et Trombe dans les climats méditerranéens, Energie. 2021
- [5] **S.Jaber et all.** Conception optimale du système de mur Trombe dans la région méditerranéenne Énergie Solaire. 2011
- [6] **G. Gan**, Une étude paramétrique des murs Trombe pour le refroidissement passif des bâtiments, Construction énergétique. 1998
- [7] **NP Nwachukwu et all.** Effet d'un revêtement absorbant sur le stockage de l'énergie solaire dans un système de mur Trombe Construction énergétique. 2008
- [8] **Kamel Lamiri.** APRUE : vers l'introduction de l'étiquette de performance énergétique dans le secteur du bâtiment d'ici 2024. Algérie presse service. 2022
- [9] **Kamel Dali.** APRUE : vers l'introduction de l'étiquette de performance énergétique dans le secteur du bâtiment d'ici 2024. Algérie presse service. 2022
- [10] **Yaiche, M. R, Bouhanik et all.** Revised solar maps of Algeria based on sunshine duration. Energy Conversion and Management. 2014
- [11] **ANSI/ASHRAE Standard 55.** Thermal Environment Conditions for Human Occupancy, 2004
- [12] **Rupp RF, Ghisi E.** What is the most adequate method to assess thermal comfort in hybrid commercial buildings located in hot-humid summer climate? Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014.
- [13] **Chan H-Y, Riffat SB, Zhu J.** Review of passive solar heating and cooling technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010.
- [14] **RALPH M. LEBENS.** Live habitat solaire passif « méthodes de conception et de calcul, Moniteur, 1983 (244).
- [15] **BOULBINA Cherif.** La thèse de doctorat « Etude du confort thermique avec optimisation de la consommation énergétique en zone semi-aride (Batna) », Université Batna 2, 2022.

- [16] **Ikram AHMARI et all.** Simulation de l'impact de l'inertie thermique sur la consommation énergétique d'un bâtiment résidentiel dans un climat méditerranéen (Constantine). Nature et technologie. 2017.
- [17] **K. Imessad et M. belhamel.** Analyse thermique d'un système de chauffage solaire passif. Energy Renewable. 2001.
- [18] Site web officiel de Meteonorm, meteonorm.com, consulter le 06/2024.
- [19] Manuel Utilisateur DesignBuilder
- [20] **DTR C3 2/4**, le Centre National des Etudes et des Recherches Intégrés du Bâtiment (CNERIB). 2016
- [21] **Article R.232-7** du code du travail français
- [22] **OUKACI.S et all.** Évaluation des procédés de construction ancienne dans l'habitat des régions arides d'Algérie et son amélioration par l'intégration du refroidissement par évaporation passif à courant descendant. Energy and Buildings. 2022
- [23] **LITIM Ismail.** L'effet des stores intérieurs et brises soleil sur la consommation d'énergie dans les bâtiments à murs rideaux. Cas des zones chaudes et arides. 2017