

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



UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA1
INSTITUT D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

Mémoire de Master en Architecture

Option : Architecture, Environnement et Technologie

**Optimisation énergétique et thermique de
l'enveloppe du bâtiment résidentiel dans les
zones arides (Cas de la ville d'Adrar).**

Simulation numérique

Présenté par :

Noureddine DAHMANE

M2000256043

Encadré par :

Dr. Samir SEMAHI (MCB).

Membres du jury :

Présidente : Dr. Dalel KAOULA (MAA).

Examineur : Dr. Islam TIBERMACINE (MAA).

Rapporteur : Dr. Samir SEMAHI (MCB).

Année universitaire : 2020/2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

- *A ma chère mère.*
 - *A mon père défunt que Dieu accorde sa miséricorde.*
 - *A ma chère épouse.*
 - *A mon petit ange Nouranfel.*
 - *A ma famille.*



REMERCIEMENTS

On remercie ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer cette mémoire.

*En premier lieu, je tiens à remercier Monsieur : **SEMAHI Samir** qui a dirigé ce projet de recherche, pour son encadrement, ses orientations et ses encouragements. Et aussi pour son confiance, son suivi et ses précieux Conseils.*

J'exprime mes remerciés aussi, aux membres du jury, qui ont accepté d'évaluer et d'examiner ce travail de recherche.

- Madame **Dalel KAOULA**, Enseignante à l'institut de Blida, pour l'honneur qu'elle nous fait en acceptant la présidence de ce jury.*
- Monsieur **Islam TIBERMACINE**, Enseignant à l'institut de Blida, Pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

Je souhaiterais remercier sans retenue les personnes qui ont contribué grâce à leurs. Encouragements et à leurs aides à rendre possible ce travail. Et à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Optimisation énergétique et thermique de l'enveloppe du bâtiment résidentiel dans les zones arides. (Cas de la ville d'Adrar).

Simulation numérique

Résumé

Cette étude vise à proposer des scénarios pour améliorer l'efficacité énergétique et atteindre le confort thermique des bâtiments résidentiels dans la ville d'Adrar, qui a un climat désertique chaud et sec. L'utilisation optimale de l'énergie dans les bâtiments résidentiels est le plus grand défi pour l'Etat, d'autant plus que le secteur résidentiel et urbain est à la tête de la consommation d'énergie de l'Algérie.

La stratégie méthodologique consiste à modéliser le bâtiment d'étude, en évaluant leur performance énergétique et thermique à l'aide du logiciel DesingBuilder. Cette étude a donc examiné les solutions possibles grâce à l'utilisation de différents matériaux de construction (briques, béton, terre brute, pierres), et d'autres solutions ont été proposées grâce à l'isolation thermique, à la protection solaire et à l'utilisation du double vitrage. Où des solutions ont été obtenues pour réduire son initiation énergétique, qu'il s'agisse de chauffage ou de climatisation, ainsi que l'amélioration des heures de confort thermique dans les bâtiments résidentiels, en particulier en été et dans un environnement désertique sec.

Les résultats obtenus confirment la possibilité d'amélioration de l'efficacité énergétique et d'atteindre le confort thermique des bâtiments résidentiels à la région d'Adrar, grâce à des solutions efficaces liées à l'application de facteurs techniques qui permettent une utilisation optimale de l'énergie (chauffage, climatisation), et d'atteindre plus d'heures de bien-être thermique, ainsi que nécessite l'activation de l'aspect juridique concernant l'achèvement des bâtiments résidentiels dans un sec, environnement aride.

Mots-clés : Confort thermique, Efficacité énergétique, Bâtiments résidentiels, Zones arides, Simulation.

Energy and thermal optimization of the residential building envelope in arid areas (Adrar). *Numerical simulation*

ABSTRACT

This Study aims to propose scenarios for improving energy efficiency and achieving thermal comfort for residential buildings in Adrar state, which has a hot and dry desert climate. The optimal use of energy in residential buildings is the biggest challenge for the state, especially as the residential and urban sector is at the forefront of Algeria's energy consumption.

The methodological strategy used in the present research is to model the study building, evaluating their energy and thermal performance using the DesignBuilder software. This Study looked at possible solutions through the use of different building materials (bricks, concrete, raw earth, stones), and other solutions were proposed through thermal insulation, solar protection, and the use of double glazing, where solutions have been achieved to reduce your energy initiation, whether it is heating or air conditioning, as well as improving thermal comfort hours within residential buildings, especially in summer and in a dry desert environment.

The results confirm the possibility to improve energy efficiency and achieve thermal comfort for residential buildings in Adrar state, through effective solutions related to the application of technical factors that allow optimal use of energy (heating, air conditioning), and achieve more hours of thermal well-being, as well as require the activation of the legal aspect regarding the completion of residential buildings in a dry, arid environment.

Keywords: Thermal comfort, Energy efficiency, Residential buildings, Arid zones, Simulation.

الاستخدام الأمثل للطاقة والحرارة لغلاف المباني السكنية في المناطق الجافة (أدرار). محاكاة رقمية.

مُلخص الدراسة

تهدف هذه الدراسة إلى اقتراح سيناريوهات لتحسين الكفاءة الطاقوية وتحقيق الراحة الحرارية للمباني السكنية في ولاية أدرار، والتي تمتاز بمناخ صحراوي حار وجاف. حيث يُعد الاستغلال الأمثل للطاقة في المباني السكنية التحدي الأكبر للدولة، خصوصاً وأن القطاع السكني والعمراني يحتل الصدارة في استهلاك الطاقة في الجزائر.

إن الاستراتيجية المنهجية المتبعة هي بناء نموذج البنية المدروسة، وتقييم أدائها الطاقوي والحراري باستخدام برنامج **DesingBuilder**. وجاءت هذه الدراسة لتبحث في الحلول الممكنة من خلال استخدام مواد بناء مختلفة (الأجر، الخرسانة، التربة الطينية، والحجارة)، كما تم اقتراح حلول أخرى من خلال العزل الحراري، الحماية الشمسية، واستخدام الزجاج المزدوج، حيث تم تحقيق حلولاً تسمح بتخفيض استهلاك الطاقة سواء تعلق الأمر بالتدفئة أو التكييف، وكذلك تحسين ساعات الراحة الحرارية داخل المباني السكنية خصوصاً في فصل الصيف وفي بيئة صحراوية جافة.

نتائج الدراسة توصلت إلى أن هناك إمكانية لتحسين الكفاءة الطاقوية، وتحقيق الراحة الحرارية للمباني السكنية في ولاية أدرار، من خلال حلول ناجعة تتعلق بتطبيق عوامل تقنية تسمح بالاستغلال الأمثل للطاقة (التدفئة، والتكييف)، وتحقيق عدد أكبر من ساعات الرفاهية الحرارية، وكذلك الأمر يتطلب تفعيل الجانب القانوني فيما يتعلق بإنجاز المباني السكنية في بيئة جافة قاحلة.

الكلمات المفتاحية: الراحة الحرارية، الفعالية الطاقوية، المباني السكنية، المناطق الجافة، محاكاة.

TABLE DES MATIERE

Dédicace.....	I
Remerciements.....	II
Abstract.....	III
ملخص.....	IV
Résumé.....	V

I. CHAPITRE INTRODUCTIF :

1. Introduction générale.....	1
2. Problématique et hypothèse de la recherche.....	2
3. Objectifs de la recherche.....	3
4. Méthodologie de recherche.....	4
5. Structure du mémoire.....	6

II. CHAPITRE 01 : ETAT DE SAVOIR :

1. Introduction.....	9
2. Définitions et concepts.....	9
2.1. Le confort thermique.....	9
2.2. L'optimisation énergétique.....	10
2.3. L'isolation thermique.....	11
2.4. L'efficacité énergétique dans le bâtiment.....	10
2.5. Les stratégies.....	11
3. Le climat et l'architecture bioclimatique	
3.1. Définition de l'Architecture bioclimatique.....	11
3.2. Principes de l'architecture bioclimatique.....	12
3.3. Les stratégies de l'architecture bioclimatiques.....	13

4. Le confort thermique dans les bâtiments :	
4.1. La notion de confort.....	13
4.2. Les éléments du confort thermique.....	16
4.3. Les paramètres du confort thermique.....	17
4.4. Influence de l'humidité sur le confort thermique.....	18
4.5. Indices du confort thermique.....	19
5. Caractéristiques de l'enveloppe bâtie	
5.1. Matériaux de construction :	20
5.1.1. Les propriétés thermo physiques des matériaux.....	21
5.1.2. Construire en terre.....	22
5.2. L'isolation thermique :	22
5.3. Protection solaire :	23
5.4. Le vitrage :	
5.4.1. Définition et composition.....	23
5.4.2. Les propriétés thermiques des vitrages.....	24
5.4.3. Double vitrage.....	25
6. les exigences du confort thermique dans les régions semi arides	25
7. La simulation thermique	26
8. Conclusion	26

III. Chapitre02 : Optimisation Énergétique et thermique de l'enveloppe du cas d'étude

1. présentation de la ville d'Adrar.	
1.1 Situation géographique de la ville d'Adrar:.....	28
1.1.Caractéristiques climatiques de la ville d'Adrar.....	29

2. Présentation du cas étude.	
2.1.Descriptions du bâtiment d'étude.....	31
2.2.Caractéristiques de l'enveloppe d'habitation	33
3. Protocole de simulation	
3.1.Présentation de logiciel de simulation.....	34
3.2.Les étapes de la simulation	36
4. Simulation paramétrique et optimisation thermique et énergétique de l'enveloppe.	
4.1.L'impact des matériaux sur la performance thermique et énergétique de l'enveloppe.....	37
4.2.L'impact du double vitrage sur la performance thermique et énergétique de l'enveloppe.....	38
4.3.L'impact de l'isolation thermique sur la performance thermique et énergétique de l'enveloppe.....	39
4.4.L'impact des protections solaires sur la performance thermique et énergétique de l'enveloppe.....	40
4.5.Présentation des scénarios proposés pour l'amélioration de la performance énergétique au niveau de l'enveloppe : Des stratégies pour limiter l'inconfort.....	41
5. Conclusion	48
6. Conclusion générale.....	49
Références bibliographique.....	52
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Annexes	

Chapitre Introductif

*Le bâtiment intelligent est un bâtiment
Qui répond à sa fonction propre et à
L'environnement grâce à la technologie ».*

Bennetts Ra

1. Introduction :

Le secteur du bâtiment est considéré comme le secteur plus énergivore au monde, il responsable d'environ 40% de la consommation mondiale, se caractérisé par des taux élevés de consommation d'énergie et d'impacts sur l'environnement. Selon (Salomon et Bedel, 2004), « La consommation mondiale d'énergie est restée très stable lorsque pendant très longtemps lorsque les humains utilisaient l'énergie uniquement pour leur survie et leurs besoins alimentaires. Les besoins énergétiques mondiaux augmentent (d'environ 1.6% par an au cours des deux dernières décennies), en particulier ceux des pays en développement dont la croissance dépasse largement 3 %.

En Algérie, le secteur résidentiel représente 35% de la consommation finale d'énergie. Est responsable de 41% de la consommation totale d'électricité au niveau national et il représente, en fait, le plus énergivore. Le présent travail est consacré à l'étude de la performance énergétique des bâtiments résidentiels à travers l'optimisation de l'enveloppe architecturale relativement à un climat chaud et aride. Pour évaluer l'influence des paramètres propre à l'enveloppe (les murs, la toiture, les fenêtres, etc...) sur la consommation énergétique et le confort thermique. Des tests de simulation ont été effectués à l'aide du logiciel DesingBuilder.

L'Algérie, riche en gaz et en pétrole, ne s'est pas sérieusement intéressée à la rationalisation de l'utilisation de l'énergie jusqu'à la fin des années 1980. Le secteur résidentiel et tertiaire compte parmi les secteurs les plus énergivores, consommant 46 % de l'énergie finale et 28 % de l'énergie primaire. (MANSOURI et al, 2017). Le sud de l'Algérie, et compte tenu du climat aride, les bâtiments sont responsables de plus de 70% de la consommation d'électricité en été, la solution est d'installer la climatisation électrique dans chaque pièce pour assurer le confort estival. (Fezzioui et al, 2008).

Aujourd'hui, la consommation d'énergie en Algérie augmente de façon alarmante. Selon l'Agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie, APRUE, la consommation globale d'énergie en Algérie a atteint 17 millions de tep en 2005, cette consommation a presque doublé en 2012 pour atteindre 30 millions de tep. En fait, cette augmentation de la consommation est proportionnelle à la croissance démographique puisque, en 2005, la population, qui comptait 32 906 millions d'habitants, consommait en moyenne 0,694 Tep/habitant, ce qui a entraîné une augmentation de la consommation d'énergie d'environ 0,750 Tep/habitant. Par exemple, la consommation d'électricité dans le secteur résidentiel en Algérie représente 38 % de la consommation totale

d'électricité en 2005 et a augmenté en 2012 pour atteindre 40 %. Cette consommation est principalement destinée à couvrir les besoins d'éclairage artificiel, chauffage et surtout climatisation. (Latreche et al, 2018).

Le confort thermique est un état de bien-être général et stable. Inversement, il est mesuré par le taux d'insatisfaction des occupants. Elle est subjective et diffère d'une personne à l'autre en fonction du métabolisme, du sexe, de l'âge, des vêtements, de l'activité produite, etc., ainsi que de la zone climatique. (Kadi et al, 2011). Le confort thermique est un paramètre important dans les bâtiments climatisés en raison de son impact sur la qualité des environnements intérieurs, la santé et la productivité de l'occupant. Ce paramètre est réglementé par des normes internationales qui garantissent la conformité des environnements intérieurs avec les exigences de confort thermique. (Kemajou, et al, 2012).

L'enveloppe du bâtiment est un élément décisif de la régulation thermique. Le comportement thermique de ses surfaces détermine les conditions de confort dans l'espace intérieur, vis-à-vis du rayonnement solaire et de l'échange de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur. Le bon choix de l'enveloppe établit le confort thermique et les économies d'énergie grâce à la minimisation des gains et pertes de chaleur et l'efficacité des systèmes de refroidissement ou de chauffage passif. (RAMOUL, sans date). La paroi étant un élément de l'enveloppe, joue un rôle important sur le plan de la consommation d'énergie et du confort dans les bâtiments. L'optimisation de ses performances doit cependant répondre à des exigences contradictoires ; apports solaires de chauffage en hiver, protection solaire en été, apports de lumière naturelle...etc. (Maaden et al, 2016)

La simulation permet de supprimer facilement une ressource pour pouvoir obtenir les besoins d'un bâtiment non impacté par la ressource. A l'aide des logiciels de simulation dynamique et thermique, nous pouvons de comparer l'état thermique réel réalité et les résultats de la simulation thermique.

Suite à cette introduction, l'étude se décompose en trois chapitres suivis d'une conclusion générale et d'une mise en perspective du travail entrepris.

2. Problématique de recherche :

La problématique du travail concerne la recherche des nouveaux scénarios d'atteindre le confort thermique et d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments résidentiels dans les zones arides, dont le climat est caractérisé par la sécheresse et la chaleur élevée.

Eu égard à cela :

Quels sont les paramètres à proposer pour améliorer l'efficacité énergétique et assurer le confort thermique de l'enveloppe du bâtiment résidentiel dans les zones arides (Adrar) ?

3. Hypothèses :

Les hypothèses suivantes ont été proposées pour répondre à la problématique de recherché.

Dans ce context, les hypotheses sont émises:

- Les caractéristiques thermiques des matériaux de construction ont un impact sur la qualité du confort thermique et l'efficacité énergétique dans les zones arides (Adrar).
- Le double vitrage, la protection solaire et l'isolation de la paroi extérieure des éléments ont un effet sur la qualité du confort thermique et l'efficacité énergétique.

4. Objectifs de la recherche :

Les objectifs de la recherche sont :

- Déterminer la relation entre les matériaux de l'enveloppe et le confort thermique.
- Proposer des améliorations et des solutions techniques (matériaux, isolation thermique, protection solaire, double vitrage).
- Améliorer le niveau de confort thermique intérieur dans le bâtiment dans les zones arides.
- Eclairer l'importance de la notion de confort et à la problématique énergétique dans le secteur du bâtiment et de son impact sur l'environnement.
- Déterminer l'impact des matériaux de construction et leurs caractéristiques sur le confort thermique et la consommation d'énergie.
- Proposer des scénarios pour réduire la consommation des énergies dans le secteur du bâtiment.
- Évaluer le confort d'été à partir des scénarios qui réponde au mieux aux besoins de confort thermique.
- Amélioration de l'efficacité des systèmes énergétiques du bâtiment

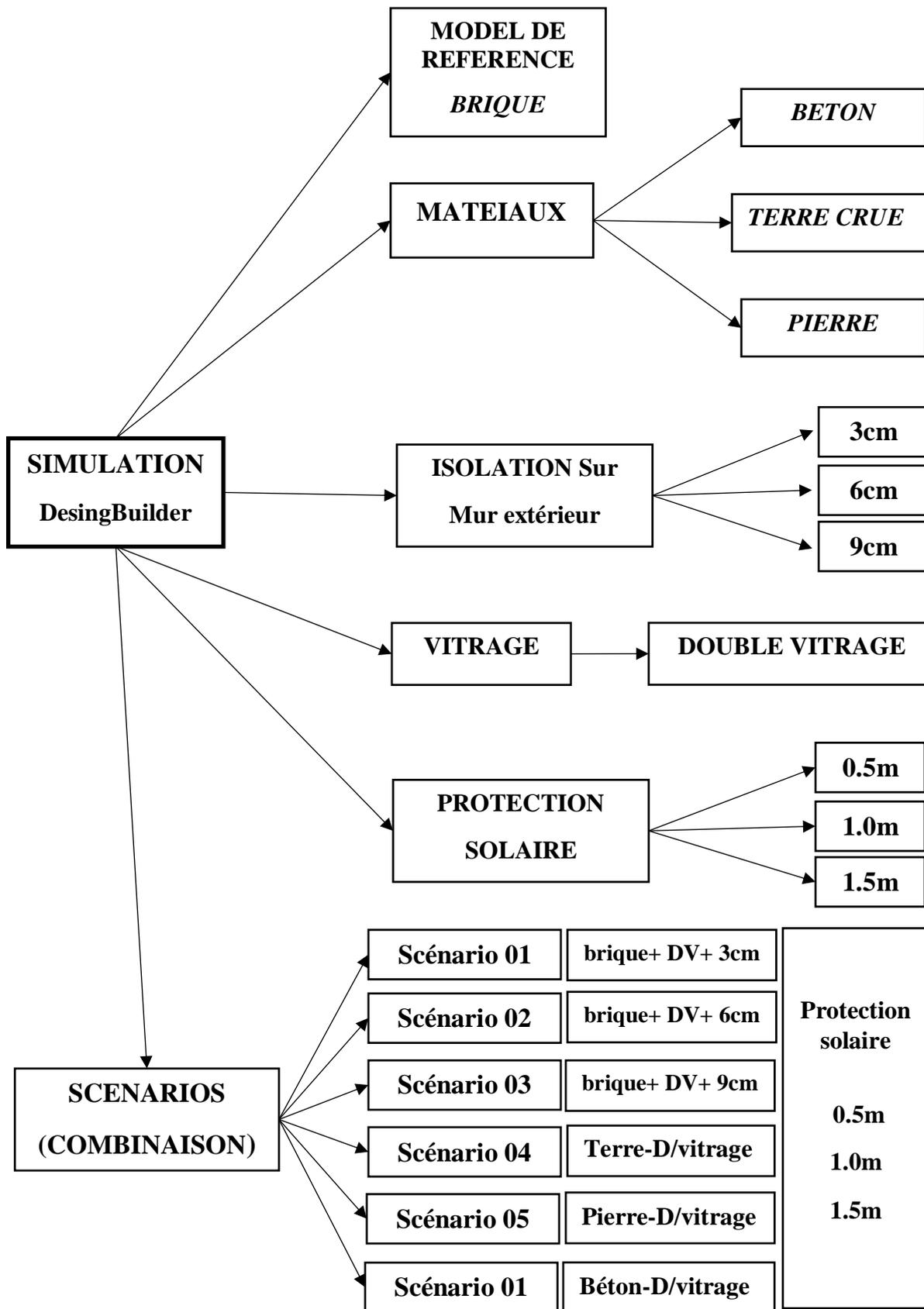
- Déterminer les conditions optimales de confort thermique dans la ville d'Adrar à partir d'une simulation numérique.
- L'objectif visé dans le cadre de ce travail est l'obtention d'un niveau de confort thermique avec une consommation énergétique réduite en étudiant l'influence de l'enveloppe du bâtiment sur sa demande énergétique.

5. Méthodologie de recherche :

La recherche à développer est de type paramétrique. À l'aide d'un logiciel de simulation de la performance du bâtiment, différentes configurations de bâtiments seront modélisées, en évaluant leur performance énergétique et thermique. Les différents scénarios proposés sont liés aux matériaux de construction (brique, béton, pierre, terre crue), l'isolation thermique (polystyrène 3cm-6cm-9cm), double vitrage, la protection solaire (0.5m-1m-1.5m). Et en comparant les résultats obtenus en s'appuyant sur la simulation numérique utilisant le logiciel DesingBuilder pour atteindre le scénario le plus efficace pour améliorer l'efficacité énergétique et atteindre le confort thermique des bâtiments résidentiels dans la ville d'Adrar.

Notre objectif consiste à chercher les moyens à assurer un niveau de confort thermique acceptable avec une consommation énergétique réduite en étudiant l'influence de l'enveloppe du bâtiment sur sa demande énergétique.

- La première phase (théorique) : comme base de données pour l'interprétation des résultats de simulations. Et Basée sur une recherche bibliographique et documentaire.
- La deuxième phase (pratique) : quantitative est basée sur la simulation numérique du bâtiment à l'aide du **logiciel DesingBuilder**.
- **Approche énergétique à échelle de bâtiment : (simulation) :** présenter et identifier les paramètres qui influent sur le confort thermique et la consommation d'énergie.



D/V : Double Vitrage

Fig. 01 : Méthodologie de recherche adoptée (source : Auteur)

6. Structure du mémoire :

Nous avons structuré notre mémoire en trois chapitres distincts :

- **Le premier chapitre : chapitre introductif** : Comporte
 - l'introduction générale.
 - Introduction générale
 - Problématique et hypothèse de la recherche
 - Objectifs de la recherche
 - Méthodologie de recherche
 - Structure du mémoire
- **Le deuxième chapitre : état de savoir** : traite des concepts et fondements théoriques relatifs au confort thermique et l'efficacité énergétique.
- **Le troisième chapitre : cas d'étude** : consiste en un aperçu sur les différents modèles de simulation et Comporte :
 - présentation de la ville d'Adrar.
 - Présentation du cas étude.
 - Protocole de simulation.
 - Simulation paramétrique et optimisation thermique et énergétique de l'enveloppe.
 - La discussion et l'analyse des résultats obtenus
- En guise de **conclusion**, nous avons tenté d'établir une synthèse de la recherche et de la recommandation.

CHAPITRE INTRODUCTIF

L'ETAT DE L'ART

Définitions et concepts

Le climat et l'architecture bioclimatique

Le confort thermique dans les bâtiments

Caractéristiques de l'enveloppe bâtie

Caractéristiques climatiques des zones arides

La simulation thermique

Conclusion

CAS D'EUDE

Présentation de la ville d'Adrar.

Présentation du cas étude.

Protocole de simulation

Simulation paramétrique et optimisation thermique et énergétique de l'enveloppe

Résultats et discussion

Conclusion générale et Recommandations

CONCLUSION GENERALE

Fig.02. Structure de mémoire (source : Auteur)

Chapitre01 :

L'état de l'art

1. **Introduction** :

Aujourd'hui, 50 % de la population mondiale vit dans des villes et passe près de 90 % de son temps à l'intérieur. Les bâtiments deviennent de vraies machines thermiques dont l'objectif est le maintien des conditions climatiques favorables à l'être humain. L'individu réagit en permanence à cet environnement de manière consciente et inconsciente. C'est grâce à la définition des mécanismes physiologiques, physiques et psychologiques que l'on peut approcher une définition du confort thermique. (Batier, 2016).

Selon le bilan de l'année 2015, l'Algérie consomme plus de 43 % de la consommation énergétique nationale et ces chiffres devront connaître une hausse avec notamment la réalisation de 1,6 millions d'unités de logements prévus par l'actuel quinquennat 2015-2019. (AHMARI I. et al, 2019).

Le secteur du bâtiment est, aujourd'hui, le secteur qui consomme le plus d'énergie. Des efforts importants sont réalisés dans le but de réduire la consommation énergétique des bâtiments neufs.

L'Efficacité énergétique des logements est un enjeu économique, social et environnemental majeur de la transition énergétique. L'éco rénovation énergétique est un moyen capable d'assurer efficacement cette transition. (Bouarroudj. et al, 2016).

2. **Définitions et concepts** :

2.1. **Le confort thermique** :

Etymologiquement, le terme confort, tiré du mot anglais « confort », est défini comme « un sentiment de bien-être et de satisfaction » ou comme un ensemble des éléments qui contribuent à la commodité matérielle et au bien-être ». Ce qui donne à ce concept difficilement mesurable, un caractère subjectif dépendant des appréciations personnelles de chaque individu. (BENHALILOU, 2008).

Le confort est une notion globale : chaleur et froid, lumière, bruit, paysage, eau, verdure, prestige.... et autre, sont autant d'éléments définissant plusieurs paramètres climatiques, esthétiques, psychologiques du confort. Le confort est également la sensation subjective qui n'existe pas en lui-même. (BERKANE, 2019)

La notion de confort thermique, désigne l'ensemble des multiples interactions entre l'occupant et son environnement où l'individu est considéré comme un élément du

système thermique, pour le définir on lui associe plusieurs paramètres, notamment. (MAZARI, 2012).

Le confort thermique est défini comme "un état de satisfaction du corps vis à vis de l'environnement thermique".

2.2. L'optimisation énergétique :

L'optimisation énergétique des bâtiments est, aujourd'hui, devenu une nécessité face à la disparition inexorable des énergies fossiles ainsi qu'à la réduction obligatoire des émissions de CO₂. Différentes solutions sont testées dans de nouvelles constructions. Pour les bâtiments existants, des avantages fiscaux incitent à entreprendre des aménagements ou des travaux de réhabilitation. Mais les habitudes des occupants ont également un fort impact énergétique. (<https://dsa-technologies.com/optimisation-energetique-des-batiments>).

2.3. L'isolation thermique :

L'isolation thermique de l'enveloppe est une opération qui consiste à mettre un matériau isolant de faible conductivité thermique sur la paroi (intérieur ou extérieur), pour assurer le confort des occupants. (Khadraoui, 2019).

2.4. L'efficacité énergétique dans le bâtiment :

Cette notion est souvent interprétée dans un sens plus large pour désigner les technologies et pratiques permettant de diminuer la consommation d'énergie tout en maintenant un niveau de performance finale équivalent. (<https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/efficacite-energetique-et-batiments>).

L'efficacité énergétique est la réduction de la consommation énergétique d'un bâtiment grâce à un programme de réduction des pertes énergétiques.

Selon Attmann (2010) la performance d'un bâtiment peut être définie comme le degré de réponse aux besoins des usagers, en considérant les qualités fonctionnelles, structurelles et environnementales du bâtiment. De cette façon, il y aurait 3 types de performance dans le cadre du bâtiment : la performance des éléments (matériels et technologies), la performance de ressources, et la performance environnementale. Cette dernière considère la capacité du bâtiment à s'adapter au climat et aux changements environnementaux, ainsi que la provision d'une ambiance confortable et saine. (Iturra, E.M., 2011, p56).

2.5. La stratégie : Une stratégie est la manière d'élaborer, de diriger et de coordonner des plans d'action afin d'aboutir à un objectif déterminé, programmé sur le court ou le long terme. Le but principal étant d'éviter le pilotage à vue, une stratégie doit être appliquée et apporter des résultats positifs. (<https://www.petite-entreprise.net/P-2449-136-G1-definition-de-strategie.html>)

3. Le climat et l'architecture bioclimatique :

3.1. Définition de l'Architecture bioclimatique :

Fernandez et Lavigne (2009) dans leur livre : « *le terme bioclimatique fait référence à une partie de l'écologie qui étudie plus particulièrement les relation entre les êtres vivants et le climat* ».

Selon l'architecte De Asiain (2010), l'architecture bioclimatique est basée sur le confort des usagers à travers des stratégies bioclimatiques et les ressources offertes par le site (la typologie, les matériaux, et le système constructif). (Khadraoui, 2017).

Selon la fédération française FFB (2010), la conception bioclimatique d'un bâtiment vise à optimiser l'utilisation des apports solaires et de la circulation naturelle de l'Air, limitant ainsi le recours au chauffage et à la climatisation .Elle valorise les avantages du terrain ; l'orientation du bâtiment, l'orientation des pièces, les surfaces vitrées, l'inertie du bâtiment.

Selon l'architecte Krummenacher (2005), « *le concept d'architecture bioclimatique basé sur le recherche de la meilleur adéquation entre la conception et la construction de l'habitat, le climat, l'environnement dans lequel il s'implante ainsi que l'habitant et ses rythmes de vie* »

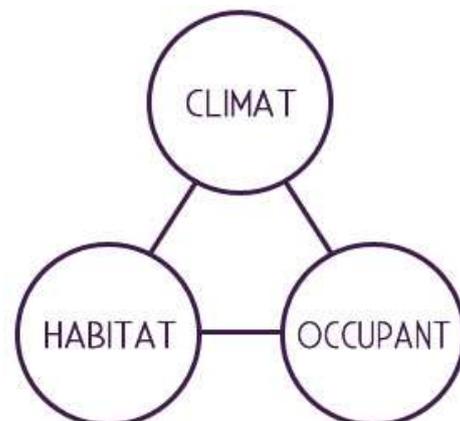


Fig.03 : Les trois éléments de l'architecture bioclimatique (source, www.researchgate.net).

3.2. Principes de l'architecture bioclimatique :

L'architecture bioclimatique impose également des bases de conception à savoir :

3.2.1. Implantation des bâtiments :

Le bâtiment doit être implanté de façon à réduire les consommations d'énergie relatives au refroidissement mécanique et à l'éclairage artificiel, et à contrôler l'accès à l'énergie solaire pour l'éclairage naturel. . (Atik Mehaoued, 2019).

D'après Mokhtar (2008), le choix du site d'implantation est le premier facteur garantissant une conception architecturale thermiquement performante bien qu'il n'affecte ni les températures ni les humidités, mais il a un effet non négligeable sur le vent, les pluies et le rayonnement solaire.

3.2.2. Orientation et forme :

Un autre paramètre qui influe sur les conditions de confort à l'intérieur d'un bâtiment c'est l'orientation des façades. L'orientation des façades est le paramètre clé des interactions visuelles, thermiques et acoustiques. (Latreche, 2019).

L'orientation est également réfléchi en fonction de la direction du vent. En effet, l'aération des espaces intérieurs d'un bâtiment est liée à la différence de pression causée par l'exposition ou non des façades. (Atik Mehaoued, 2019).

3.2.3. Inertie thermique :

C'est la capacité thermique d'un matériau qui détermine son inertie. Plus la capacité thermique est élevée, plus le matériau est capable de stocker et de restituer des quantités de chaleur.

3.2.4. Isolation thermique :

En isolant les bâtiments on diminue les pertes thermiques vers l'extérieur et donc les besoins de chauffage des bâtiments. Avec cette solution on parvient donc à atteindre les niveaux de performance requis par les réglementations thermiques. (Chensé, L. 2012).

3.2.5. Ventilation naturelle :

D'après Sorensen cité par Widera (2014), les systèmes de refroidissement utilisés dans l'architecture vernaculaire dans les zones chaudes sont basés sur la ventilation naturelle. (Atik Mehaoued, 2019).

3.2.6. Le choix des matériaux :

Les matériaux de construction qui constituent l'enveloppe des bâtiments, crée une barrière entre l'extérieur et l'intérieur qui protège les occupant contre les facteurs climatiques (le froid, la chaleur, le vent, la pluie....). L'enveloppe de compose généralement de deux types des parois ; les parois opaques verticales et horizontales (murs et toitures) et les parois transparentes (ouvertures).

3.3. Les stratégies de l'architecture bioclimatiques :

En été comme en hiver, l'architecture bioclimatique a développé des stratégies passives, profitant des aspects favorables de l'environnement, pour créer une ambiance intérieure confortable, deux stratégies résumant l'approche bioclimatique du confort thermique.

3.3.1. La stratégie du chaud : (Confort d'hiver) :

S'il est important de se protéger des surchauffes en été, il est tout aussi important de récupérer des calories en période froide pour se chauffer. Les principes de la stratégie de chaud (ou systèmes de chauffage solaire passif) sont les suivants : capter le rayonnement solaire, stocker l'énergie ainsi captée, distribuer cette chaleur dans le bâtiment, réguler cette chaleur et enfin éviter les déperditions dues au vent. (Mazari, 2012).

3.3.2. La stratégie du froid : (confort d'été) :

La façon la plus efficace de se protéger de l'ensoleillement direct trop important à certains moments est d'ériger un écran extérieur procurant de l'ombre. Ces structures d'ombrage peuvent être permanentes, amovible ou saisonnières. (M'sellem, 2017).

4. Le confort thermique dans les bâtiments :

4.1 La notion de confort :

La notion de confort est difficile à définir. Elle est sujette à de nombreuses recherches dans de multiples disciplines : physique, psychologie, architecture, biologie... Dans notre étude, nous chercherons à comprendre la notion de confort dans le bâtiment et plus particulièrement le confort thermique, confort acoustique, confort olfactif, etc.

- **Le paramètre physique** : l'homme est représenté comme une machine thermique et on considère ses interactions avec l'environnement en termes d'échanges de chaleur.

- **Le paramètre psychologique** : Il concerne les sensations de confort éprouvées par l'homme et la qualification des ambiances intérieures. Une définition satisfaisante du confort thermique doit pouvoir intégrer tous ces paramètres, mais de nombreuses définitions avancées jusqu'à maintenant ne caractérisent le problème que sous la lumière d'un seul de ces paramètres, par exemple :
- **Aspect physiologique** : « Les conditions pour lesquelles les mécanismes d'autorégulation du corps sont un niveau d'activité minimum ».
- **Aspect sensoriel** : « État d'esprit exprimant la satisfaction de son environnement »

Le confort participe à la définition du bien-être. « *Le confort est lié aux sentiments, à la perception, à l'humeur et à la situation. Sa définition fait à la fois appel à une approche négative (absence d'inconfort, qui se caractérise par exemple par l'absence de douleur, d'anxiété,...) et à une approche positive (bien-être, satisfaction).* » Cette définition du confort permet de comprendre la complexité de la mesure du confort puisqu'un nombre élevé de paramètres physiques, psychologiques, physiologiques, culturels et personnels. (Batier, 2016).

Le confort hygrothermique peut être défini comme une sensation complexe produite par un système de facteurs physiques, physiologiques et psychologiques, conduisant l'individu à exprimer le bien être de son état. (Arhab, 2014).

Selon la réglementation **ASHRAE**¹ donne la définition de confort thermique suivante : « *les combinaisons d'environnement spatial intérieur et les facteurs personnels qui produiront des conditions environnementales thermiques acceptables pour 80 % ou plus des occupants dans un espace.* », « *Thermal Comfort is that condition of mind that expresses satisfaction with the thermal environment* » (Batier, 2016).

ASHRAE en 1992 définit le confort thermique comme étant « *l'état d'esprit qui exprime la satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique* ». Ce dernier est conditionné par plusieurs paramètres à savoir : la température de l'air, l'humidité de l'air, les précipitations, la pression atmosphérique et la nébulosité. La combinaison de ces paramètres climatiques influe sur le confort thermique de l'individu et donc sur l'usage de l'espace. (BENHALILOU, 2008).

¹L 'ASHRAE est, l'American Society of Heating Réfrigération and Air-Conditioning Engineers...

Vitruve dans son célèbre traité « De architectura » « *S'agit-il de construire une ville? La première chose à faire est de choisir un endroit sain. Il doit être élevé, à l'abri des brouillards et du givre, situé sous la douce température d'un ciel pur, sans avoir à souffrir ni d'une trop grande chaleur ni d'un trop grand froid* ». (Benhouhou, 2012, p19).

D'après (E. Dumitriu-Valcea), le confort thermique des constructions est l'ensemble des conditions optimales nécessaires au développement de la vie physiologique de l'homme à l'intérieur des pièces différentes – en fonction de la destination des locaux – d'habitat.

Selon (B. Magali, 2002) «la sensation du confort thermique est l'expression du bien-être d'un individu en rapport avec la chaleur. Elle est le résultat de l'interaction entre l'individu et son environnement ». (Benhouhou, 2012, p20).

CANDAS, V : définit une échelle graduelle de la sensation de confort, allant de l'inconfort arrivant au confort maximal :

- **Inconfort** : une sensation d'insatisfaction ou du désagrément de façon permanente ou répétitive, ne permettant pas à la nuisance de se « faire oublier ».
- **Confort dégradé** : résulte de l'apparition épisodique (temporelle) ou locale (spatiale) d'un certain inconfort non persistant ou ressenti localement mais de façon peu intense.
- **Confort** : peut-être ressenti sur deux échelles : - échelle affective : se déduit de l'absence exprimée de désagrément ou d'insatisfaction - échelle perceptive : se déduit de l'incapacité qu'ont les gens à s'exprimer sur leur état thermique ; cette notion est proche de l'indifférence.
- **Confort optimal** : résulte de l'expression de l'agrément du bien-être exprimé par l'individu par rapport au climat perçu.
- **Confort maximal** : celui qui résulte d'une parfaite adéquation entre tous les souhaits de l'individu et son état thermique. (Arhab, 2014).

Durant le siècle dernier, l'architecture moderne a choisi une voie pour atteindre le confort : celle de la séparation du milieu naturel externe en créant un environnement artificiel intérieur ayant des caractéristiques confortables pour l'être humain. On s'isole le plus possible de la nature avec le secret espoir de pouvoir l'ignorer. L'homme s'est donc créé une micro zone confortable avec des caractéristiques précises. (ELGHAWABY, 2013).

4.2 Les éléments du confort thermique :

Selon **Givoni**, les facteurs météorologiques qui doivent être considérés, lors de la conception de bâtiment sont essentiellement : (BERKANE, 2019).

- Le rayonnement solaire - Le rayonnement du ciel de grande longueur d'onde.
- La température de l'air - L'humidité de l'air - Les précipitations - Les vents.

1. La température de l'Air intérieure (°C) :

La température est fondamentale pour la conception solaire passive et également pour la conception des espaces extérieurs .Elle dépend du rayonnement solaire, du vent, de l'altitude et de la nature du sol. (Bounif, 2016)

- L'humidité relative (%) :

L'intervalle de confort dépend à l'autre paramètre dont la température et la vitesse de l'Air peut aller de 20% à 80%. Au-dessous à 20% l'air devient trop sec, et au-dessus de 80% l'air devient trop humide. (Assassi, 2005).

L'humidité de l'air n'a pas un grand effet sur la sensation de confort thermique, si les températures d'air sont confortables ; elle n'a d'effet significatif que lorsqu'elle est extrêmement haute ou extrêmement basse. Il est admis des variations de l'humidité relative entre 19 à 65 %

- La température des parois (°C) :

Le choix de matériaux est important pour obtenir une paroi représente un coefficient de conductibilité thermique(k). (Assassi, 2005).

Parmi les parois verticales, ce sont les parois Est et Ouest qui reçoivent les ensoleillements les plus importants en été ;

Exprimés en énergie, 4,3 kWh/m² jour en juillet à l'ouest contre 3,1 au sud. - Exprimés en puissance instantanée, 700W à 16 h solaire à l'ouest contre seulement 450 W au sud à midi (BENHALILOU, 2008).

- La vitesse de l'Air intérieure (m/s) :

Les valeurs suivantes qui présentent l'effet sur le confort humain :

- Au-dessous de 0.1 m/s on sent le renfermé dans un local quelconque.
- 1m/s confortable si le mouvement de l'air est requis.

- >1m/s l'inconfort s'aggrave.
- 2.0 m/s tolérable à l'extérieur et bon si l'humidité relative est élevée.
- 5.0m/s Maximum à l'extérieur. (Assassi, 2005).

Certains spécialistes dans le domaine donnent des valeurs précises pour chaque facteur - Température des murs : 22 +2°C.

- Humidité relative entre 40 et 60%.
- Température du sol : 19 à 24°C.
- Vitesse de l'air : inférieure à 0.15 m/s.
- Différence de température entre deux murs d'une même pièce doit être inférieure à 10°C. (BENHALILOU, 2008).
- Différence de température entre le sol et le plafond doit être inférieure à 5°C.
- Les précipitations.
- Les vents.

4.3. Les paramètres du confort thermique :

Les concepteurs d'un habitat durable seront attentifs à répondre aux besoins de confort et de santé des futurs occupants. La température, le degré d'humidité de l'air, la qualité de l'air, la lumière, l'acoustique, la qualité de l'eau... sont autant de facteurs qui conditionnent le bien-être dans la maison. Méconnaître ces facteurs, c'est risquer de concevoir une habitation inconfortable ou malsaine et, à terme, d'être exposé à des frais de santé et d'assainissement des lieux et, parfois, d'être contraint de « mettre la clef sous le paillason ». (Jadoul, 2020).

La sensation de confort thermique est fonction de plusieurs paramètres :

- Les paramètres physiques d'ambiance, au nombre de quatre, sont la température de l'air, la température moyenne radiante, la vitesse de l'air, et l'humidité relative de l'air.
- Les paramètres liés à l'individu, ils sont multiples, on recense notamment deux paramètres principaux qui sont l'activité et la vêtue de l'individu.

-Les Paramètres liés aux gains thermiques internes, gains générés dans l'espace par des sources internes autres que le système de chauffage. (Éclairages, appareils électriques, postes informatiques ...). (MAZARI, 2012).

Dans l'ouvrage intitulé *Traité d'Architecture Bioclimatique*, est proposée une classification de climats dont on retient les principes suivants : Il est possible de distinguer quatre types de climats en fonction de la température :

- ✓ Froid, pour des températures moyennes annuelles de moins de 10°C.
- ✓ Tempéré, pour des températures moyennes annuelles comprises entre 10 et 20°C.
- ✓ Chaud, pour des températures moyennes annuelles comprises entre 20 et 30°C.
- ✓ Très chaud, pour des températures moyennes annuelles supérieures à 30°C.

Ensuite, en fonction de l'humidité, il est aussi possible de discerner deux catégories de climats.

- ✓ Sec, pour une humidité relative inférieure à 55%,
- ✓ Humide, pour une humidité relative supérieure à 55%. (Chahwane, 2011).

4.5. Influence de l'humidité sur le confort thermique :

L'importance de l'humidité de l'air intérieur vient du fait que la qualité de l'air intérieur et le climat intérieur ont une influence sur le confort des occupants, leur santé et leurs productivités L'humidité a une faible influence sur le confort thermique général (c'est-à-dire pour tout le corps de l'occupant) mais elle se fait sentir en confort local par une gêne sur la respiration et la perception de la qualité d'air intérieur. (Harijaona, 2011).

4.6. Indices du confort thermique :

4.6.1. Le vote moyen prévisible (PMV) :

Le vote moyen prévisible était défini par Fanger en 1972. Il relie le simple équilibre d'énergie du corps humain au confort thermique de la personne. La valeur du PMV est utilisée entre -4 (très froid) à +4 (très chaud), mais comme elle a une relation avec l'équilibre d'énergie, elle pourra aussi atteindre des valeurs plus élevées ou plus basses. (RAMOUL, sans date).

Tableau 01 : Classification des valeurs du PMV selon les sept échelles de confort de « ASHRAE ».

Valeur du " PMV "	Sensation humaine
-3	Très froid
-2	Froid
-1	Frais légèrement frais
0	Confortable
+1	Légèrement chaud
+2	Chaud
+3	Très chaud

4.6.2. Le vote de sensation effective (ASV)

4.6.3. La température moyenne radiante (MRT)

4.6.4. La température physiologique équivalente (PET).

4.7 Modèle des confor

Nous avons abordé précédemment les 3 confor

4.7.1. Confort thermique : Les températures de confort sont prises en considération de manière différente pour l'hiver et pour l'été. Pour le confort hivernal, nous considérons que la température intérieure, par exemple d'une maison individuelle, ne doit pas être inférieure à 19°C lors de l'occupation et à 16°C en inoccupation (hors longue période d'absence). Le seuil de 16°C est aussi applicable pour la nuit lorsque les occupants dorment parce qu'ils peuvent supporter une température plus basse durant leur sommeil. Pour le confort estival, la température à l'intérieur du bâtiment ne devrait pas excéder un seuil de 26°C en occupation.

4.7.2. Confort visuel : L'obtention d'un environnement visuel confortable dans un bâtiment devient de plus en plus importante pour les occupants.

4.7.3. Qualité de l'air : La concentration de CO2 dans l'air intérieur du bâtiment est un critère important du confort aéraulique. Selon l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, la concentration maximale de CO2 devrait être fixée à un seuil de 1000 ppm pour les bâtiments non résidentiels. Or, le niveau de CO2 à l'intérieur du bâtiment est fortement lié à la ventilation. En conséquence, une contrainte

sur la concentration de CO₂ devra être mise lors du choix des débits de ventilation. (Van Binh DINH, 2016).

5. Caractéristiques de l'enveloppe bâtie

L'enveloppe du bâtiment est l'un des postes les plus concernés par la réglementation. Plusieurs études sur l'isolation, l'inertie thermique, les enveloppes passives et hybrides ont été menées afin de créer des perspectives d'application sur les bâtiments. (MERABTINE, 2012).

L'enveloppe extérieure d'un bâtiment sépare et protège l'intérieur d'un climat souvent variable, elle joue un rôle déterminant dans les échanges thermiques, entre les ambiances extérieures et intérieures, grâce aux propriétés thermophysiques des matériaux qui la constituent. C'est en fonction de ces propriétés que la chaleur en provenance de l'extérieur peut être amortie et même subir un retard avant son arrivée dans l'espace intérieur. (LABRECHE, 2014).

L'enveloppe d'un bâtiment correspond à la notion de couvert, tant en ce qui concerne la couverture que les façades ou les parties enterrées. C'est l'interface entre un espace qui doit satisfaire les besoins de confort et de protection de ses occupants, et un environnement extérieur. (Zairi, et al, 2013).

5.1. Matériaux de construction :

Les matériaux de construction influent sur la température de l'air intérieure et celle des surfaces internes, et ont un effet prépondérant sur le confort des occupants, dans les bâtiments dépourvus de moyens de contrôle mécanique des conditions climatiques internes (conditions naturelles). Ainsi que dans les bâtiments équipés de systèmes de chauffage et de climatisation, les propriétés thermo-physiques des matériaux ont une influence sur la puissance des installations techniques nécessaires au maintien du confort des occupants, ainsi que sur la température des surfaces internes, c'est pour cela, les matériaux ont une incidence sur le confort et sur le bilan énergétique, économique du bâtiment. (Benhouhou, 2012).

Si le matériau utilisé dans les pays européens est le bois, pour ses qualités d'isolation thermique, en Algérie, il s'agit de matériaux locaux comme la brique de terre ou le béton de terre stabilisée (BTS) et la pierre. En effet, la brique de terre cuite a une valeur de

conductivité thermique extrêmement faible grâce à la composition chimique et minéralogique de l'argile et de la terre cuite. (AHMARI I. et al, 2019)

5.1.1. Les propriétés thermo physiques des matériaux.

5.1.1.1 .La conductivité thermique λ (W/m°C) ;

un coefficient grâce auquel on quantifie le flux de chaleur qui s'écoule à travers une surface de 1m² lorsque la différence de température entre les deux faces est de 1°C, et sur une épaisseur de 1 mètre de matériau. Ce coefficient est inversement proportionnel à la capacité d'isoler de matériau c'est-à-dire ; plus le coefficient λ est faible, plus le matériau est isolant.

5.1.1.2.La capacité thermique C (J/kg°C) :

est la quantité de chaleur mise en réserve par le matériau lorsque sa température augmente de 1°C. Plus elle est élevée, plus la quantité d'énergie que peut stocker le matériau est grande et plus les variations de températures des parois et de l'air seront faible.

5.1.1.3. La diffusivité thermique d (m²/h) :

Caractérise la vitesse à laquelle la chaleur se propage, par conduction, dans un corps. Plus elle est faible, plus la chaleur mettra du temps pour traverser le matériau. En découle le déphasage, temps pour que l'onde de chaleur atteigne l'autre face de la paroi.(Arhab, 2014).

5.1.1.4.Résistance thermique : (LABRECHE, 2014).

Elle caractérise la capacité d'un matériau à ralentir le transfert de chaleur réalisé par conduction. Elle s'exprime en m².°C/W. La capacité isolante d'un matériau est mesurée par sa résistance thermique « R ». Un matériau à fort pouvoir isolant a une résistance thermique élevée et inversement. À l'inverse de la résistance, le coefficient de transmission surfacique « U », mesure l'aptitude d'un système à laisser passer la chaleur.

5.1.2. Construire en terre :

Durant toute la phase d'exploitation du bâtiment, la réversibilité des matériaux en terre crue rend les réparations et reprises aisées. De plus, les qualités de modération des variations hygrothermiques de la terre crue permettent une réduction des consommations énergétiques ainsi qu'une amélioration du confort et de la santé des occupants. (Lagouin, 2020).

La terre crue est un des matériaux de construction les plus anciens au monde. Cette technique

Constructive est apparue pour la première fois il y a 9 000-10 000 ans avec le développement de l'agriculture et des bâtiments sédentaires. La terre a été utilisée à travers le monde pendant des milliers d'années, comme en témoignent la Grande Muraille de Chine, la ville de Shibam au Yémen ou encore le patrimoine français (compose à 15 % en terre porteuse). Ce matériau a finalement été abandonné en Europe au cours des XIX^{ème} et XX^{ème} siècles, plus particulièrement au sortir de la Seconde Guerre mondiale, au profit de matériaux nécessitant moins de main-d'œuvre.

Aujourd'hui, la sauvegarde du patrimoine, d'une part, et la pertinence de l'emploi des ressources en matériaux, savoirs et savoir-faire localement disponibles, d'autre part, imposent de reconsidérer le matériau terre comme une alternative économique, écologique et performante. La terre comme matériau de construction offre une grande souplesse d'adaptation aux exigences contemporaines. (Lagouin, M. 2020).

5.2. L'isolation thermique :

L'isolation est parmi les mesures les plus efficaces en termes de réduction des déperditions thermiques. Le rôle de l'isolation thermique est de s'opposer au passage des flux de chaleur qui tendent à traverser l'enveloppe d'un bâtiment à travers des zones faibles et sensibles. Ces zones sont multiples et estimées aux portions suivantes : Murs 25%, fenêtre 13%, toiture 30%, ponts thermiques 5%, sol 3%. Plus le flux échangé entre l'ambiance intérieure et extérieure est important plus le confort thermique n'est plus garanti. La solution étant d'affaiblir ces transferts en intercalant des matériaux isolants afin d'améliorer la qualité thermique de l'enveloppe. Dans cette partie on essaiera d'appliquer une isolation au niveau des parois verticales et horizontales et d'améliorer la qualité thermique des vitrages. (Ben Amor, 2020).

La nouvelle technique utilisée pour l'isolation thermique a pour objectif de réduire les déperditions en hiver et les gains en été, ce qui permet de ne pas gaspiller beaucoup d'énergie et d'assurer, un meilleur confort thermique. (Benoudjafer. et al, 2012).

5.3. Protection solaire :

On entend par protection solaire, l'ensemble des paramètres qui ont pour effet de contrôler les échauffements dus aux apports solaires, par les parois transparentes, ou même par les parois opaques. Les dispositifs de protection solaire varient au niveau de la forme,

des matériaux et d'utilisation. Leurs formes et utilisations varient aussi selon le climat dominant, l'orientation des façades, les matériaux utilisés, l'architecte concepteur et le particularisme de la société. (LABRECHE, 2014).

Les protections solaires permettent de remplir plusieurs fonctions selon leurs caractéristiques et la situation donnée. Alors, le choix du type de protections solaires dépend de l'importance d'une telle fonction : (LABRECHE, 2014).

- ✓ Contrôler l'environnement visuel (couleur, lumière, contraste, vues vers l'extérieur) et limiter essentiellement l'éblouissement.
- ✓ Eviter la décoloration de certains matériaux.
- ✓ Participer à l'expression esthétique des façades du bâtiment
- ✓ Contrôler la température ambiante intérieure.
- ✓ Assurer l'intimité des occupants ou occulter un espace.
- ✓ Augmenter le pouvoir isolant des parois vitrées.
- ✓ Assurer la protection physique pour les vitrages.
- ✓ Contrôler la pénétration du rayonnement solaire direct, souvent indésirable dans les espaces intérieurs, ayant des impacts sur les charges de refroidissement à cause des surchauffes, la longévité des matériaux et le confort humain

5.4. Le vitrage :

5.4.1. Définition et composition

Le verre est un matériau homogène et un liquide sur-refroidi, obtenu suivant un procédé de refroidissement lent. Cette méthode de production, permet de maintenir le mélange (à l'état de viscosité) dans un état amorphe, ainsi les molécules s'organisent dans une structure non cristalline (sont disposées de manière désordonnées). Et cette raison, peut expliquer l'état de transparence du verre, par laquelle la lumière peut pénétrer sans aucune diffusion (Tahari, 2018).

5.4.2. Les propriétés thermiques des vitrages :

La connaissance fine des propriétés des vitrages est une étape primordiale dans la conception, puisqu'ils vont constituer non seulement une partie de la façade du bâtiment,

mais encore, une interface agissante entre le climat extérieur et les caractéristiques thermiques intérieurs. (Tahari, 2018).

5.4.2.1. Spectre solaire

Le spectre solaire est l'ensemble du rayonnement solaire s émise par le soleil et qui atteinne la terre à différentes longueurs d'onde. Ces rayons solaires se propagent sous forme d'une radiation électromagnétique, et sont distingués par leur longueur d'onde, ils se divisent en trois parties

5.4.2.2. Transmission lumineuse

Le facteur de transmission lumineuse exprime le pourcentage du rayonnement lumineux visible (longueur d'onde 380 à 780nm), que le verre le laisser passer directement à l'intérieur. Il constitue avec la taille des fenêtres vitrées les facteurs déterminants pour l'éclairage de l'espace intérieur.

5.4.2.3. Transmission énergétique

Lorsque le rayonnement d'énergie solaire (infrarouge) incidente sur le verre est divisé en trois parties, une portion transmise directement, une tranche réfléchi (réflexion), et une quantité absorbée par le verre. Cette dernière partie (absorbé) est restitué à l'environnement intérieur et extérieur par rayonnement et convection.

5.4.2.4. Le coefficient de transmission thermique

Le coefficient de transmission thermique U d'une paroi vitrée est la quantité de chaleur qui traverse cette paroi vitrée par unité de surface de 1m^2 et pour une différence de température de 1k entre l'air intérieur et l'air extérieur. Sa valeur s'exprime en $(\text{w}/\text{m}^2.\text{k})$, plus cette valeur est basse, plus cette paroi vitrée est meilleure en isolation thermique.

5.4.3. Double vitrage

Le verre est un matériau extraordinaire qu'il est maintenant possible d'employer sans craindre de trop grandes pertes de chaleur.

Quel type de vitrage choisir dans la maison des néga-watts ? Sans hésitation, optez pour le double vitrage à faible émissivité, appelé aussi vitrage à isolation renforcée (VIR). Par rapport à un simple vitrage, un double vitrage courant (appelé aussi vitrage isolant) diminue déjà les pertes de chaleur de 40 %. Il supprime les condensations sur la vitre et diminue la

très désagréable sensation de paroi froide. La distance à laquelle l'on ne ressent plus cet effet est de deux mètres pour un simple vitrage : elle se réduit à un mètre pour un double vitrage.

Le double vitrage anti-émissivité VIR à isolation renforcée comporte en face intérieure un revêtement spécial arrêtant le rayonnement infra-rouge émis par les parois et le mobilier d'une pièce. Son pouvoir isolant est ainsi nettement renforcé, augmentant de 20 à 30 % les performances du double vitrage pour un simple surcoût de 15 % environ. Avec ce type de vitrage, la sensation de paroi froide est réduite à soixante centimètres seulement. (Salomon et Bedel, 2004),

6. les exigences du confort thermique dans les régions arides :

Dans l'architecture traditionnelle des milieux arides, le confort de l'utilisateur était assuré par une combinaison de plusieurs stratégies passives de contrôle thermique, qui sont le résultat d'une connaissance approfondie des conditions climatiques. Ainsi, la réduction des températures internes pouvait être réalisée au moyen de concepts de refroidissement passifs tels que : évaporation, convection, rayonnement nocturne, ventilation, absorption de l'humidité en climat chaud et humide, radiation vers la voûte céleste, bâtiment enterré. (Mokhtari et al, 2008).

Un choix judicieux des matériaux de construction participe à la réduction des températures de l'air ambiant à l'intérieur des locaux. Leurs effets thermiques dépendent de deux qualités principales, la résistance thermique et la capacité calorifique. Les parois et le renouvellement de l'air sont les principales sources de déperditions thermiques dans une construction. Il faut donc, réduire les besoins en assurant une bonne étanchéité à l'air (isolation) et une bonne aération en privilégiant la ventilation naturelle. La conception du bâtiment doit mettre en œuvre des principes simples, basés sur le bon sens et qui ont prouvé leur efficacité dans les constructions anciennes. Elle doit être adaptée aux besoins saisonniers (chaleur en hiver, fraîcheur en été) et favoriser au maximum l'apport solaire passif et minimiser les déperditions. Dans ce cadre, nous dirons que l'architecture bioclimatique doit prendre en compte les principes suivants :

Utiliser des matériaux massifs pour augmenter l'inertie thermique,

- Supprimer les points faibles, tels que les ponts thermiques, ou les balcons qui font corps avec le reste du bâtiment, et agissent comme ailettes de refroidissement,

- Prévoir des vitrages isolants (par exemple double vitrage), qu'il faut protéger par des volets, des stores et des casquettes, tout en privilégiant l'éclairage naturel des espaces.
- Eviter les surchauffes estivales en protégeant le bâtiment par une végétation appropriée, f Utiliser des dispositifs architecturaux de protection tels que toiture opaque, casquette, etc. (Mokhtar et al, 2008).

7. La simulation thermique :

La simulation thermique des bâtiments est un outil d'interprétation des phénomènes thermiques qui se déroulent instantanément à travers l'enveloppe. Elle facilite le calcul de l'évolution de la température intérieure de l'ambiance du local, et permet ainsi de prédire la qualité du confort ainsi que la puissance du chauffage et/ou la puissance de refroidissement.

D'après (A. Liébard et A. De Herde), les courbes de températures seront étudiées, heure par heure, pour vérifier qu'il n'y a pas surchauffe ou sensation de froid. Enfin, le concepteur doit pouvoir vérifier que son projet est exempt de défauts tels que ponts thermiques ou risques de condensation.

Nous pouvons dire que l'outil de simulation nous permet de vérifier si notre projet ne risque pas de provoquer des situations d'inconfort à certaines périodes de l'année, ainsi que l'influence d'un ou de plusieurs paramètres sur le confort thermique, en plus de la possibilité de comparer plusieurs variantes.

8. Conclusion :

A travers ce chapitre, nous avons entamé une présentation des différents concepts liés au thème traité (le confort thermique, l'efficacité énergétique, les caractéristiques de l'enveloppe bâtie et les caractéristiques de zones arides). Cette présentation nous a permis de choisir les stratégies et les scénarios de l'optimisation énergétique et thermiques dans le cas d'étude. Et c'est grâce à cette partie théorique que nous avons maintenant les appuis qui serviront de bases pour la partie de simulation.

Le confort thermique c'est une nécessité dans les bâtiments résidentiels, du fait de son impact sur la qualité des ambiances thermiques intérieures. Et pour assurer le confort thermique et réduire la consommation énergétique doit utiliser de matériaux de construction de haute performance thermique, et tenant compte d'autres critères tels que l'isolation thermique, protection solaire et le double vitrage.

Chapitre02 : Optimisation Energétique et thermique de l'enveloppe du cas d'étude

Chapitre 3. Optimisation Energétique et thermique de l'enveloppe du cas d'étude :

1. Présentation de la ville :

Au Sud-ouest de l'Algérie, à près de 1400 km d'Oran, se dresse la ville saharienne d'Adrar, dont le nom en berbère (Adghagh) semble signifier (montagne, rocaille). (Trache, 2011).

La wilaya d'Adrar est limitée au nord par la wilaya de Timimoun, au Nord-ouest par la wilaya de Béni Abbés, à l'ouest par la wilaya de Tindouf, au sud par Bordj Badji Mokhtar, au sud-ouest par la Mauritanie, au sud-est par la wilaya de Tamanrasset et au nord-est par la wilaya d'In Salah.

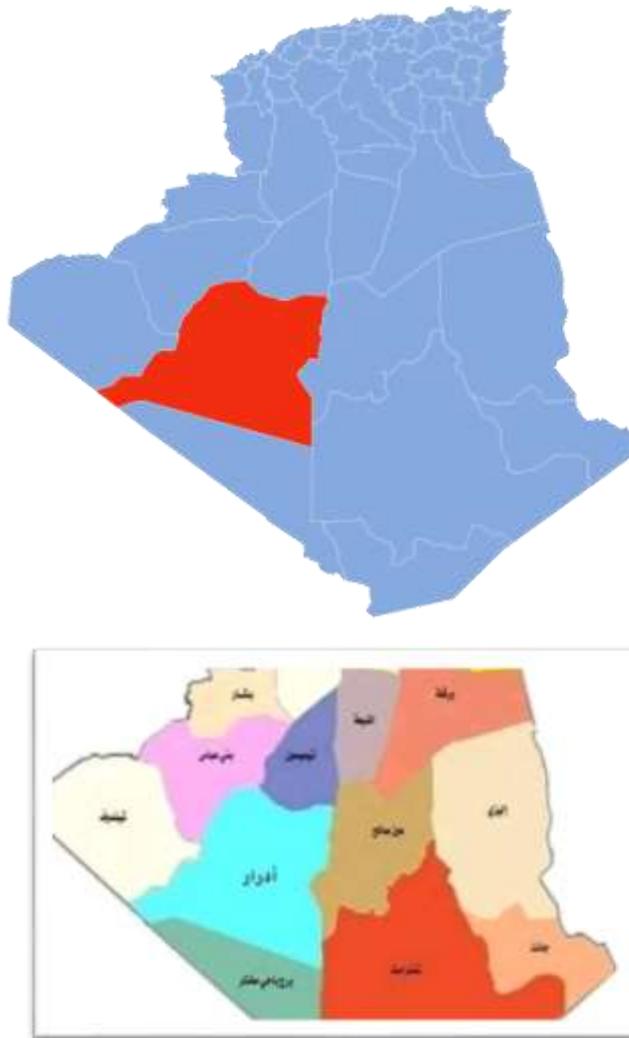


Fig04 : Situation géographique de la wilaya d'Adrar. (Sources : Wikipédia2021).

2. Caractéristiques climatiques de la ville d'Adrar :

Le climat de la région d'Adrar est caractérisé par un climat sec et une aridité sévère. L'aridité s'exprime non seulement par des températures élevées en été et par la faiblesse des précipitations, mais surtout par l'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air.

La température est élevée toute l'année, surtout pendant la période estivale où elle dépasse des seuils au-delà desquels la vie devient impossible. (BELLAL, 2016).

La pluviométrie est extrêmement faible sinon insignifiante, sauf dans la région de Timimoun qui, essentiellement en raison de sa situation géographique, enregistre parfois de fortes chutes de pluie. La température maximale en été (plus de 45° C en juin, juillet, août) laisse place à un froid glacial en hiver (atteignant parfois les 0° C en décembre et janvier).

L'humidité dépasse très rarement les 50% durant l'année. Par contre, l'insolation journalière dans la région du Touat et dans le Gourara est forte (7 à 8 heures en hiver et 10 à 11 heures en été). Elle se traduit par une évaporation très élevée durant l'année. On enregistre un minimum hivernal et un maximum estival très marqués, soit respectivement 104,4 mm et 723,8 mm pour Adrar, et 148,9 mm et 635,9 mm pour Timimoun. La fréquence des vents est très grande durant toute l'année : 50% à Adrar et 30% à Timimoun, avec un maximum de fréquence pour la période de mai à septembre. (BELLAL, 2016).

2.1. Température

Tableau 02 : Températures moyennes mensuelles (source : station métrologique d'Adrar).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T °C	12	15	20	24	28	34	37	36	32	25	17	13

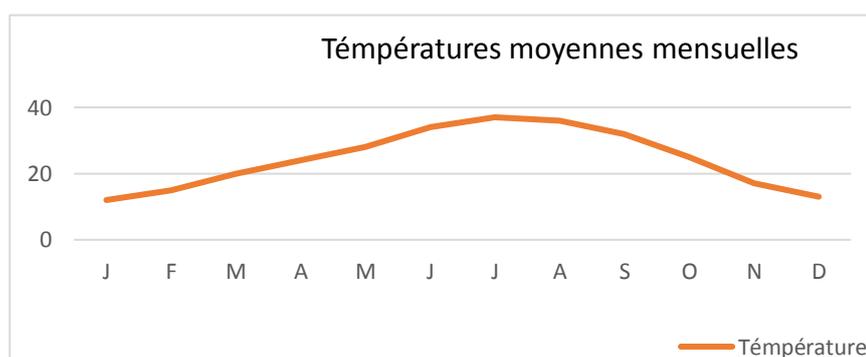


Fig05 : Variations moyennes mensuelles des températures.

2.2. Précipitations :

Tableau 03 : Les moyennes mensuelles des précipitations (en mm) (source : station métrologique d'Adrar).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Précipitation (mm)	5.4	0.4	2.3	1.7	0.1	0.1	0	0.2	0.1	0	0.7	0.9

2.3. L'enseillement

Tableau 04 : Les moyennes mensuelles d'enseillement (Source : station métrologique d'Adrar).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Enseillement h/jour	8.4	9.4	9.3	9.6	10.6	11.1	10.9	10.1	9.4	9.1	9	8.6

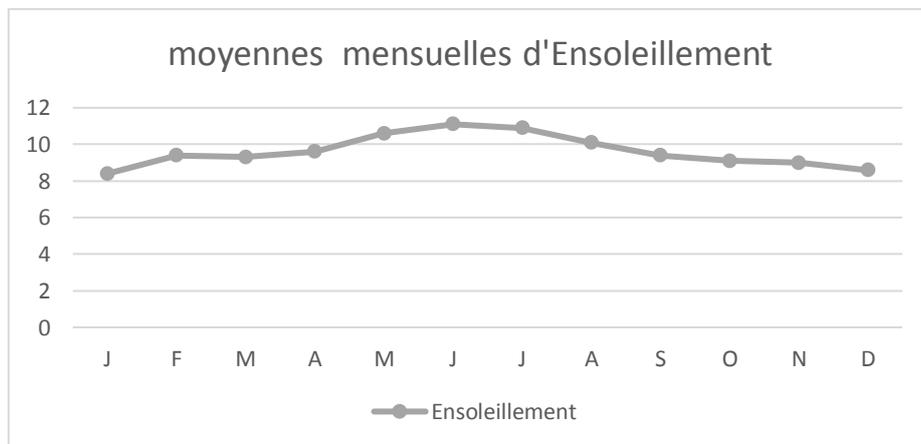


Fig06: Variations moyennes mensuelles d'enseillement.

La construction dans les zones arides se caractérise par inconfort en hiver et en été.

- L'utilisation du système de climatisation diminue les problèmes d'inconfort provenant de l'extérieur (chaleur, bruit, poussière, ...).
- L'électricité est l'énergie de climatisation la plus utilisée. Le gaz est l'énergie utilisée pour le chauffage et l'eau chaude.

- Les plupart des gens trouvent que la solution d'amélioration des systèmes de chauffage et de climatisation, mais elle ne contribue pas à la diminution de consommation de l'énergie. (Benoudjafer, 2018)

3. DESCRIPTIONS DU BATIMENT D'ETUDE

Nous avons choisi un projet réalisé en 2014 à la commune de Adrar, comprend 25 logements LPA type F3 en RDC. Chaque logement est compose de trois pieces + terrasse accessible.

Immeuble choisi situé dans un quartier résidentiel de 25 logements LPA, d'une hauteur de 5.60m (3.60 m hauteur de logement+ 2.00m hauteur de terrasse accessible).

Fig. 07: PLAN DE MASSE DE PROJET (25 Logements LPA).

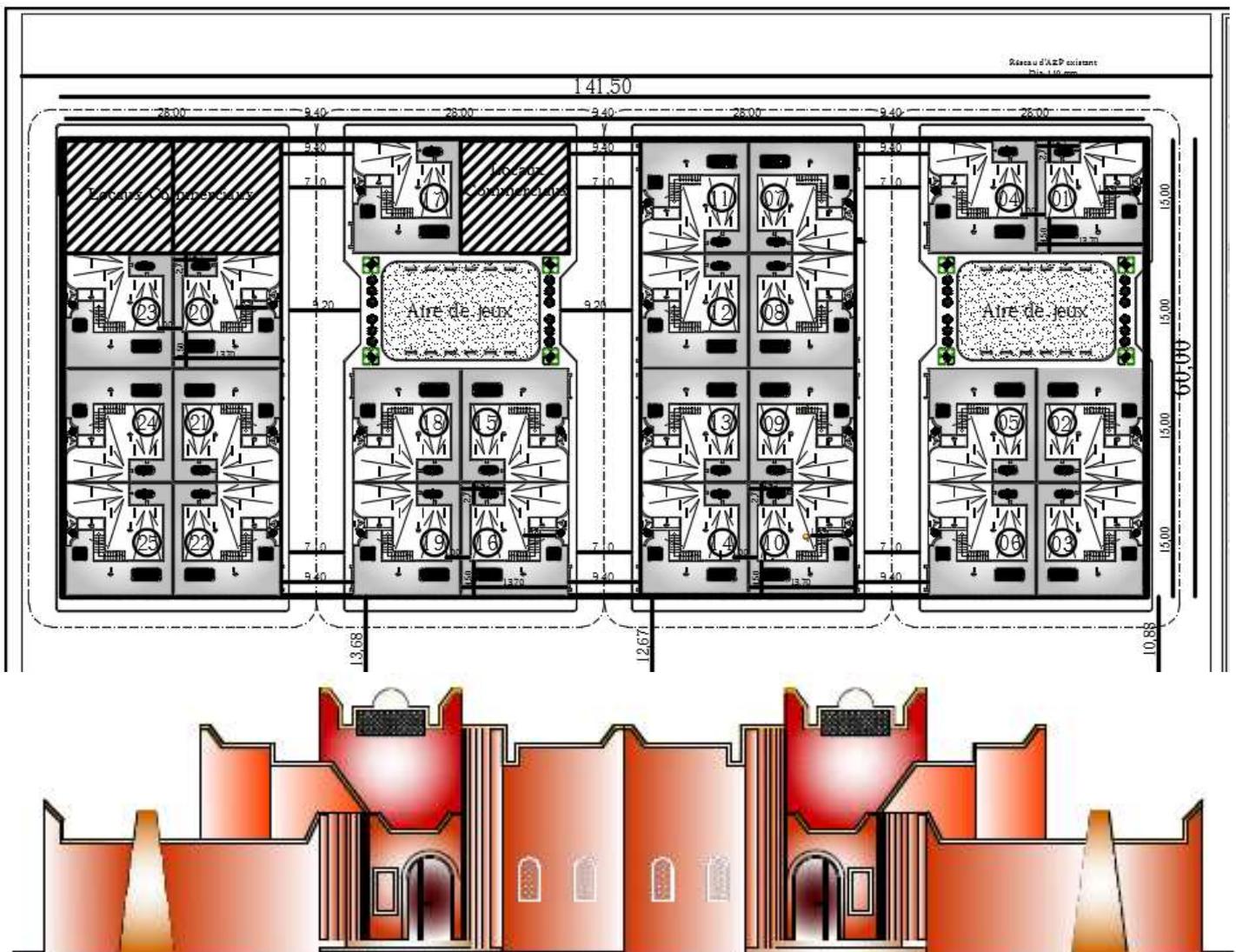


Fig08 : Façade principale de l'appartement étudié.



Fig.09 : Vues du cas de référence.



Fig 10 : Plan de l'appartement étudié.

L'appartement d'étude comprend trois pièces principales, deux chambres, un séjour, et une cuisine donne sur la cour, et les sanitaires. La surface totale de cet appartement est de 220 m² y' compris la surface de la cour. la surface habitable est de 73.04 m² .

Le toit est en bloc en hourdis de 16 cm avec une dalle pleine de 4cm. La face extérieure est pré-laquée d'une couleur rouge. Les fenêtres sont de dimensions 1.2mx1.2m avec vitrage pour les zones de vie, 0.60mx0.60m pour la salle de bain et de 1mx0.60m pour la cuisine.

Tableau .05 : composition des parois model. (source :Auteur)

Paroi	Constitution de mur (exter vers inter)	Epaisseur
Mur extérieur	Enduit extérieur	02 cm
	Brique 15 cm	15 cm
	Lame d'air	05cm
	Brique 10 cm	10 cm
	Enduit intérieur	02 cm
Mur intérieur	Enduit intérieur	02 cm
	Brique 10 cm	10 cm
	Enduit intérieur	02 cm
Plancher/Toiture	Mortier en ciment	02 cm
	Sable	02 cm
	Etanchéité	01 cm
	Béton arme	04 cm
	Hourdis	16 cm
	Enduit intérieur	02 cm
Plancher bas	Carrelage	03 cm
	Mortier en ciment	02 cm
	Sable	02 cm
	Béton	05 cm

Tableau n06 : Description des matériaux et des systèmes constructifs. (Benoudjafer, 2018)

Enveloppe Référence	Description	Ep (m)	Conductivité λ W/(m. K)	Chaleur spécifique (J/KG-K)	Densité ρ (kg/m ³)	Ep total (m)
Mur extérieur	Enduit extérieur en ciment	0.02	1.4	650	2100	0.34
	Brique ép. =15cm	0.15	0.3	840	1000	
	Lame d'air	0.05	Résistance thermique = 0.11			
	Brique 10 cm	0.10	0.3	840	1000	
	Enduit intérieur en ciment	0.02	1.4	650	2100	
Mur intérieur	Enduit intérieur en ciment	0.02	1.4	650	2100	0.14
	Brique 10 cm	0.10	0.3	840	1000	
	Enduit intérieur en ciment	0.02	1.4	650	2100	
Plancher/Toiture	Mortier en ciment	0.02	1.4	650	2100	0.31
	Sable gravier	0.05	1.74	840	2240	
	Etanchéité	0.02	0.5	1000	1700	
	Dalle en béton armé	0.04	0.16	840	500	
	Hourdis	0.16	0.16	840	500	
	Enduit intérieur en ciment	0.02	1.4	650	2100	
Plancher bas	Carrelage	0.03	0.69	840	1120	0.20
	Mortier en ciment	0.02	1.4	650	2100	
	Sable gravier	0.05	1.74	840	2240	
	Dalle flottante	0.10	0.16	840	500	

4. Protocole de simulation :

4.2. Présentation de logiciel de simulation :

DesignBuilder est un logiciel pour les simulations de construction développé par la société DesingBuilder en Angleterre. On simule l'environnement comme la lumière, la température, le CO2 pour les modèles créés en utilisant EnergyPlus qui est un programme de simulation de l'énergie des immeubles que développe le Ministère américain de l'énergie.

C'est un logiciel qui permet de concevoir un bâtiment pour un modèle d'économie d'énergie en tenant compte de l'environnement dès la conception. Il est très bien pour les architectes,

les ingénieurs en construction, les consultants en énergie, les étudiants. (DesingBuilder Maroc, catalogue de presentation).

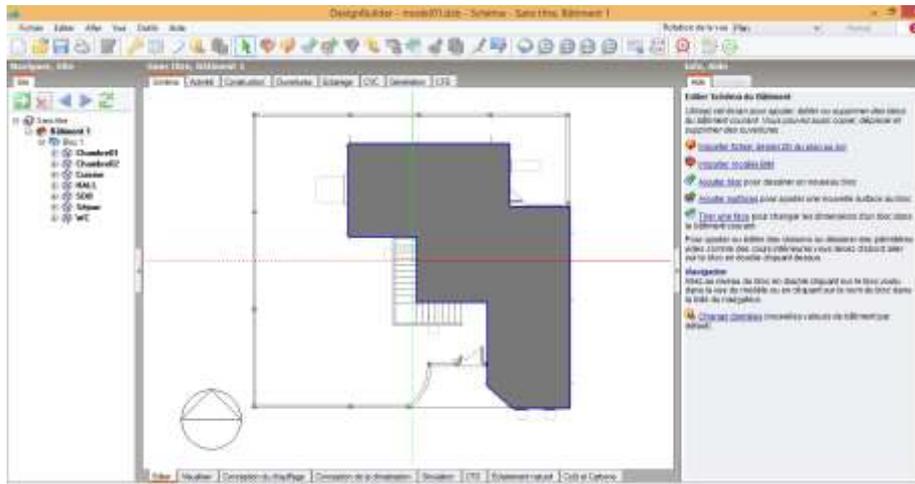


Fig. 11 : Schéma de modélisation de DesingBuilder. (Source : Auteur)



Fig. 12 : Schéma de simulation de DesingBuilder. (Source : Auteur)

4.3. Simulation de cas de référence :

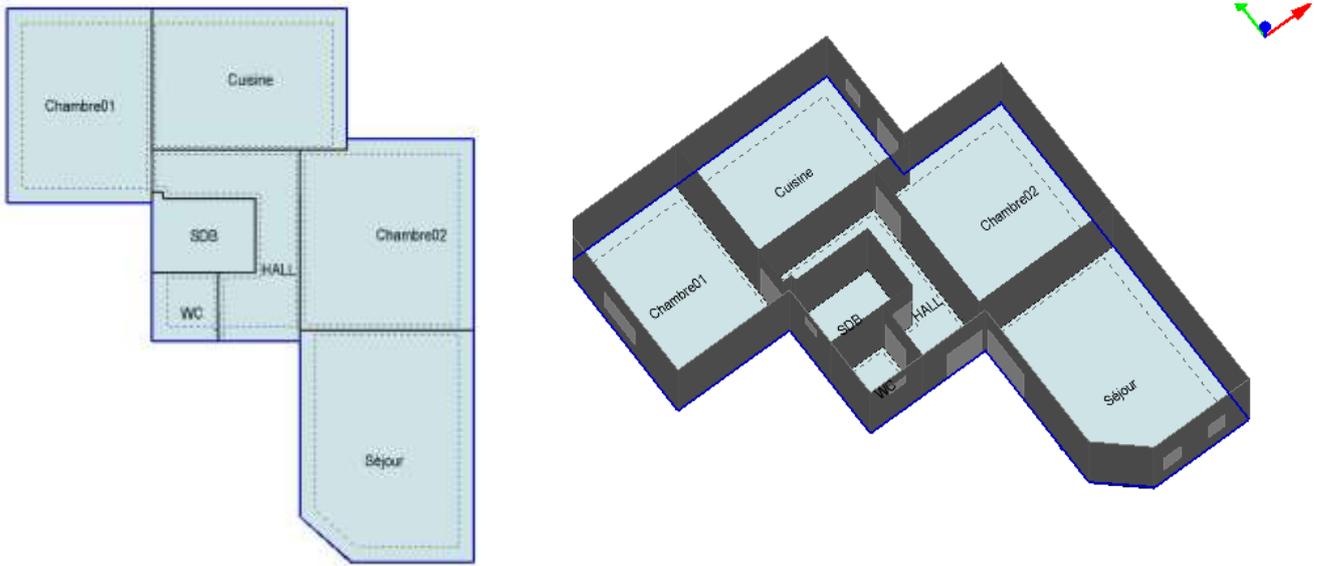


Fig.13 : Schéma de modélisation de bâtiment d'étude. (Source : Auteur)

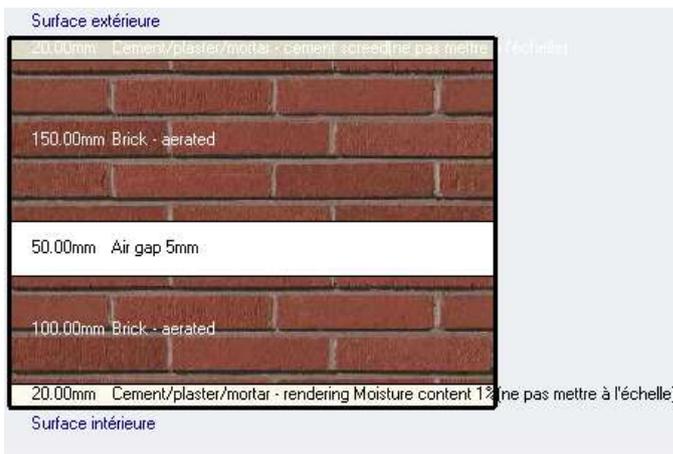


Fig.14 Coupe sur mur extérieur e=30cm

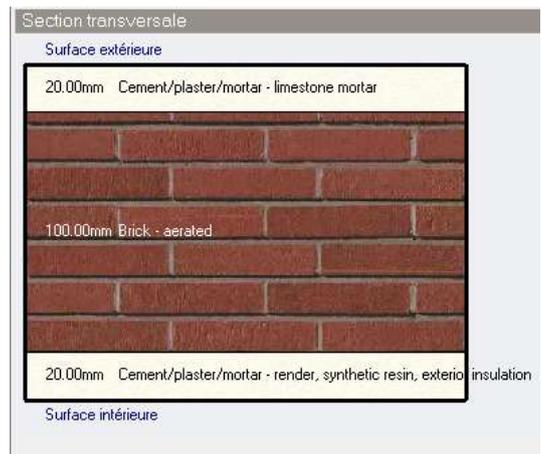


Fig.15 Coupe sur mur intérieur e=10cm

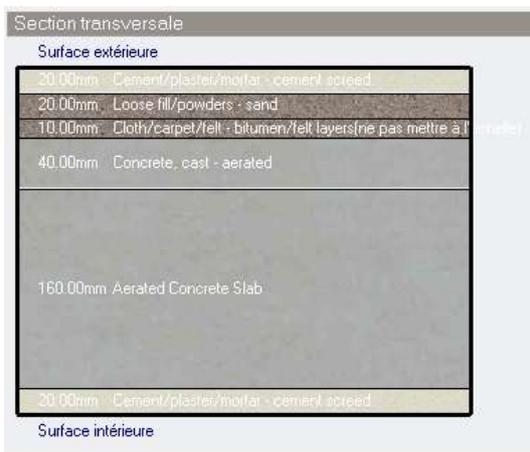


Fig.16 .Coupe sur plancher 16+4



Fig.17 Coupe sur plancher bas sur terrain

5. Simulation et exploitation des résultats :

5.1. Enveloppe Opaque :

5.1.1. Matériaux :

Tableau .07 : Les résultats de la Simulation des matériaux (Annuelle).

Matériaux	Référence Brique	Béton	Pierre	Terre crue
Chauffage (kwh)	207	160	218	184
Climatisation (kwh)	923	1139	944	957
Heurs d'inconfort (h)	1518	1498	1621	1551

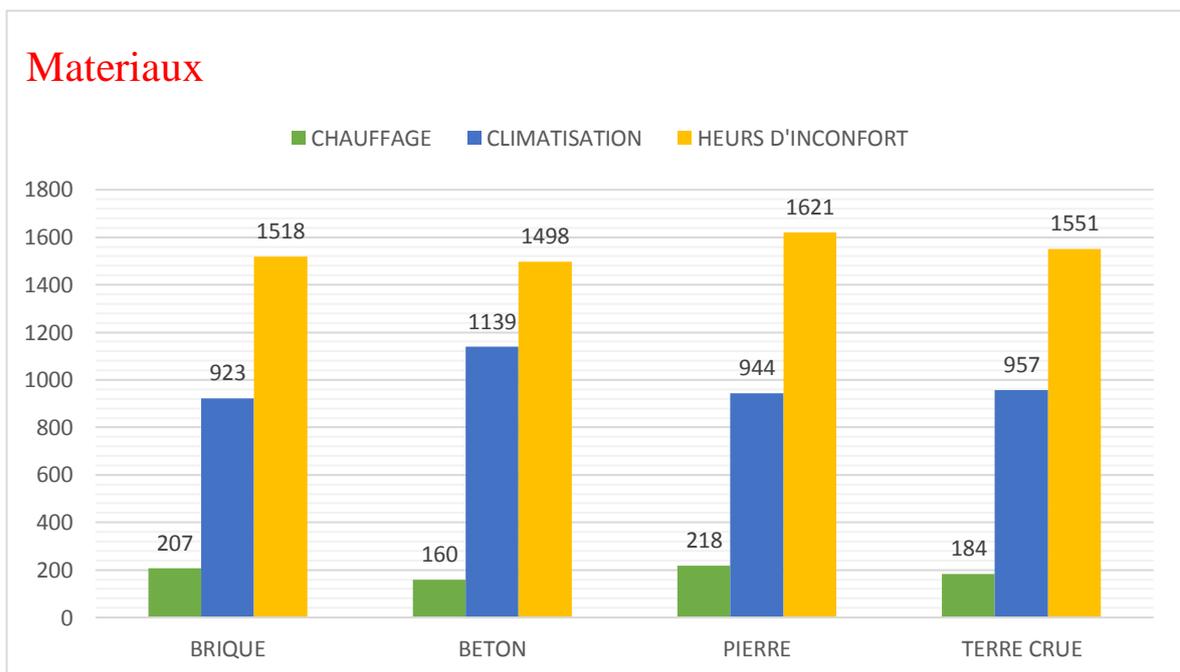


Fig.18 : Les résultats de la Simulation des matériaux (Annuelle) (source : Auteur)

En vue le tableau (n° 07) on trouve que la quantité de consommation de gaz (chauffage) lorsque nous avons utilisé le béton était moindre par rapport aux autres matériaux, où nous avons enregistré une quantité de 160 kwh .Le maximum de consommation de gaz est enregistré lié à l'utilisation de la pierre (218 kwh).

Nous pouvons constater dans ce tableau que le taux d'inconfort pour la pierre est plus élevé par rapport les autres matériaux, est 1621h/an. Pour les autres matériaux, nous pouvons remarquer des états d'inconforts presque comparables.

Et pour la climatisation, on trouve la quantité de consommation de la climatisation pour le brique est égale 923 kwh, est plus économique par rapport les autres matériaux. Le maximum de consommation de climatisation est enregistré lié au béton (1139 kwh).

5.1.2. Isolation sur mur extérieur :

Tableau.08 : Les résultats de la Simulation des isolations

Isolation sur mur	Reference brique	Polystyrène 3cm	Polystyrène 6cm	Polystyrène 9cm
Chauffage (kwh)	207	180	164	154
Climatisation (kwh)	923	753	646	582
Heurs d'inconfort (h)	1518	1432	1332	1230

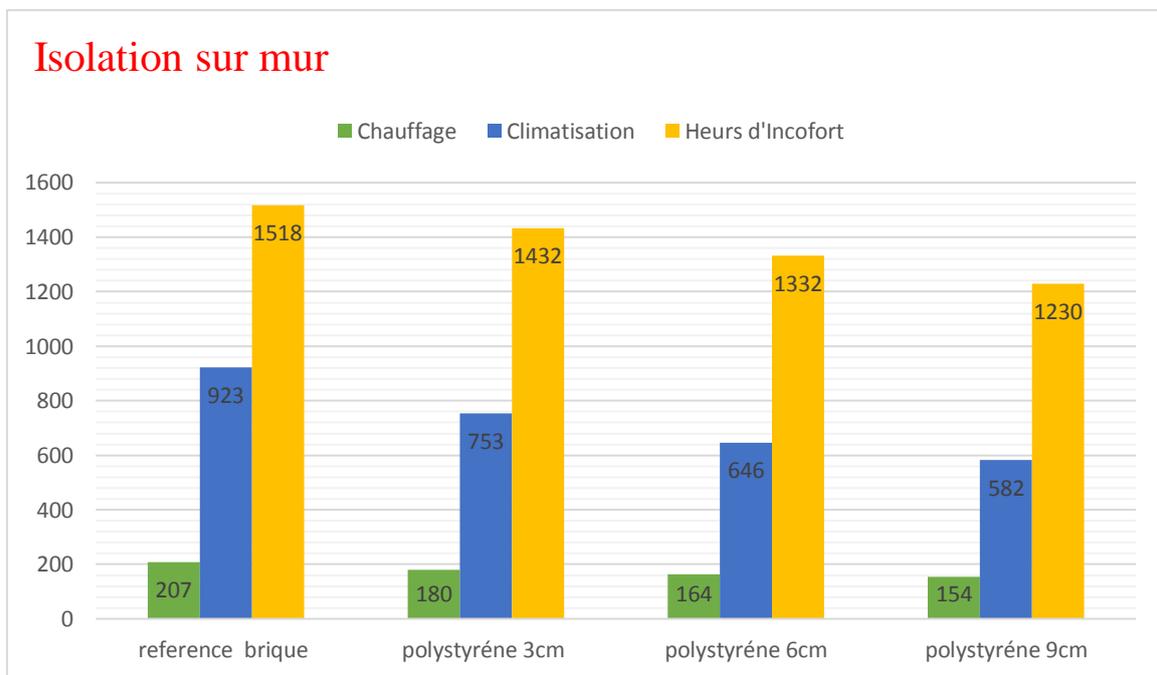


Fig19 : Isolation sur mur extérieur (3cm, 6cmc, 9cm) (source : Auteur)

La figure N°19 montre les résultats de simulation de l'isolation sur mur extérieur. Nous pouvons observer que la consommation de gaz (chauffage) pour l'isolation d'épaisseur de 9 cm est égale **154 kWh** (la valeur plus bas par rapport l'autre épaisseur). La même observation s'applique aux heures de d'inconfort et la climatisation. Et Plus l'isolation thermique est élevée, plus la consommation d'énergie est diminuée. Est même remarque pour les heures d'inconfort, où plus l'isolation thermique est élevée, les 'heures d'inconforts sont diminués.

5.2. Enveloppe Vitré :

5.2.1 Verre (double vitrage)

Tableau09 : Les résultats de la Simulation de double vitrage

verre	Reference	Double vitrage
Chauffage (kWh)	207	240
Climatisation (kWh)	923	808
Heurs d'inconfort (h)	1518	1545

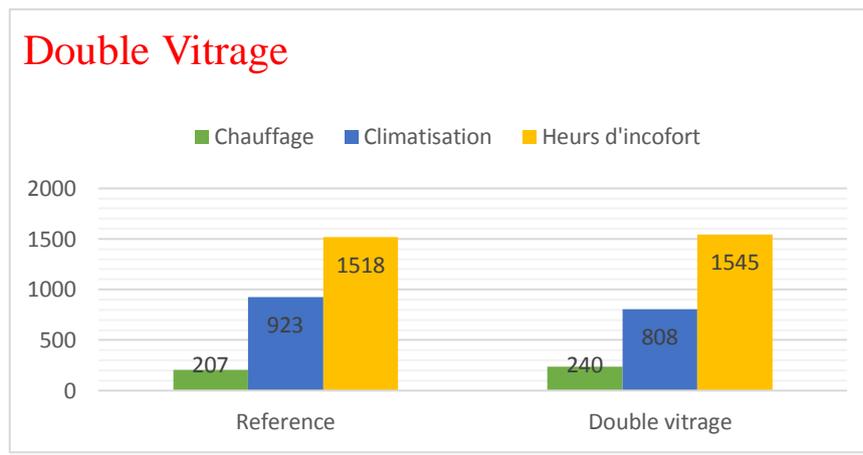


Fig.20 : model de base avec double vitrage. (source : Auteur)

L'utilisation de double vitrage ne signifie pas nécessairement l'utilisation optimale de l'énergie, car les résultats de la figure n°20 montrent que la quantité d'énergie consommée liée à la climatisation augmentait lorsque l'on utilisait du double vitrage. la consommation de l'énergie de climatisation est diminuer de **923 kWh** à **808 kWh** après l'usage le vitrage doublé.

Et pour les heurs d'inconfort, nous pouvons remarquer des états d'inconforts constants. Mais l'importance de double vitrage apparaît en chauffage, la quantité d'énergie est passée de **1518 kWh** à **1545 kWh**.

5.2.2. Protection Solaire :

Tableau.10 : Les résultats de la Simulation de protection solaire

	Reference	Protection solaire 0.5m	Protection solaire 1m	Protection solaire 1.5m
Chauffage (kWh)	207	222	225	226
Climatisation (kWh)	923	863	870	862
Heurs d'inconfort (h)	1518	1524	1531	1532

Protection solaire

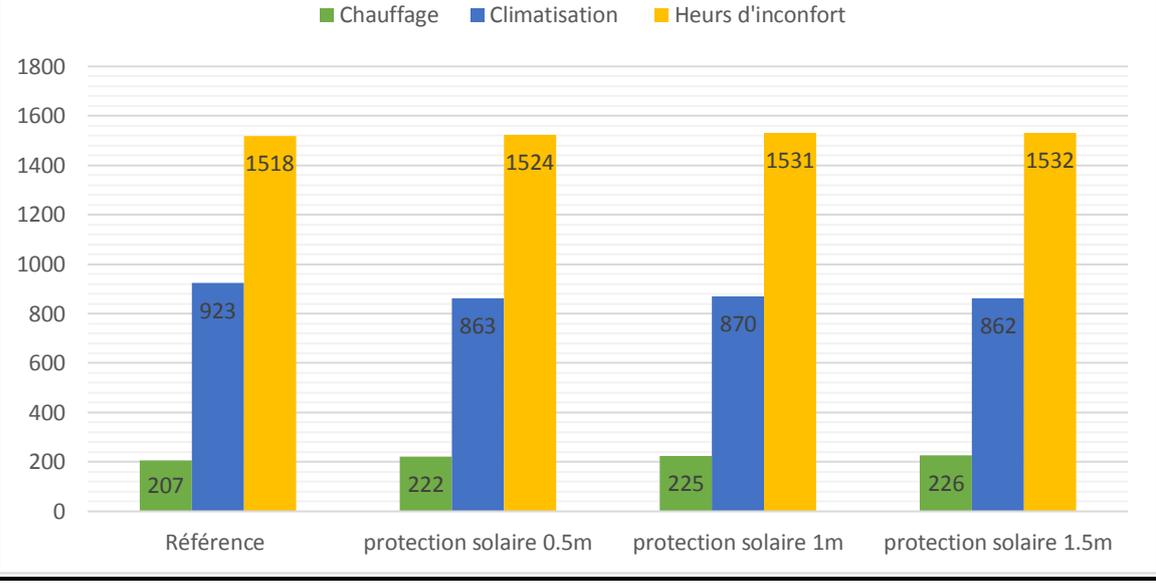


Fig.21 : Model de base avec la protection solaire. (Source : Auteur)

En vue la figure (n^o :21), nous constatons que l'utilisation de la protection solaire diminue dans la consommation d'énergie liée à la climatisation, où, lorsque nous avons utilisé la protection solaire **0,5m** la quantité de consommation d'énergie a été réduite de **923kwh** à **863kwh**, et la quantité diminuée pour vous protection solaire accrue de sorte que nous avons enregistré à 870 kWh pour le **1m** et 862 kWh pour **1,5m**.

Au contraire, pour la quantité de consommation de chauffage, plus la protection solaire est élevée, plus la consommation d'énergie est élevée. **207kwh** pour le modèle de référence, (222 kWh, **0.5m**), (222 kWh, **1.0m**), (222 kWh, **1.5m**). Et pour les heurs d'inconfort, nous pouvons remarquer des états d'inconforts sont presque constants. **1518h** pour le modèle de référence, (1524h, **0.5m**), (1531h, **1.0m**), (1532h, **1.5m**). Ils limitent la pénétration du rayonnement solaire en été.

Dans la conclusion de cette partie, on peut dire qu'il est possible d'améliorer le confort thermique et de réduire la consommation d'énergie dans la climatisation et le chauffage, car l'utilisation du béton dans la construction des murs extérieurs est optimale pour atteindre les heures de repos thermique les plus élevées par rapport à d'autres matériaux, mais nécessite la plus grande consommation d'énergie pour la climatisation (**1139k kwh**) et la plus faible consommation d'énergie pour le chauffage (**160 kwh**).

6. Présentation des scénarios proposés pour l'amélioration de la performance énergétique au niveau de l'enveloppe : Des stratégies pour limiter l'inconfort.

6.1. Etude de 6 modèles de simulation :

Tableau.11 : 06 scénarios proposés pour l'amélioration de la performance énergétique au niveau de l'enveloppe. (Source : Auteur)

Model	Description du modèle
Scénario 01	Brique+ double vitrage+ Protection solaire 0.5m+ Isolation 3cm – 6cm – 9cm
Scénario 02	Brique+ double vitrage+ Protection solaire 1m+ Isolation 3cm – 6cm – 9cm
Scénario 03	Brique+ double vitrage+ Protection solaire 1.5m+ Isolation 3cm – 6cm – 9cm
Scénario 04	Terre crue + double vitrage+ Protection solaire 0.5m+ Isolation 3cm – 6cm – 9cm
Scénario 05	Pierre + double vitrage+ Protection solaire 0.5m+ Isolation 3cm – 6cm – 9cm
Scénario 06	Béton + double vitrage+ Protection solaire 0.5m+ Isolation 3cm – 6cm – 9cm

Scénario 01 :

Tableau.12 : Scénario 01

	Reference Brique	Brique+ double vitrage+ Protection solaire 0.5m+ Isolation 3cm	Brique+ double vitrage+ Protection solaire 0.5m+ Isolation 6cm	Brique+ double vitrage+ Protection solaire 0.5m+ Isolation 9cm
Chauffage (kWh)	207	195	178	169
Climatisation (kWh)	923	686	579	515
Heurs d'inconfort (h)	1518	1429	1315	1207

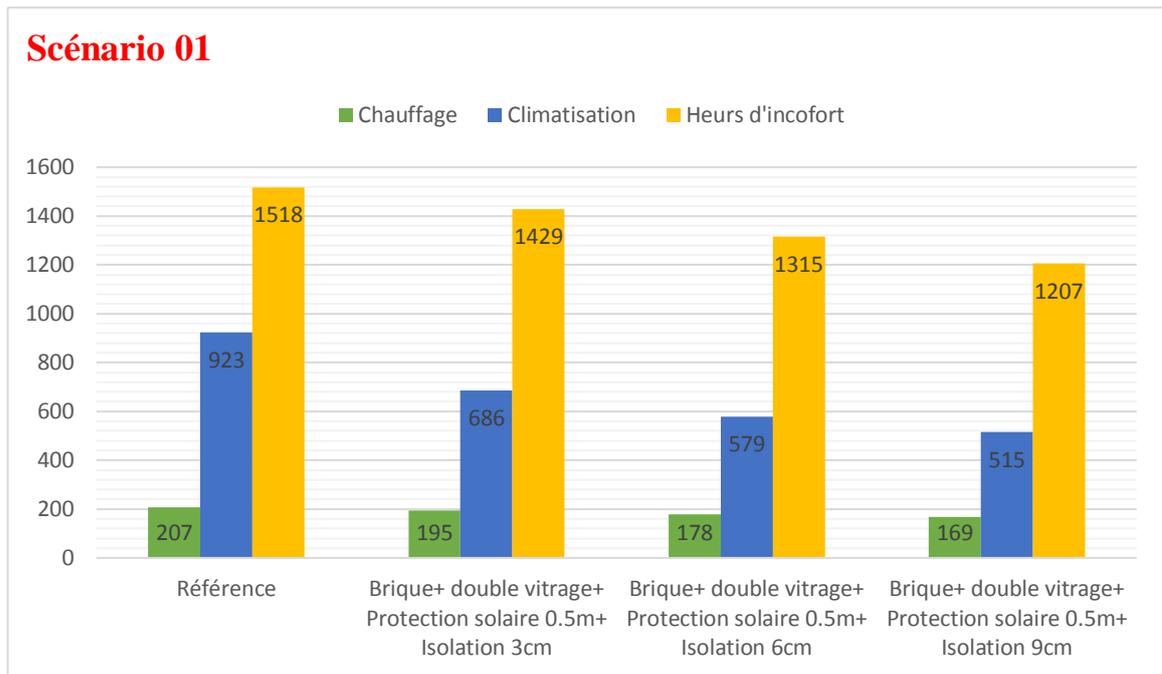


Fig.22 : Scénario 01 (source : Auteur)

En vue le tableau précédent, nous pouvons remarquer clairement les points positifs du mélange des cas disponibles, où l'on retrouve la réduction des heures d'inconfort thermique de **1518 heures** à **1207heures** lors du mélange de briques, de verre double, d'isolation thermique(utilisant des plaques en polystyrènes expansées, de **9cm**) et de protection solaire **0,5m**.

Concernant le chauffage et la climatisation, toujours l'isolation de **9cm** répond à la satisfaction des besoins de confort thermique, et bien sûr diminuer le taux de consommation de chauffage et de climatisation.

Scénario 02 :

Tableau.13 : Scénario 02

	Reference Brique	Brique+ double vitrage+ Protection solaire 1m+ Isolation 3cm	Brique+ double vitrage+ Protection solaire 1m+ Isolation 6cm	Brique+ double vitrage+ Protection solaire 1m+ Isolation 9cm
Chauffage (kWh)	207	201	183	174
Climatisation (kWh)	923	671	565	501
Heurs d'inconfort (h)	1518	1441	1326	1222

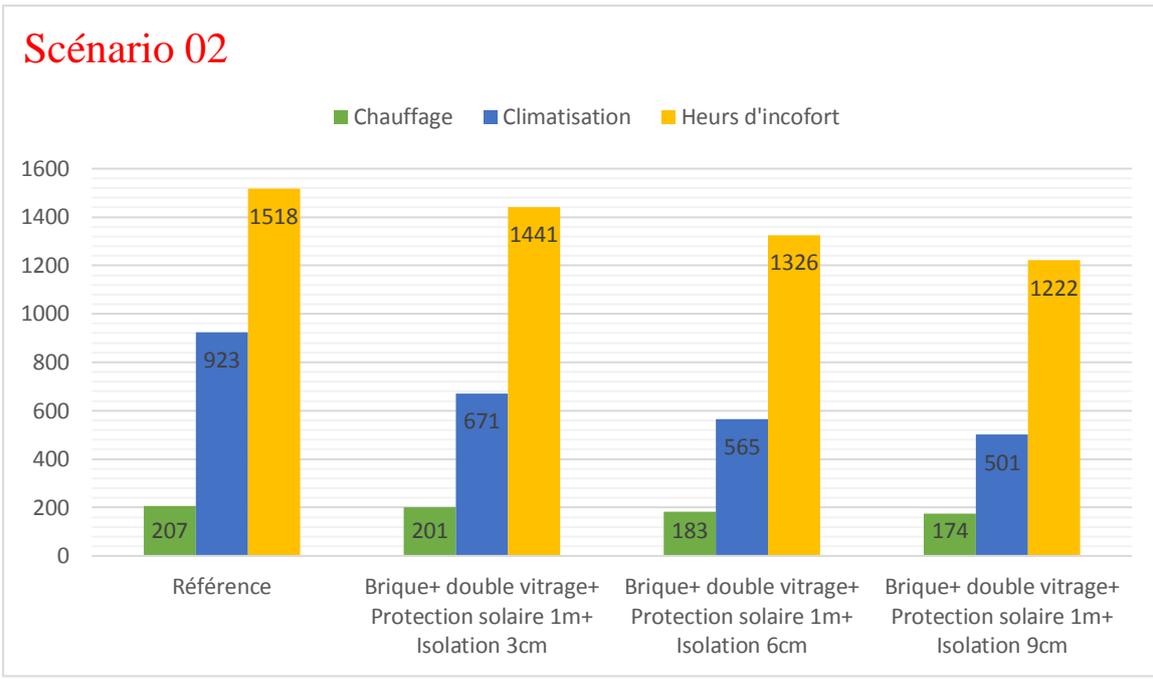


Fig.23 : Scénario 02(Source : Auteur)

La figure N°23 explique le scénario 02 dans lequel des briques ont été utilisées dans la construction de murs ainsi que du double vitrage dans les fenêtres, une protection solaire de **1 m** et une isolation thermique utilisant du polystyrène de 3 cm, 6 cm, 9 cm, où les résultats de la simulation numérique montrent que la situation dans laquelle l'isolation thermique a été utilisée de 9 cm est la plus économe en énergie et idéale pour fournir des heures de confort thermique. La consommation d'énergie pour la climatisation diminuée de **207kwh** à **174kwh**. Et pour les heures d'inconfort est diminué de **1518 h** à **1222 h** Lorsque l'isolation thermique fait 9 cm d'épaisseur

Scénario 03 :

Tableau.14 : Scénario 03

	Reference Brique	Brique+ double vitrage+ Protection solaire 1.5m+ Isolation 3cm	Brique+ double vitrage+ Protection solaire 1.5m+ Isolation 6cm	Brique+ double vitrage+ Protection solaire 1.5m+ Isolation 9cm
Chauffage (kWh)	207	202	184	175
Climatisation (kWh)	923	664	564	501
Heurs d'inconfort (h)	1518	1441	1330	1227

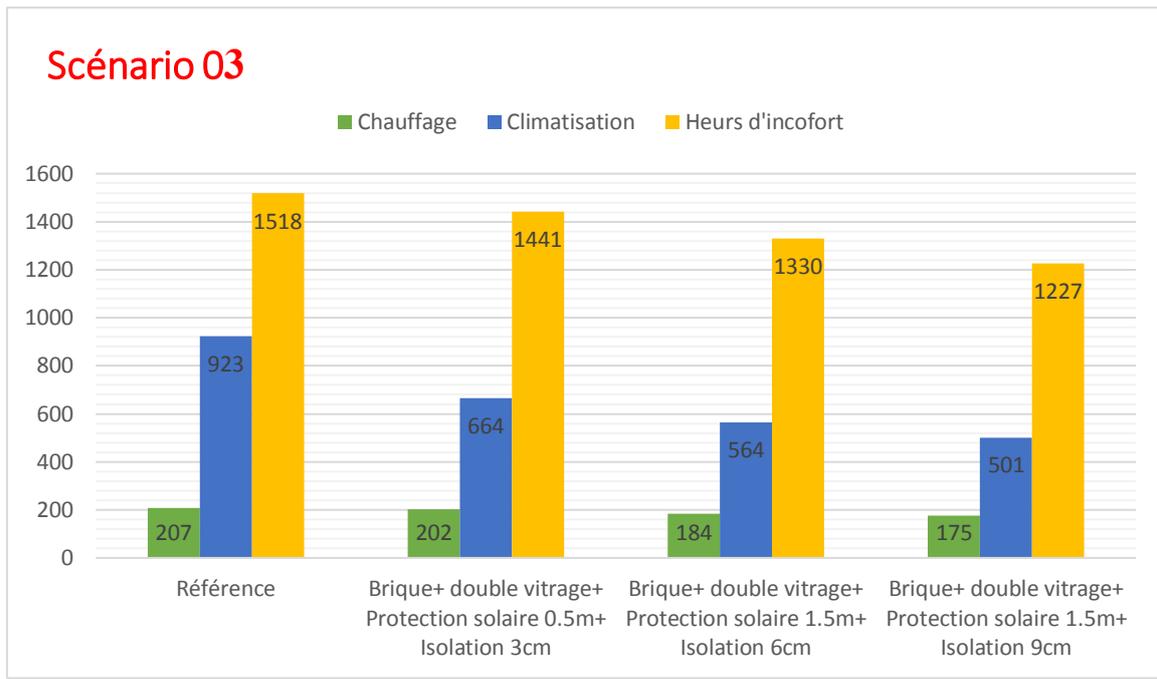


Fig.24 : Scénario 03. (Source : Auteur)

Le scénario N° 03 met en évidence le niveau minimal de consommation d'énergie dans la climatisation, atteignant 501kwh lors de l'utilisation d'une isolation thermique de **9 cm** et d'une protection solaire de **1,5m**. le résultat optimal dans tous les scénarios et situations proposés, soulignant la différence entre les résultats du modèle Le premier et les résultats de ce scénario, où les heures d'inconfort thermique ont diminué de 1518 heures à 1227 heures, l'énergie consommée dans la climatisation de **923kwh** à **501kwh** et l'énergie consommée dans le chauffage de **207kwh** à **175kwh**.

Scénario 04 :

Tableau 15 : Scénario 04

	Reference terre	Terre + double vitrage+ Protection solaire 0.5m	Terre + double vitrage+ Protection solaire 1.0m	Terre + double vitrage+ Protection solaire 1.5m
Chauffage (kWh)	184	196	199	202
Climatisation (kWh)	957	895	894	873
Heurs d'inconfort (h)	1551	1552	1558	1558

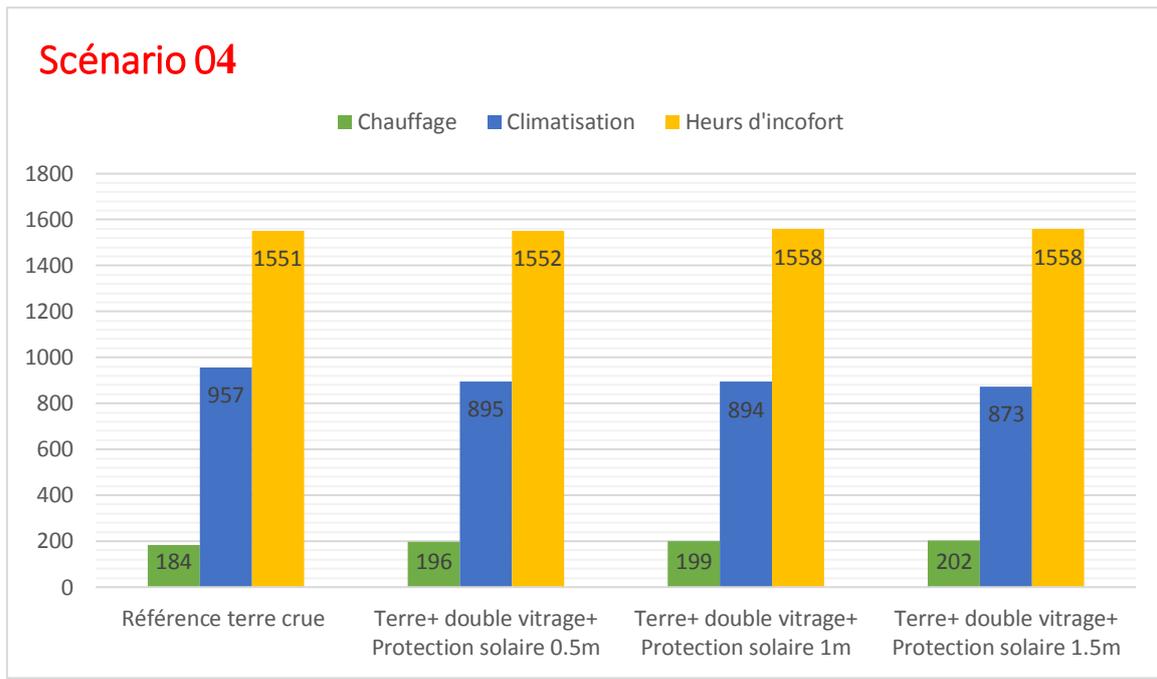


Fig25 : Scénario 04. (Source : Auteur)

La figure 25 représente le scénario 04, la sélection du terre crue pour la construction de murs et l'ajout d'une double vitrage et protection solaire (**0,5 m, 1 m, 1,5 m**) et les résultats des simulations numériques ont montré un léger changement dans les chiffres, par exemple la quantité de consommation d'énergie dans le chauffage est augmenté de **184kwh** à **202kwh**, tandis que la quantité de consommation d'énergie pour la climatisation a diminué de **957 kwh** à **873 kwh** dans le troisième cas (**1,5 m**). Et pour les heures d'inconfort thermique sont presque autant que le modèle de référence, sauf pour le troisième cas dans lequel la protection solaire a été utilisée **1.5m**.

Scénario 05 :

Tableau 16 : Scénario 05

	Reference Pierre	Pierre + double vitrage+ Protection solaire 0.5m	Pierre + double vitrage+ Protection solaire 1.0m	Pierre + double vitrage+ Protection solaire 1.5m
Chauffage (kWh)	218	255	258	261
Climatisation (kWh)	1117	1067	1066	1047
Heurs d'inconfort (h)	1652	1660	1662	1662

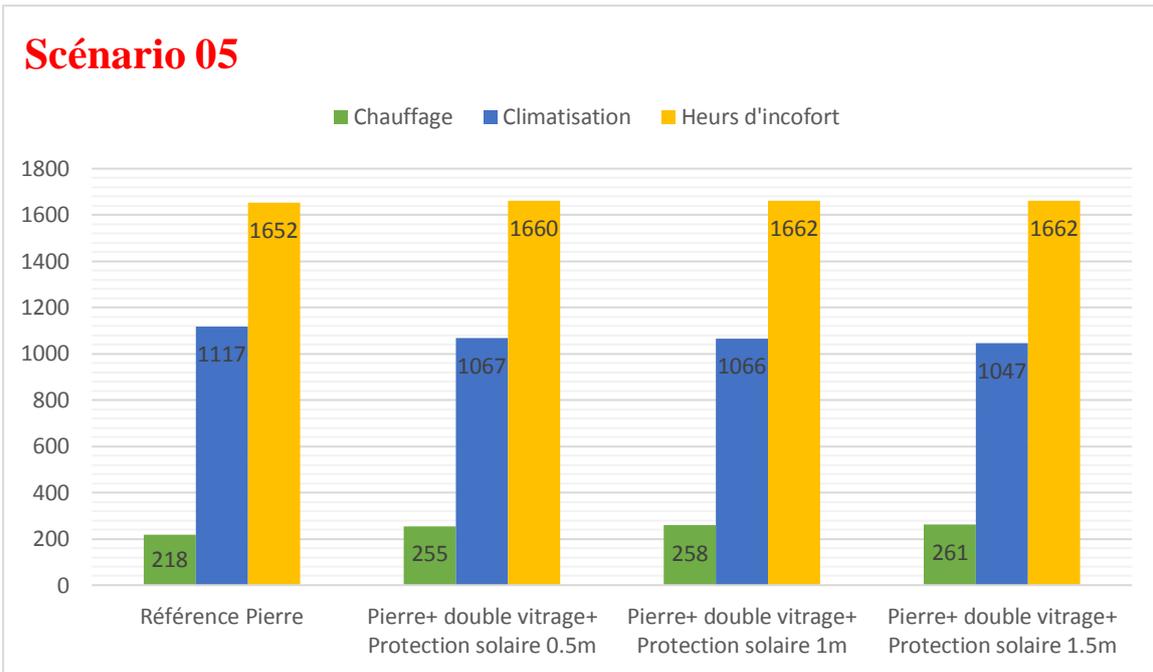


Fig.26: Scénario 05. (Source : Auteur)

Le scénario 05 est présenté à la construction en pierre attachée au double verre dans les fenêtres et à la protection solaire (**0.5m**, **1.0m**, **1.5m**), les résultats de la simulation montrent que les heures d'inconfort thermique sont stables dans les quatre cas à **1660** heures, tandis que la quantité d'énergie consommée dans la climatisation diminuée de **1117kwh** à **1047kwh** comme valeur la plus basse lorsque la protection solaire est de **1.5m**. Et la quantité consommée dans le chauffage augmenté à mesure que la durée de la protection solaire augmente pour atteindre la valeur la plus élevée de **261 kwh**.

Scénario 06 :

Tableau 17: Scénario 06

	Reference Béton	Béton + double vitrage+ Protection solaire 0.5m	Béton + double vitrage+ Protection solaire 1.0m	Béton + double vitrage+ Protection solaire 1.5m
Chauffage (kWh)	160	174	179	180
Climatisation (kWh)	1139	1062	1044	1044
Heurs d'inconfort (h)	1605	1507	1513	1516

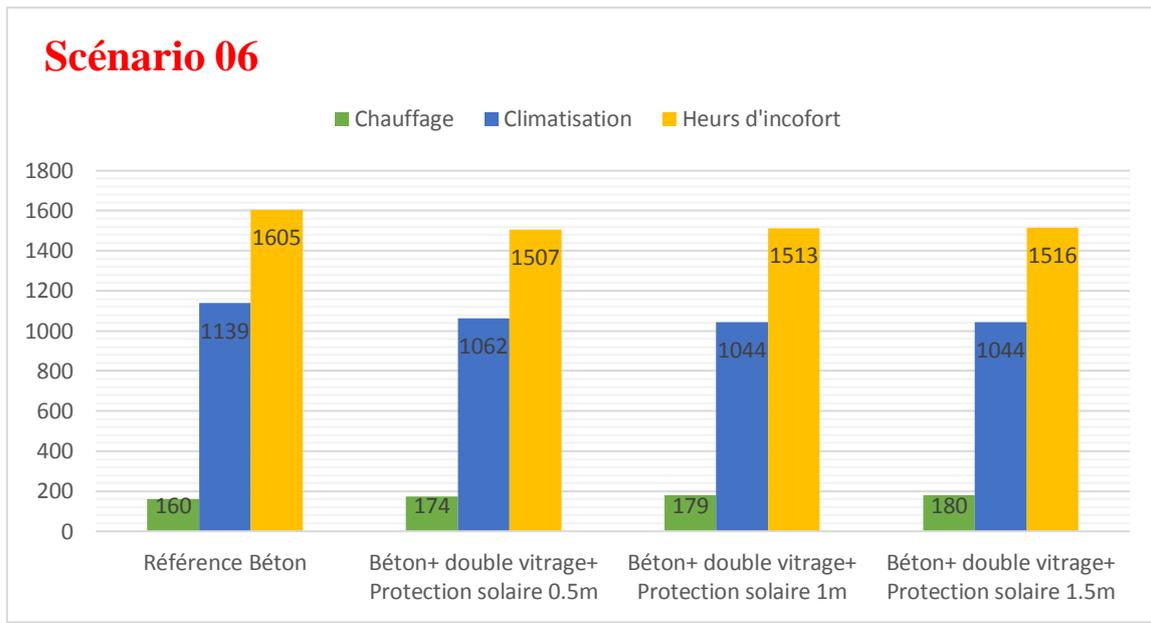


Fig.27 : Scénario 06. (Source : Auteur)

La figure 27 présente le scénario proposé n ° 06, qui met en évidence l'utilisation de béton attaché à un double vitrage et une protection solaire (0,5m, 1,0m, 1,5m), et à travers les résultats apparents, il apparaît que plus la protection solaire augmente la quantité de consommation d'énergie dans le chauffage plus élevée, et en parallèle la diminution de la quantité de la climatisation. Et les heures d'inconforts diminuent de 1605h à 1516 heures.

7. Conclusion :

Ce chapitre présente une série de simulations numériques à partir des paramètres proposent : matériaux de construction (brique, béton, pierre, terre crue), l'isolation thermique (polystyrène 3cm-6cm-9cm), double vitrage, la protection solaire (0.5m-1m-1.5m).

Les results obtenus montrent que la solution optimale pour le chauffage est : **(brique avec l'isolation sur le mur extérieur d'épaisseur de 9cm (154 kwh))**. Et la solution optimale pour la climatisation est : **(brique+ double vitrage+ protection solaire 1 m+ isolation sur mur extérieur de 9cm. (501kwh))**. Et pour le totale (chauffage+ climatiqtion) la solution optimale est : **(brique+ double vitrage+ protection solaire 1 m+ isolation sur mur extérieur de 9cm. (174kwh- 501kwh))**.

Nous pouvons conclure que le choix des matériaux de construction, le choix de vitrage, la protection solaire et l'isolation ont un effet sur l'optimisation thermique et énergétique de l'enveloppe bâtie.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Le confort thermique est considéré comme l'un des critères les plus importants à respecter dans les bâtiments résidentiels, car l'occupant ne peut pas supporter une chaleur ou un froid intense, en particulier dans les régions arides caractérisées par des températures élevées en été et un froid extrême en hiver.

Par conséquent, cette étude examine l'étendue de l'utilisation optimale de l'énergie et du confort thermique dans les bâtiments résidentiels de la ville d'Adrar, qui a un climat aride.

L'étude s'appuie sur une simulation numérique en proposant un ensemble de scénarios liés aux matériaux de construction (brique, pierre, béton, terre crue), à l'isolation thermique, la protection solaire et le double vitrage.

L'étude a obtenu les résultats suivants :

- La simulation numérique a permis d'étudier l'impact des paramètres (matériaux, vitrage, protection solaire, isolation sur mur extérieur) sur la qualité de confort thermique et l'efficacité énergétique.
- Les résultats obtenus montrent que la solution optimale pour le chauffage est : (brique avec l'isolation sur le mur extérieur d'épaisseur de 9cm (**154 kwh**). Et la solution optimale pour la climatisation est : (brique+ double vitrage+ protection solaire 1 m+ isolation sur mur extérieur de 9cm. (**501kwh**). Et pour le totale (chauffage+ climatisation) la solution optimale est : (brique+ double vitrage+ protection solaire 1 m+ isolation sur mur extérieur de 9cm. (**174kwh- 501kwh**).
- Le vitrage a un impact sur le confort thermique de l'enveloppe de bâtiment résidentiel.
- Le choix de type des matériaux, dimensions doit être réfléchi à la fonction du climat.
- Le choix et le taux de type de vitrage doit être réfléchi à la fonction du climat.
- L'isolation de parois est nécessaire pour économiser les besoins de chauffage, et joue un rôle très important, notamment pour le confort d'hiver, car les pertes thermiques sont réduites.
- La performance thermique de l'enveloppe du bâtiment est le facteur principal affectant sa consommation d'énergie

- l'utilisation d'un matériau local adapté au climat de la région permet d'obtenir un confort thermique et réduit ainsi la consommation d'énergie
- Les résultats des simulations montrent que la brique est le meilleur matériau parmi les matériaux de construction choisis avec un potentiel de réduction.

Recommandations :

Nous suggérons les recommandations suivantes afin d'améliorer le confort thermique et performance l'efficacité énergétique :

- La nécessité d'exploiter l'isolation thermique sur les parois des bâtiments en climat sec et chaud pour diminuer la consommation énergétique de chauffage et de climatisation.
- L'exploitation d'un vitrage performant (double vitrage) 1.5m, 30% gaze (clr 6mm/13mm Air).
- L'usage des protections solaires au niveau des fenêtres pour diminuer la consommation d'énergie en été.
- Utilisation optimale des matériaux de construction, en particulier ceux ayant des propriétés thermiques, qui ont la capacité d'assurer le confort thermique et de réduire la consommation d'énergie.
- L'exploitation des surfaces vitrées sans protection solaires donne des situations thermiques (climatisations) insupportables même si en double vitrage.

Bibliographie

Bibliographie :

1. AHMARI, I & KORICHI, A, & GASMI, F & KRADA, S. (2019). Simulation de l'impact de l'inertie thermique sur la consommation énergétique d'un bâtiment résidentiel dans un climat méditerranée, *Nature et Technologie*, 11 (2), pp. 12-27.
2. ARHAB, F. (2014). Evaluation de confort thermique dans les établissements scolaires, Etude comparative des ambiances thermiques des salles de cours du plan type des écoles primaires –Alger et Biskra, Mémoire De Magister, EPAU, Alger.
3. Assassi, A. (2005). La qualité architecturale dans le logement collectif (dimension d'usage et confort thermique) Cas étude Biskra, Mémoire de magister, université Biskra, Algérie.
4. Atik Mehaoued, K. (2019). Impact des bâtiments de verre réfléchissant sur le microclimat urbain et la consommation énergétique cas de la saison estivale d'Alger. thèse doctorat, université Biskra, Algérie.
5. Batier, C. (2016). Confort thermique et énergie dans l'habitat social en milieu méditerranéen, d'un modèle comportemental de l'occupant vers des stratégies architecturales, Thèse de doctorat, université de Montpellier.
6. Bellal, S., Hadeid, M., Ghodbani, T., & Dari., O. (2016). Accès à l'eau souterraine et transformations de l'espace oasien : le cas d'Adrar (Sahara du Sud-ouest algérien), *Cahiers de géographie du Québec*, 60(169), pp.29-56.
7. Ben Amor, R & Gueddich, N. (2020). Amélioration de la performance énergétique des Bâtiments résidentiels en Tunisie entre le choix et l'exigence, *Journal of Advanced Research in Science and Technology*, 7(1), pp.1-11.
8. BENHALILOU, K. (2008). Impact de la végétation grimpante sur le confort hygrothermique estival du bâtiment – cas de climat semi-aride, Mémoire de Magister, université Mentouri Constantine, Algérie.
9. Benhouhou, M. (2012). L'impact des matériaux sur le confort thermique, dans les zones semi-arides –Cas d'étude : la ville de Djelfa, Mémoire De Magister, EPAU, Alger.

10. Benoudjafer, I & Ghomari, F & Mokhtari, F. (2012). Etude comparative relative à l'efficacité énergétique de deux appartements situés à Béchar, Algérie, *Revue des Energies Renouvelables*, 1 (15), pp.1 – 12.
11. Benoudjafer, I. (2018). Vers une amélioration de la performance énergétique des habitations : la certification énergétique comme une stratégie durable. Cas de la ville de Bechar, Thèse de doctorat en science, université de Biskra, Algérie.
12. BENOUDJAFER, Ibt. & BENOUDJAFE, Im. (2019). Amélioration de la performance énergétique d'un bâtiment résidentiel (cas de la ville de Bechar), *International Journal of Scientific Research & Engineering Technology*, 11, pp.25-31.
13. BERKANE, A. (2019). L'effet de l'orientation d'un bâtiment sur le potentiel de ventilation naturelle dans les régions à climat chaud et sec (Bechar, Adrar, Tamanrasset), Mémoire de Magister, université Biskra, Algérie.
14. Bouarroudj, N & Imessad, K. (2016). Rénovation énergétique dans le secteur résidentiel à Constantine un gisement potentiel pour la consécration des nouvelles exigences énergétiques et environnementale, *Revue des Energies Renouvelables*, 3 (19), pp.387 – 396.
15. BOUNIF, S. (2016). Étude de l'impact de la géométrie urbaine sur l'amélioration du confort thermique sous les galeries dans un climat méditerranéen par la simulation numérique – cas de la ville de Bejaia, Mémoire De Magister, EPAU, Alger.
16. Chahwane, L. (2011). Valorisation de l'inertie thermique pour la performance énergétique des bâtiments, Thèse de doctorat, université de Grenoble, France.
17. Chensé, L. (2012). Vers une nouvelle méthodologie de conception des bâtiments basée sur leurs performances bioclimatiques, Thèse de doctorat, centre de thermique de Lyon.
18. DINH, V. (2016). Méthodes et outils pour le dimensionnement des bâtiments et des systèmes énergétiques en phase d'esquisse intégrant la gestion optimale, Thèse de doctorat, université de Grenoble Alpes.
19. ELGHAWABY, M, M. (2013). Vers un confort thermique grâce à des concepts d'enveloppes de bâtiments, inspirés de la nature : Le mur respirant comme un

- exemple biomimétique approprié aux bâtiments en zones chaudes, Thèse de doctorat, université Aix-Marseille, France.
20. Fezzioui, N & Draoui, B & Benyamine, B & Larbi, S. (2008). Influence des caractéristiques dynamiques de l'enveloppe d'un bâtiment sur le confort thermique au sud Algérien, *Revue des Energies Renouvelables*, 1 (11), pp. 25 – 34.
 21. Harijaona, Z. (2011). Impact thermique des revêtements en bois sur l'ambiance intérieure des bâtiments Application dans l'habitat traditionnel en France et à Madagascar, Thèse de doctorat, université de Lyon.
 22. Iturra, E.M. (2011). Impact de la configuration des bâtiments scolaires sur leur performance lumineuse, thermique et énergétique, Mémoire présenté pour l'obtention du grade de Maître en sciences de l'Architecture, Université Laval, Canada.
 23. Jadoul, F. (2002). La Terre est notre maison : Construire, rénover, habiter en respectant l'Homme et l'environnement, Bruxelles, Éditions Luc Pire.
 24. Jnat, k. (2018). Bâtiment intelligent : Analyse et optimisation des dépenses d'énergie dans le logement social, Thèse de doctorat, université de Lille, France.
 25. Kadri, N & Mokhtari, A. (2011). Contribution à l'étude de réhabilitation thermique de l'enveloppe du bâtiment, *Revue des Energies Renouvelables*, 2 (14), pp. 301 – 311.
 26. Kemajou, A & Tseuyep, A & Egbewatt, N.E. (2012). Le confort thermique en climat tropical humide vers un réaménagement des normes ergonomiques, *Revue des Energies Renouvelables*, 3 (15), pp. 427 – 438.
 27. Khadraoui, M.A & Sriti, L. (2017). Etude expérimentale du comportement thermique d'une façade ventilée dans un climat chaud et aride, *Revue des Energies Renouvelables*, 4 (20), pp. 626 – 634.
 28. Khadraoui, M.A. (2019). Etude d'optimisation de la façade pour un confort thermique et efficacité énergétique (cas des bâtiments tertiaires dans un climat chaud et aride). thèse doctorat, université Biskra, Algérie.
 29. LABRECHE, S. (2014). Forme architecturale et confort hygrothermique dans les bâtiments éducatifs, cas des infrastructures d'enseignement supérieur en régions arides. Mémoire de magister, université Biskra, Algérie.

30. Lagouin, M. (2020). Caractérisation et optimisation multiphysiques d'une paroi bicouche bio et geosourcée, Thèse de doctorat, université Toulouse III - Paul Sabatier, France.
31. Latreche, S & Sriti, L. (2018). Optimisation énergétique d'un bâtiment résidentiel autoproduite à Biskra à travers ses caractéristiques matérielles, *Revue des Energies Renouvelables*, 3(21), pp.433-443.
32. M'sellem, H. (2007). Le confort thermique entre perception et évaluation par les techniques d'analyse bioclimatique cas des lieux de travail à Biskra, Mémoire de Magister, université Biskra, Algérie.
33. Maaden, H & Mokhtari, M & Boualla, N & Djebbar, B. (2016). Efficacité Énergétique de la Paroi Vitree dans la Conception Thermique des Enveloppes des Bâtiments, *Algerian Journal of Research and Technology*, 0(1), pp.10-17.
34. MANSOURI, O & BOURBIA, F & BELARBI, R. (2017). Influence de la réflectivité de l'enveloppe sur la demande énergétique des bâtiments et sur le confort thermique, *Nature & Technology*, 18, pp.33-42.
35. MAZARI, M. (2012). Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public : Cas du département d'Architecture de Tamda (Tizi-Ouzou), Mémoire de Magister, université Tizi-Ouzou, Algérie.
36. MERABTINE, A. (2012). Modélisation Bond Graphs en vue de l'Efficacité Énergétique du Bâtiment, Mémoire de Magister, université de Lorraine.
37. Mokhtari, A & Brahim, K & Benziada, R. (2008). Architecture et confort thermique dans les zones arides Application au cas de la ville de Béchar, *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 2(11), pp.307 – 315.
38. RAMOUL, E. (sans date). Impact du Type de Vitrage sur le Confort Thermique dans les Bâtiments à Caractère Commercial, Cas du Climat Semi-Aride de Constantine, Mémoire de Magister, université Mentouri Constantine, Algérie.
39. Salomon, T & Bedel, B. (2004). La maison des [nega] watts, *Le guide malin de l'énergie chez soi*, Edition Terre vivante. Mens, France.
40. TAHARI, A. (2018). L'effet de la baie vitrée sur le confort thermique dans l'espace de bureau en climat chaud et sec. Cas des immeubles de bureaux contemporains à Béchar, Mémoire de Magister, université Biskra, Algérie.

41. Trache, S. (2011). Adrar, des ksour à la grande ville, *Insaniyat*, 52, pp.149-163.
42. Zairi, A & Mokhtari, A. (2013). Simulation thermique des locaux en contact avec le sol par voie d'analyse modale, *Revue des Energies Renouvelables*, 3 (16), pp. 569 – 583.

Sitographie :

1. <https://dsa-technologies.com/optimisation-energetique-des-batiments>.
2. <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/efficacite-energetique-et-batiments>.

Liste des figures :

Fig. 01 : Méthodologie de recherche adoptée (source : Auteur).....	5
Fig.02 .Structure de mémoire (source : Auteur).....	7
Fig.03 : <i>Les trois éléments de l'architecture bioclimatique</i> (source, Google 2021).....	11
Fig 04 : Situation géographique de la wilaya d'Adrar. (Sources : Wikipédia2021).....	28
Fig05 : Variations moyennes mensuelles des températures.....	29
Fig06 : Variations moyennes mensuelles d'ensoleillement.....	30
Fig. 07 : Plan de masse de projet (25 Logements LPA).....	31
Fig.08 : Façade principale de l'appartement étudié.....	31
Fig.09 : Vues du cas de référence.....	32
Fig 10 : Plan de l'appartement étudié.....	33
Fig. 11 : Schéma de modélisation de DesingBuilder.....	35
Fig. 12 : Schéma de simulation de DesingBuilder.....	35
Fig.13 : Schéma de modélisation de bâtiment d'étude.....	36
Fig.14 : Coupe sur mur extérieur e=30cm.....	36
Fig. 15 : Coupe sur mur intérieur e=10cm.....	36
Fig. 16 : Coupe sur plancher 16+4.....	36
Fig. 17 : Coupe sur plancher bas sur terrain.....	36
Fig.18 : Les résultats de la Simulation des matériaux.....	37
Fig19 : Isolation sur mur extérieur (3cm, 6cmc, 9cm).....	38
Fig20 : model de base avec double vitrage.	39
Fig.21 : Model de base avec la protection solaire.....	40
Fig.22 : Scénario 01(model de base + double vitrage+ Protection solaire 0.5m+ Isolation 3cm – 6cm – 9cm).....	42

Fig.23: Scénario 02 (model de base + double vitrage+ Protection solaire 01m+ Isolation 3cm – 6cm – 9cm).....	43
Fig.24 : Scénario 03 (model de base + double vitrage+ Protection solaire 1.5m+ Isolation 3cm – 6cm – 9cm).....	44
Fig.25 : Scénario 04 (terre crue + double vitrage+ Protection solaire 0.5m, 01m, 1.5m...)	45
Fig.26 : Scénario 05 (Pierre + double vitrage+ Protection solaire 0.5m, 01m, 1.5m).....	46
Fig.27 : Scénario 06 (Béton + double vitrage+ Protection solaire 0.5m, 01m, 1.5m).....	47

Liste des tableaux :

Tableau 01 : Classification des valeurs du PMV selon les sept échelles de confort de « ASHRAE ».....	19
Tableau 02 : Températures moyennes mensuelles (source : station métrologique d’Adrar).....	29
Tableau 03 : Les moyennes mensuelles des précipitations (en mm) (source : station métrologique d’Adrar).....	30
Tableau 04 : Les moyennes mensuelles d’enseillement (Source : station métrologique d’Adrar).....	30
Tableau .05 : composition des parois modèle.....	33
Tableau .06 : Description des matériaux et des systèmes constructifs.....	34
Tableau .07 : Les résultats de la Simulation des matériaux.....	37
Tableau.08 : Les résultats de la Simulation des isolations.....	38
Tableau.09 : Les résultats de la Simulation de double vitrage.....	39
Tableau.10 : Les résultats de la Simulation de protection solaire.....	39
Tableau.11 : 06 scénarios proposés pour l’amélioration de la performance énergétique au niveau de l’enveloppe.....	41
Tableau.12 : Scénario 01(model de base + double vitrage+ Protection solaire 0.5m+ Isolation 3cm – 6cm – 9cm).....	41

Tableau.13 : Scénario 02 (model de base + double vitrage+ Protection solaire 01m+ Isolation 3cm – 6cm – 9cm).....	42
Tableau.14 : Scénario 03 (model de base + double vitrage+ Protection solaire 1.5m+ Isolation 3cm – 6cm – 9cm).....	43
Tableau.15 : Scénario 04 (terre crue + double vitrage+ Protection solaire 0.5m, 01m, 1.5m).....	44
Tableau.16 : Scénario 05 (Pierre + double vitrage+ Protection solaire 0.5m, 01m, 1.5m)..	45
Tableau.17 : Scénario 06 (Béton + double vitrage+ Protection solaire 0.5m, 01m, 1.5m)..	46

ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES :

ASHRAE : American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.

S.T.D : Simulation de Thermique Dynamique.

PMV : vote moyen prévisible

ASV : vote de sensation effective.

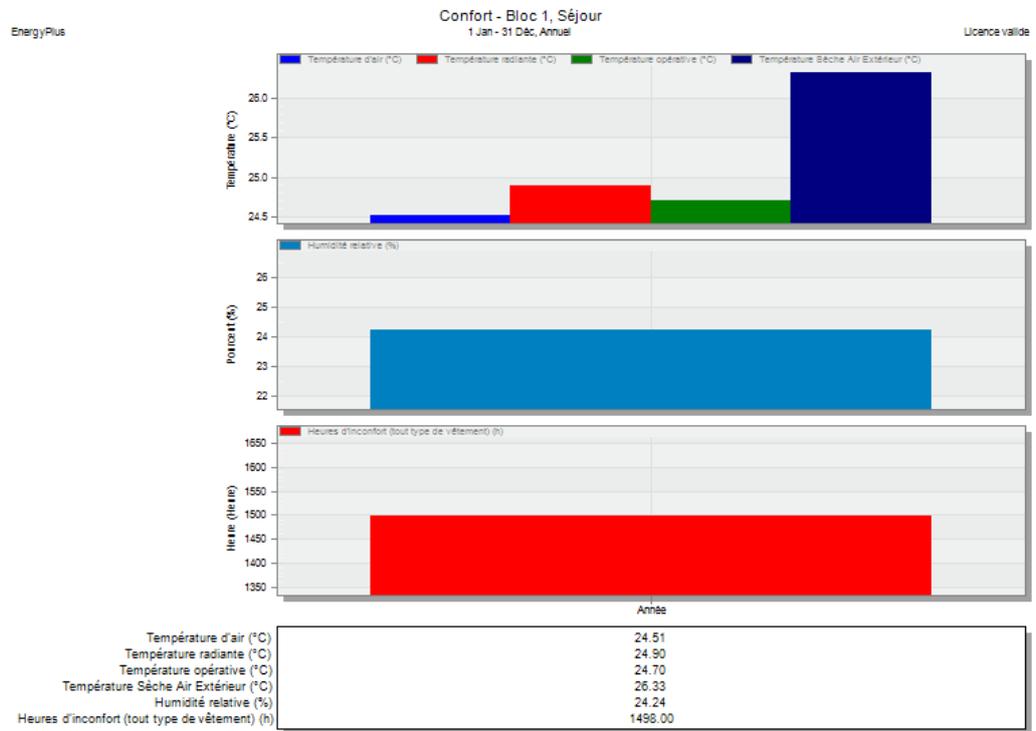
MRT : température moyenne radiante.

PET : température physiologique équivalente.

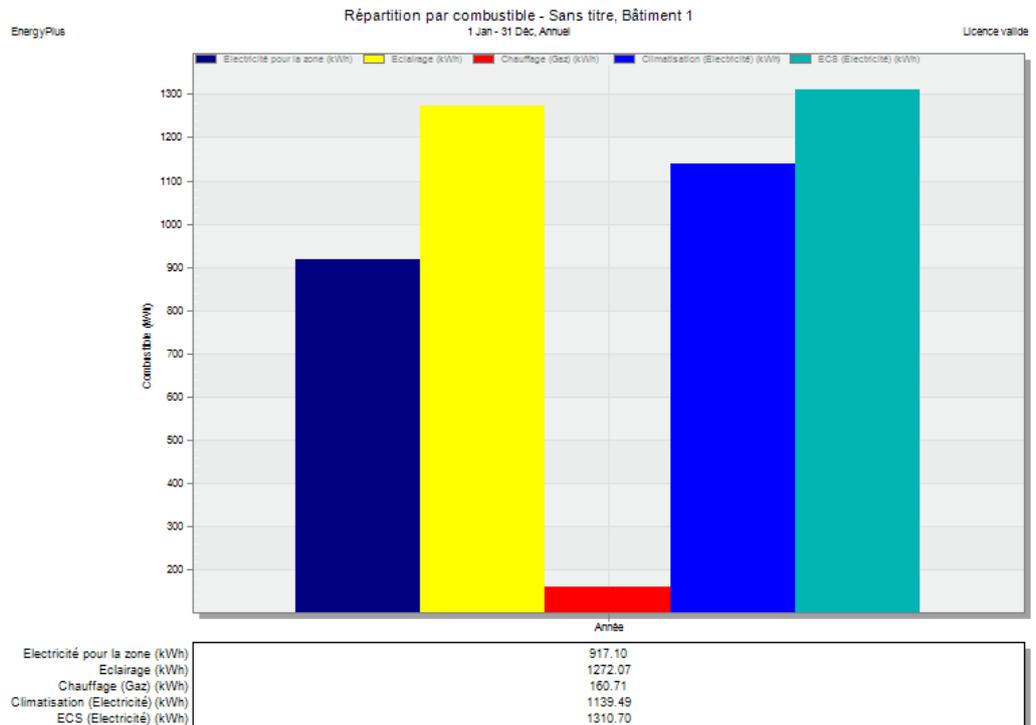
Annexes

Annexes : (les results de simulation annuelle) :

1. Annexe 01 : Model de base : Brique :

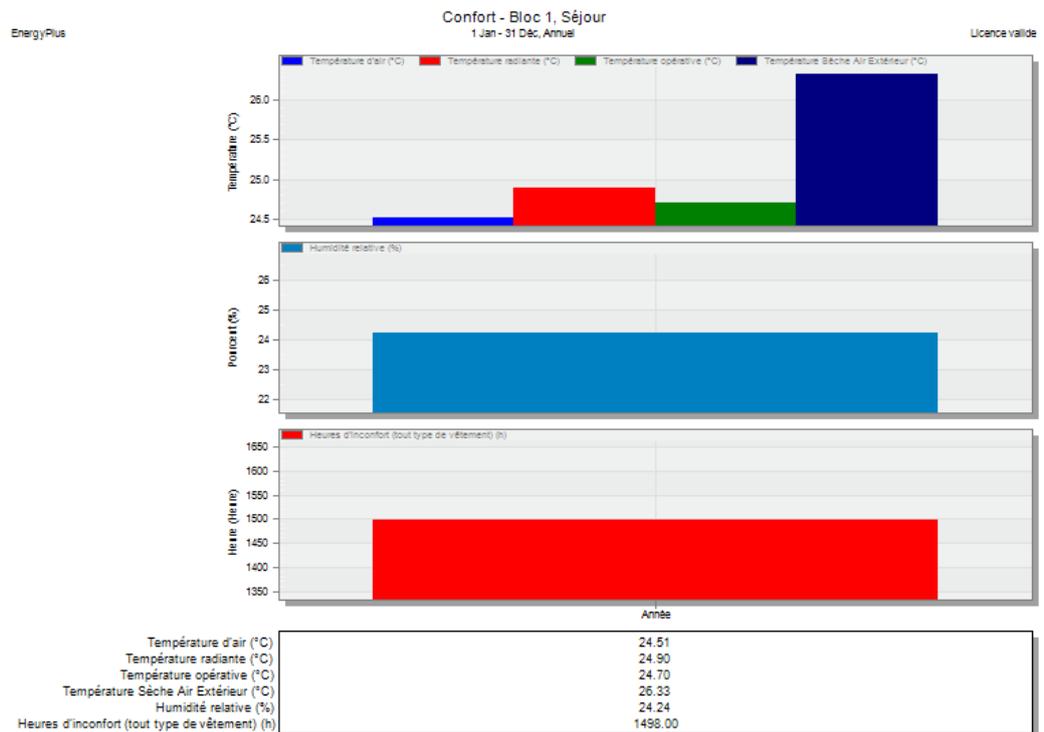


Confort annuel / séjour

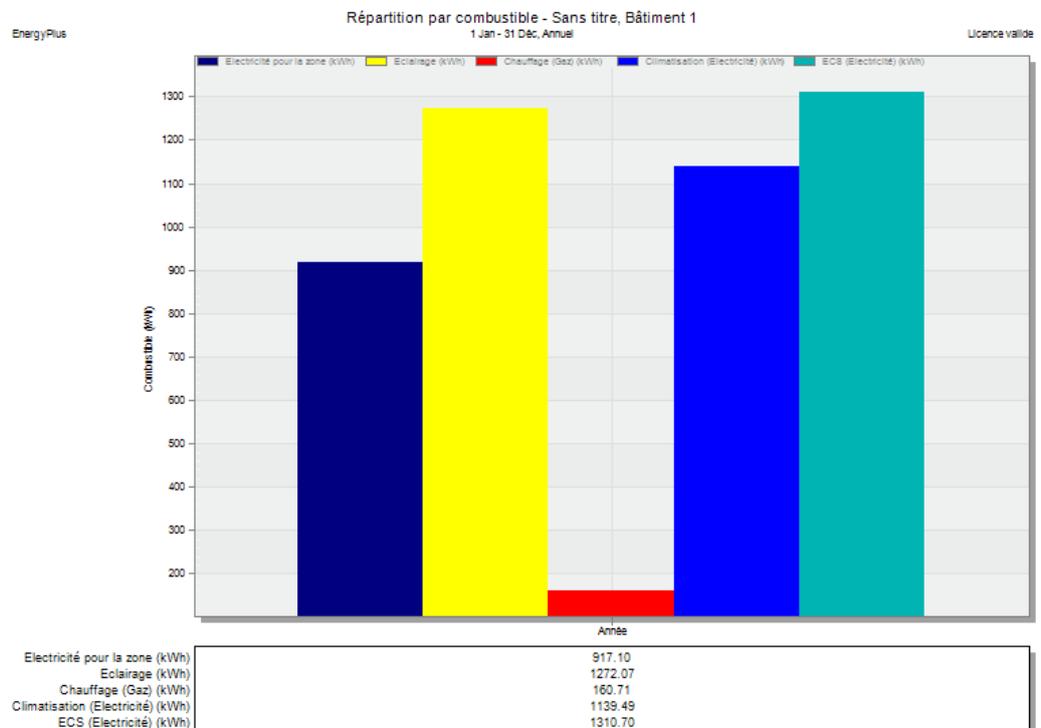


Chauffage & Climatisation (annuel).

2. Annexe 02 : Béton Armé :

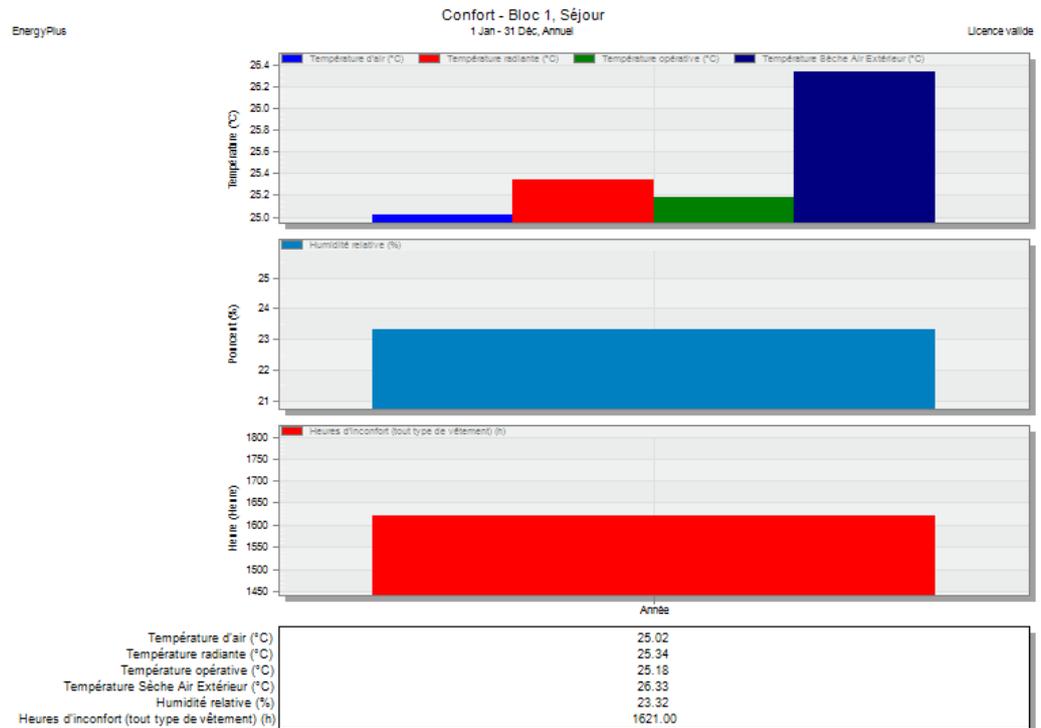


Confort annuel / séjour

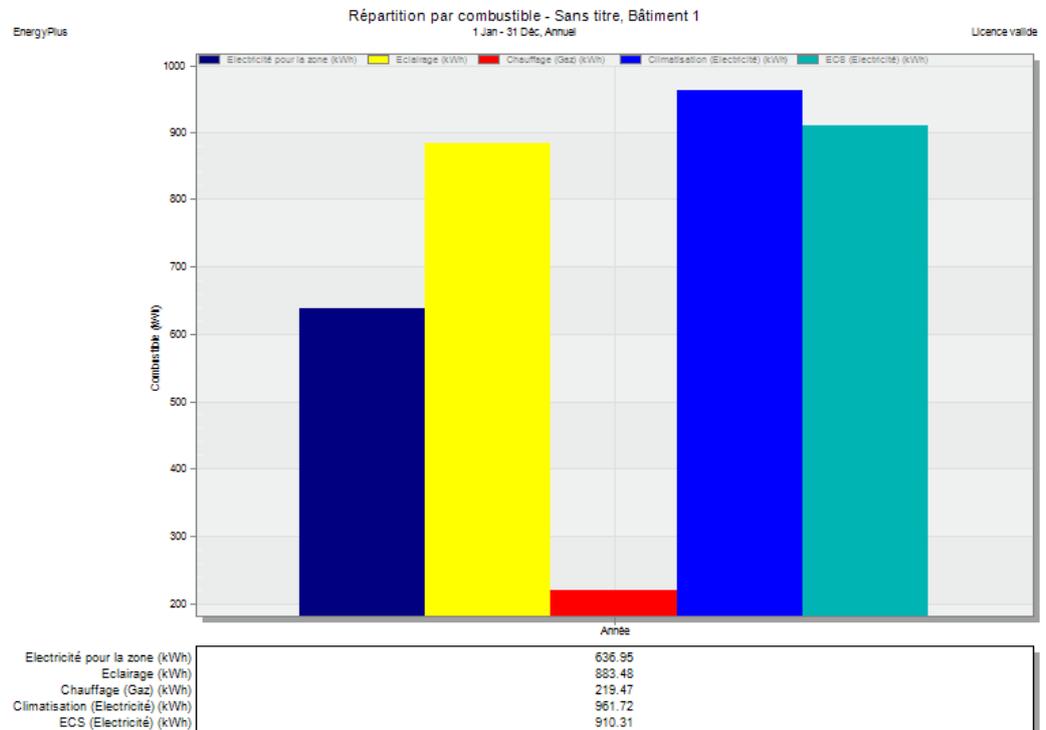


Chauffage & Climatisation (annuel).

3. Annexe 03 : Simulation de Pierre :

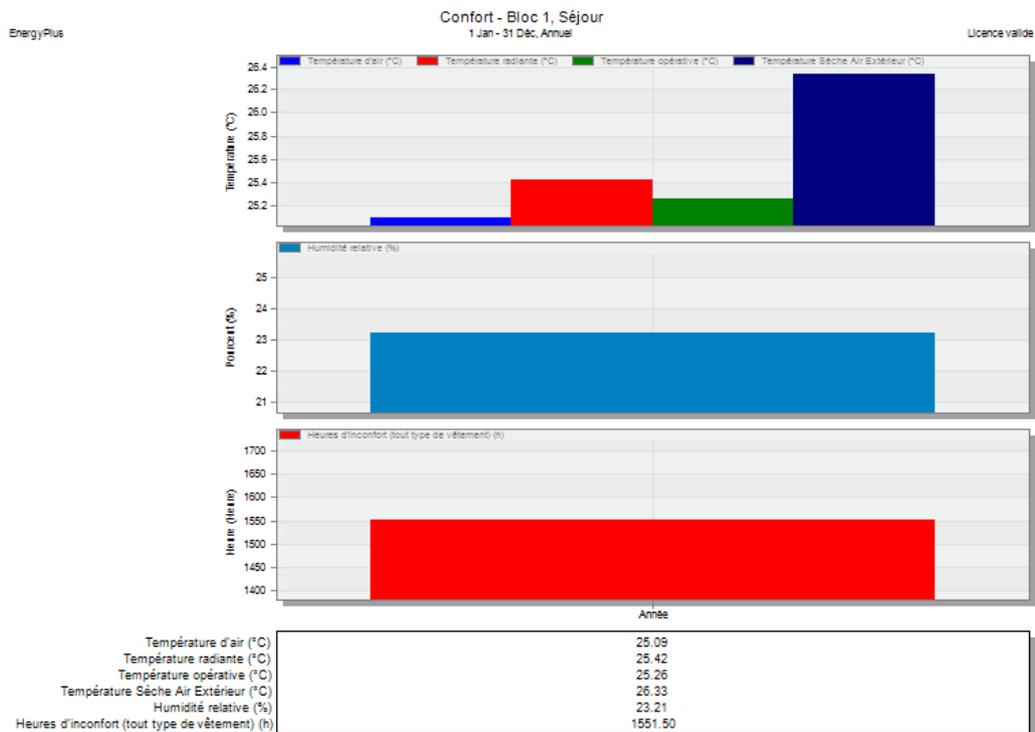


Le Confort annuel / séjour

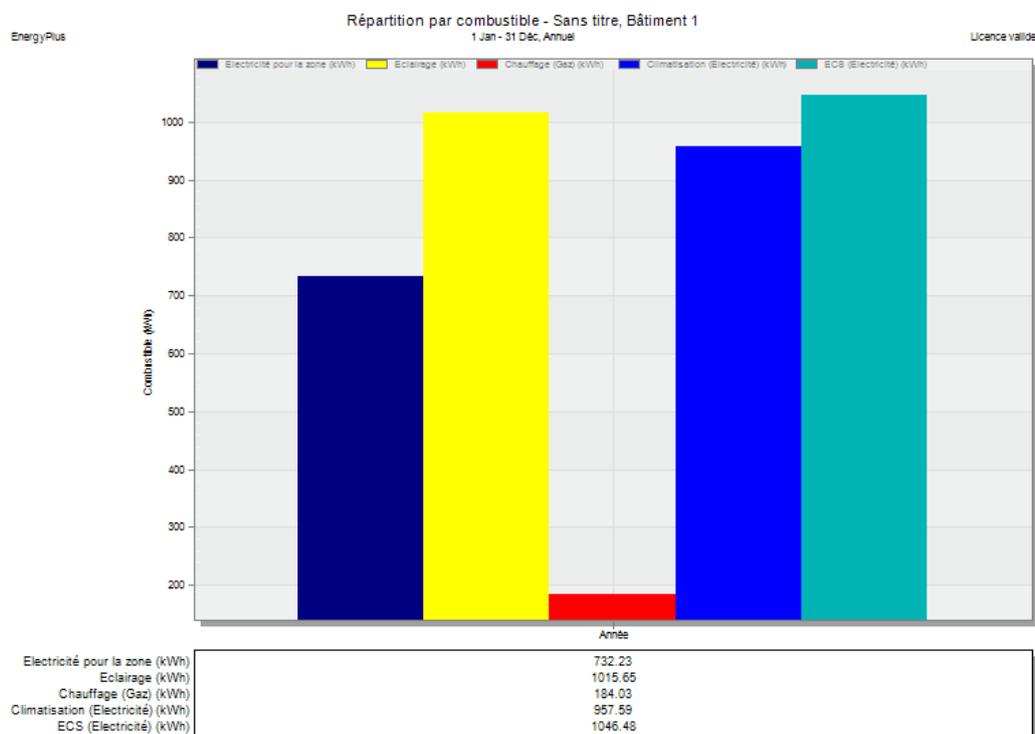


Chauffage & Climatisation (annuel).

4. Annexe 04 : Simulation de Terre crue :



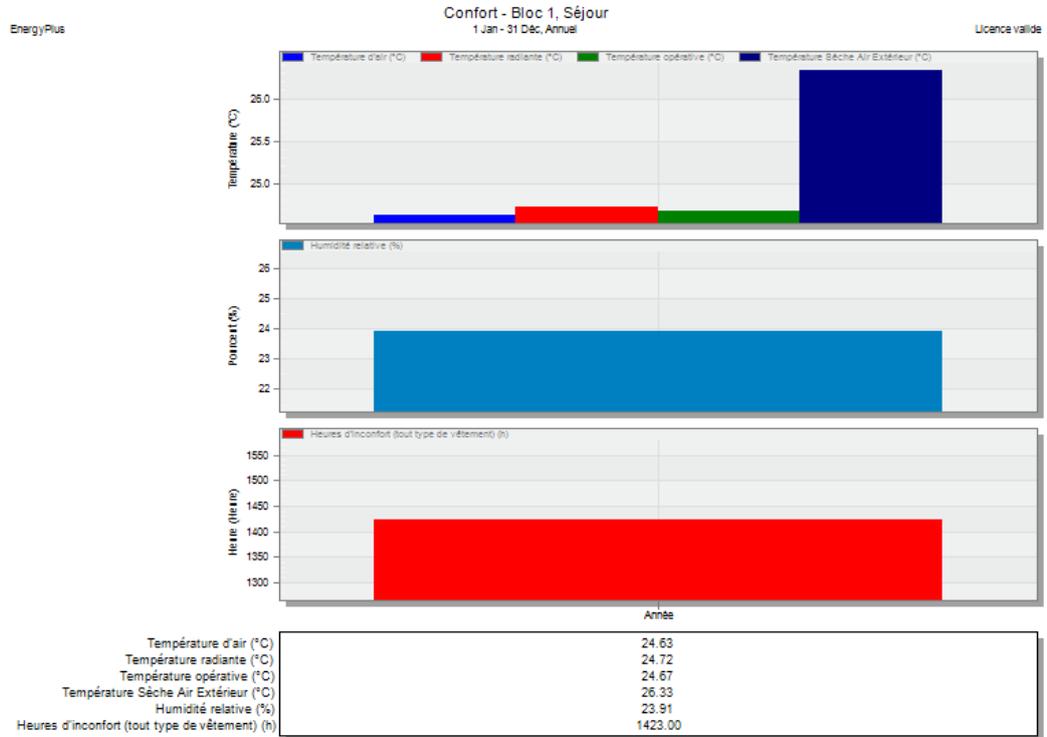
Le Confort annuel / séjour



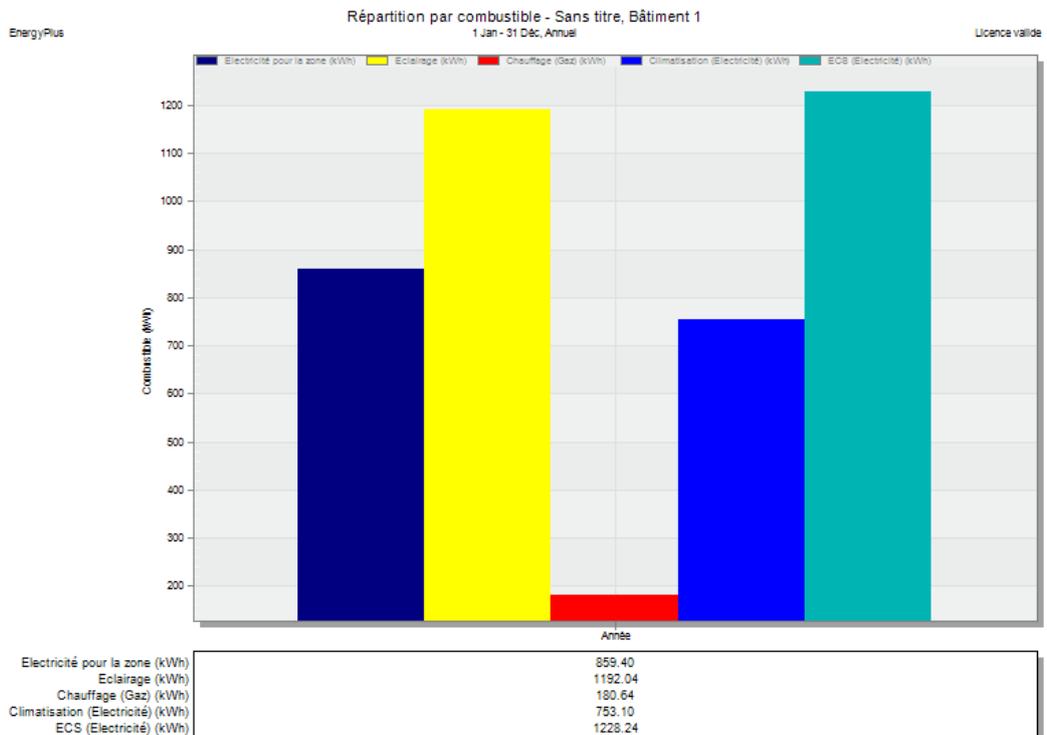
Chauffage & Climatisation (annuel).

I. Isolation sur mur :

1. Annexe 05 : Polystérene 3cm :

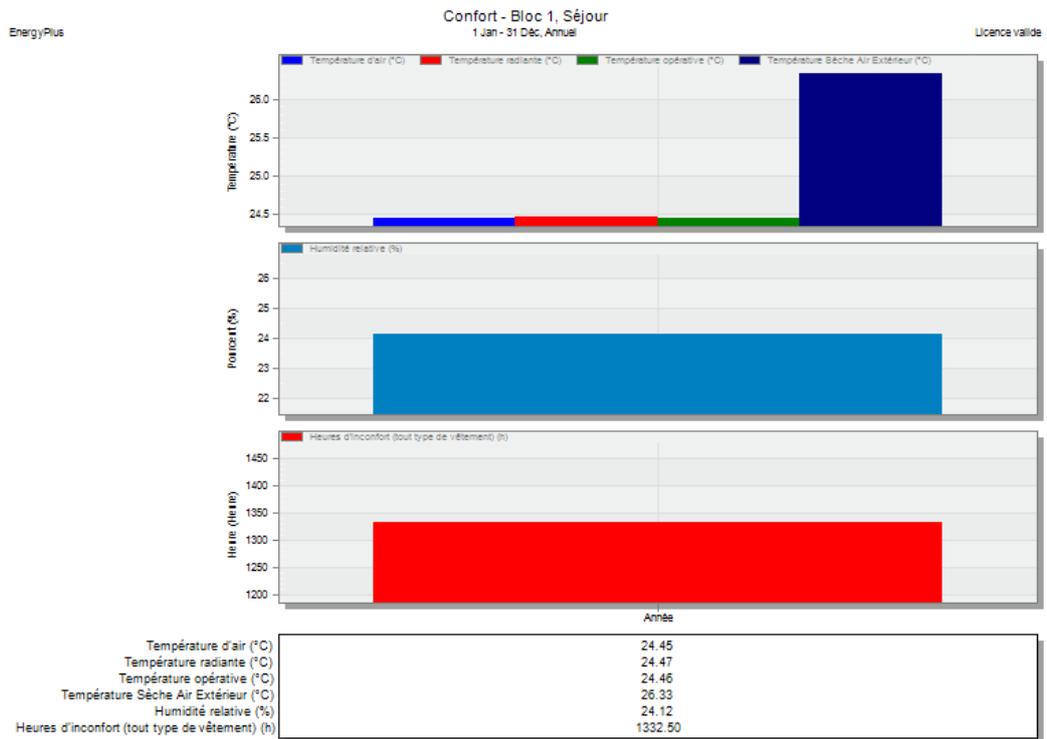


Le Confort annuel / séjour

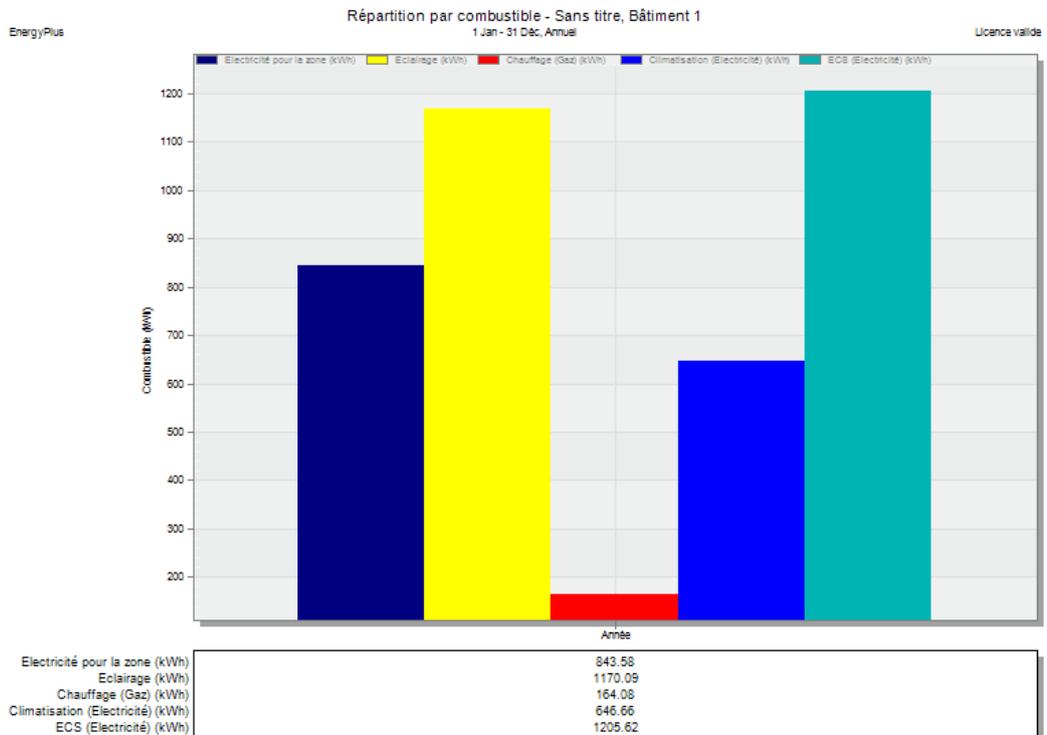


Chauffage & climatisation (annuel).

2. Annexe 06 : Polystérene 6cm :

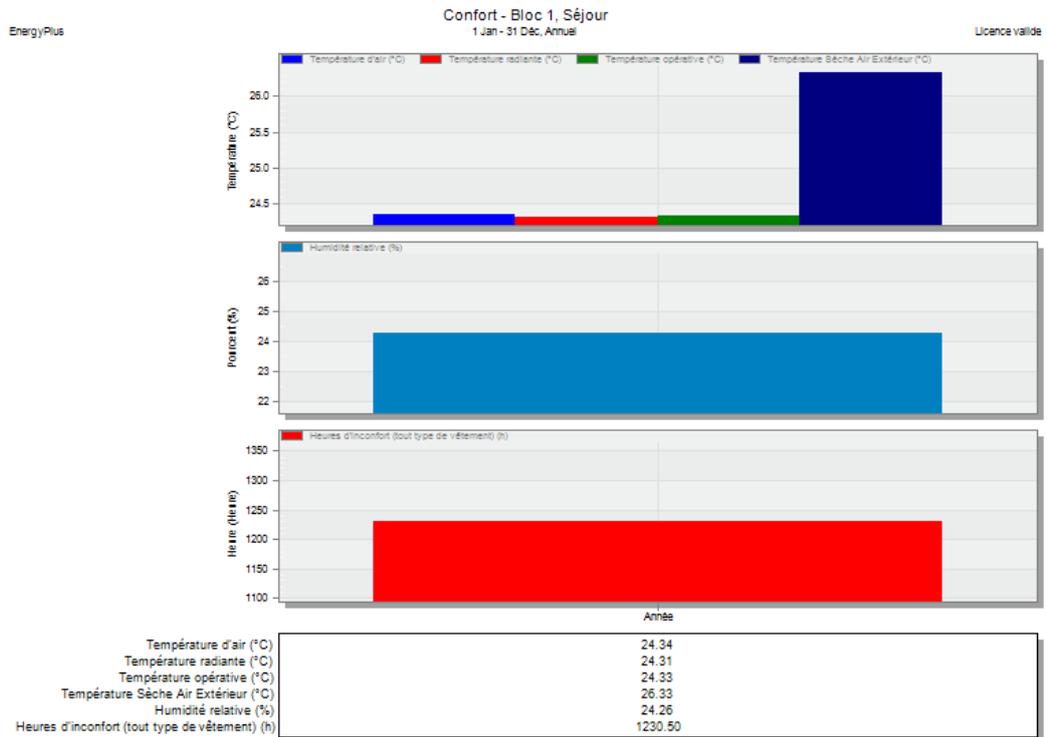


Le Confort annuel / séjour

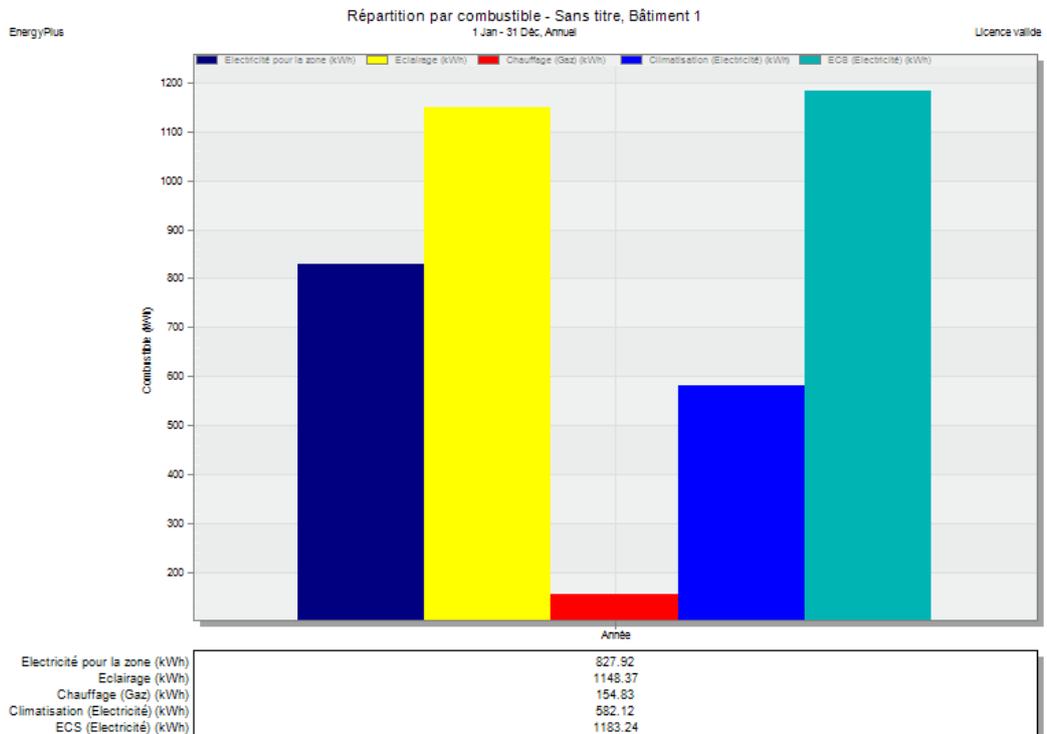


Chauffage & climatisation (annuel).

3. Annexe 07 : Polystérene 9cm :

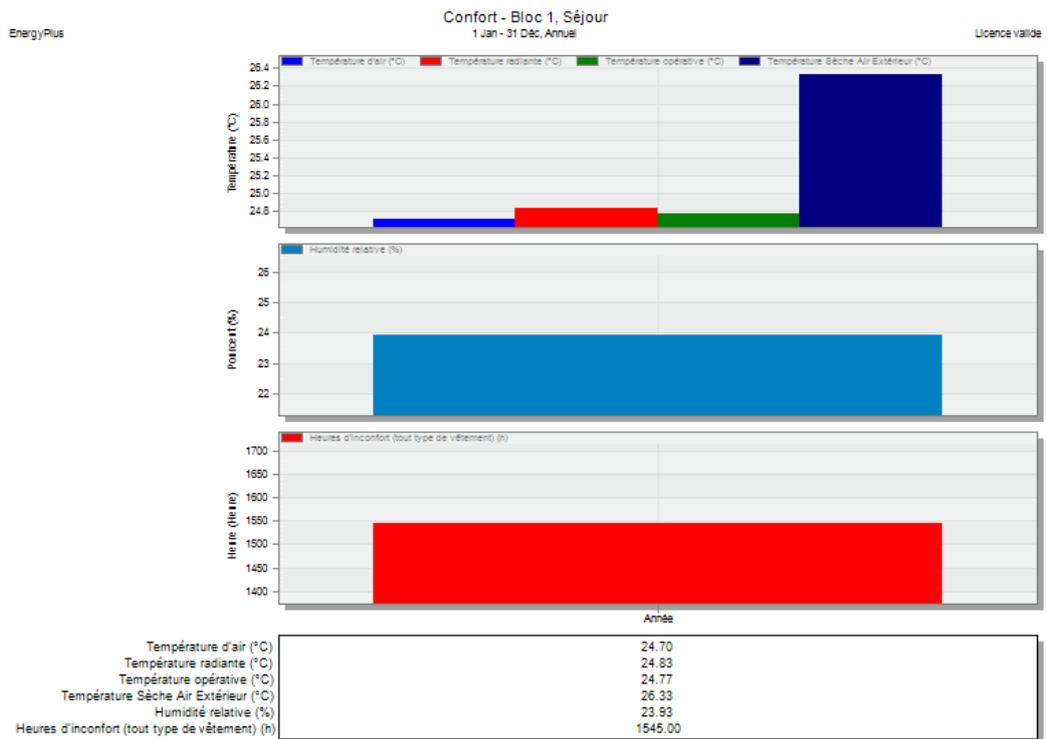


Le Confort annuel / séjour

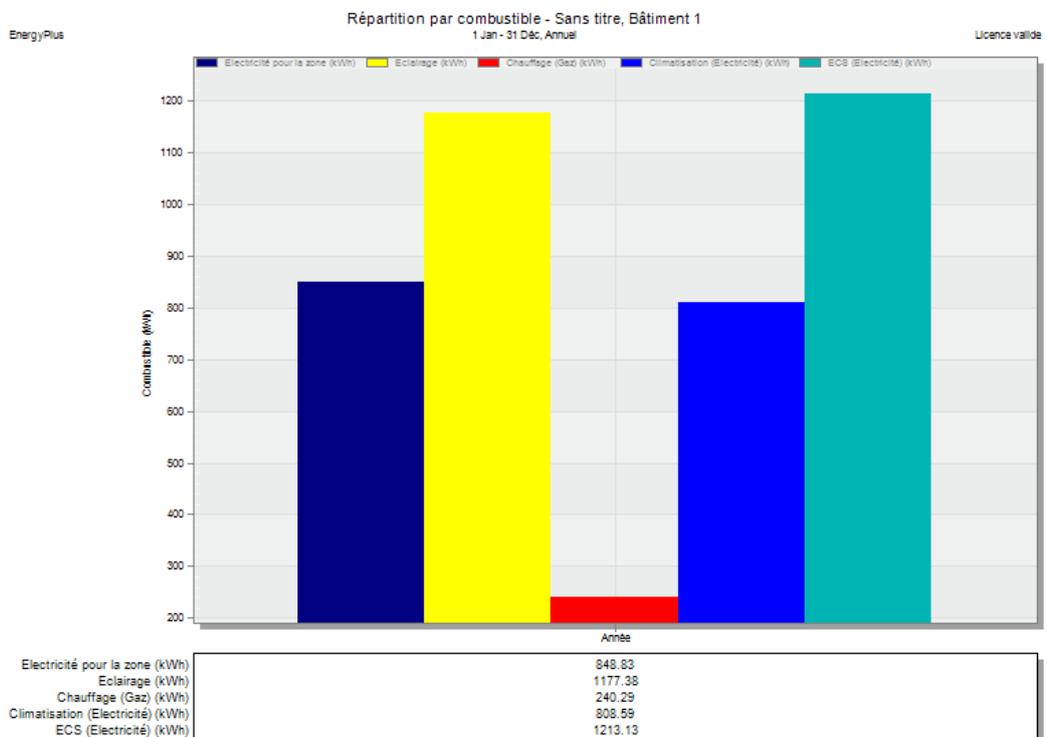


Chauffage & climatisation (annuel).

II. Annexe 08 : Simulation de Verre (Double vitrage) :



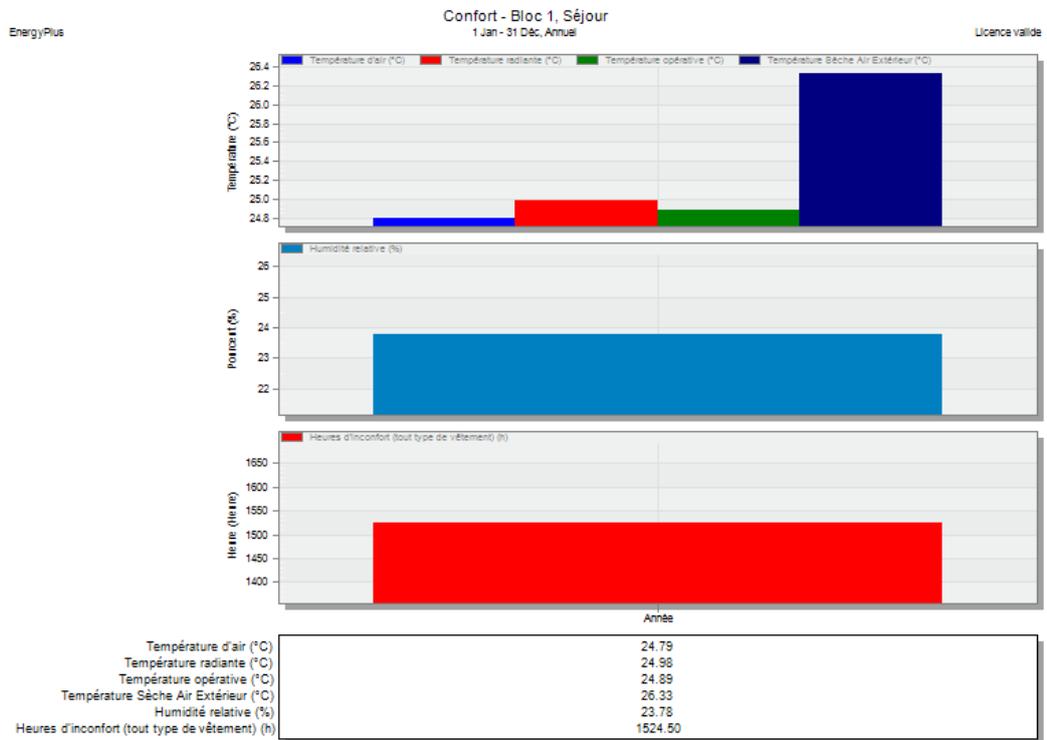
Le Confort annuel (séjour)



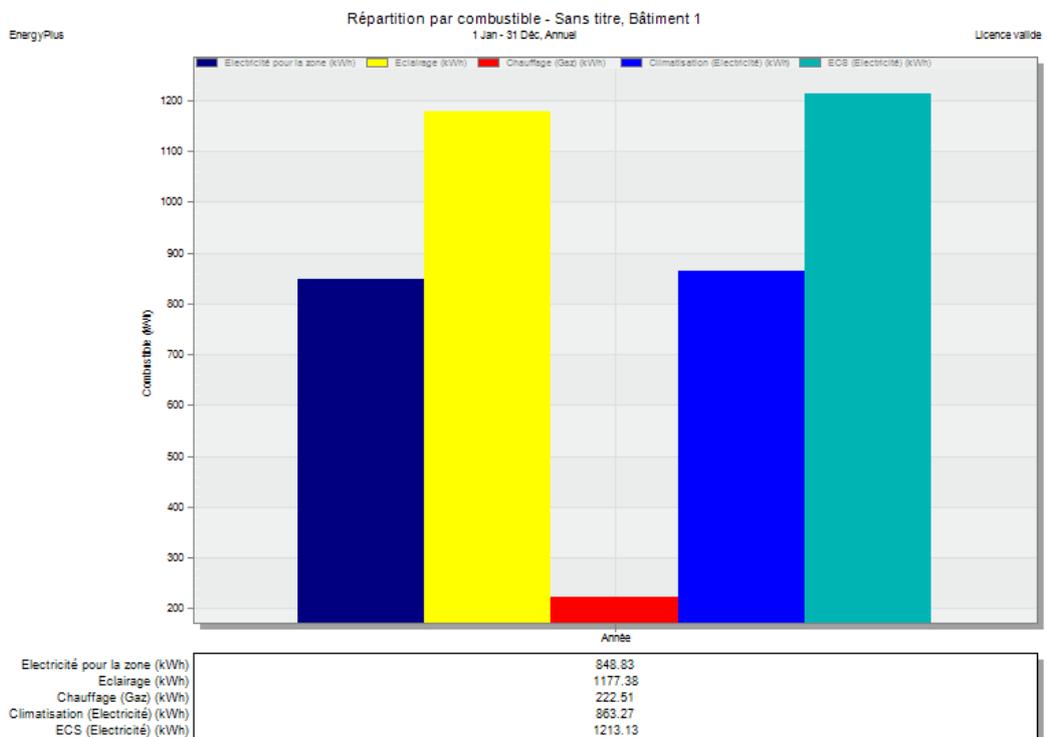
Chauffage & climatisation (annuel).

III. Protection solaire :

1. Annexe 09 : Protection solaire 0.5m :

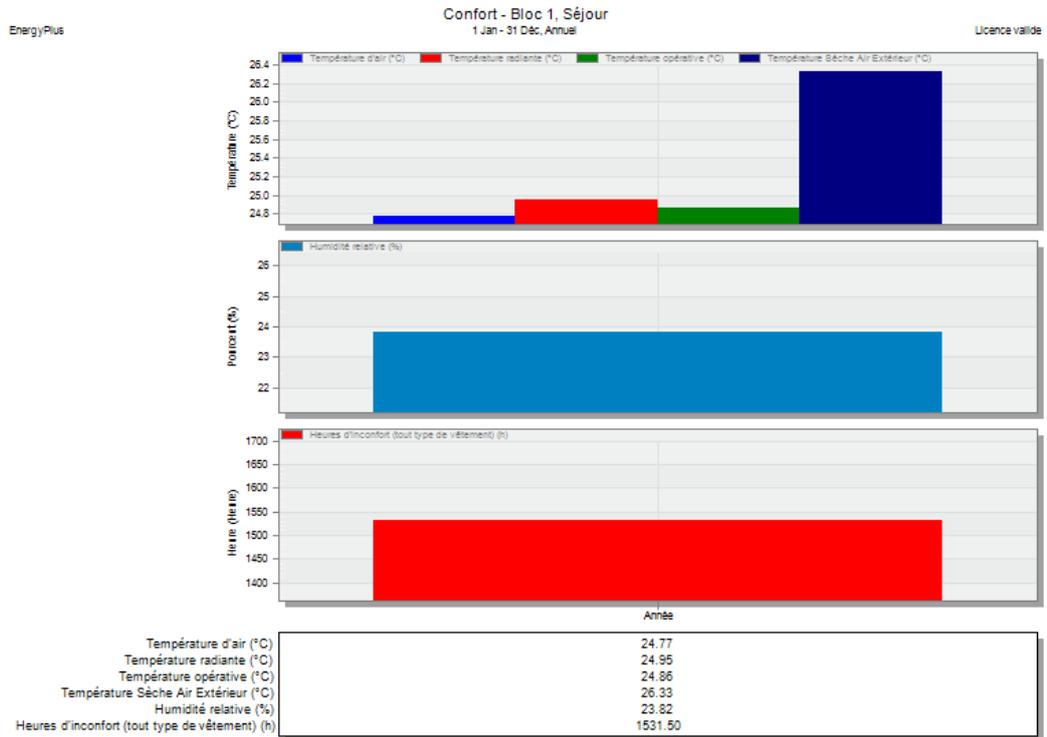


Le Confort annuel (séjour)

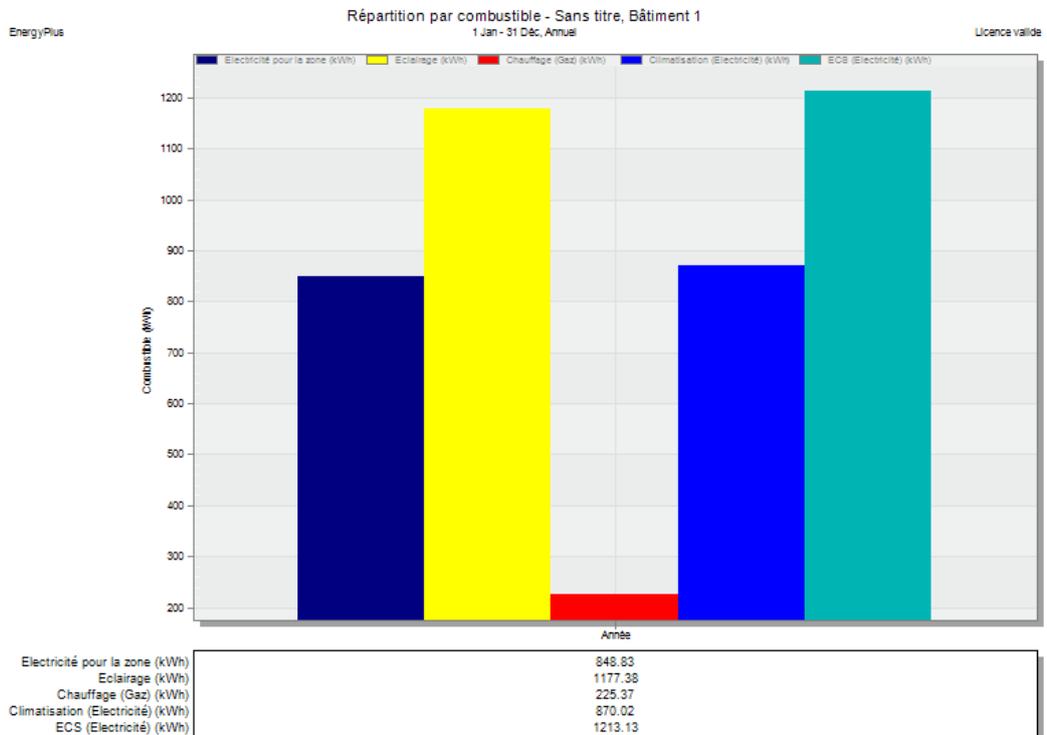


Chauffage & climatisation (annuel).

2. Annexe 10 : Protection solaire 1m :

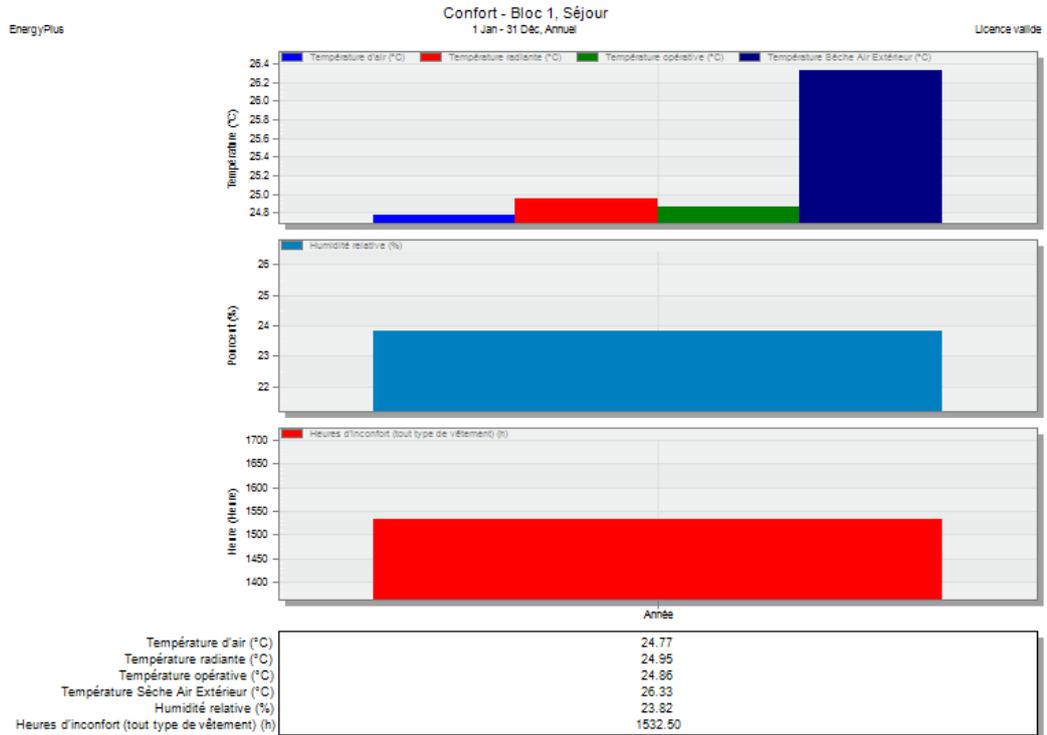


Le Confort annuel (séjour)

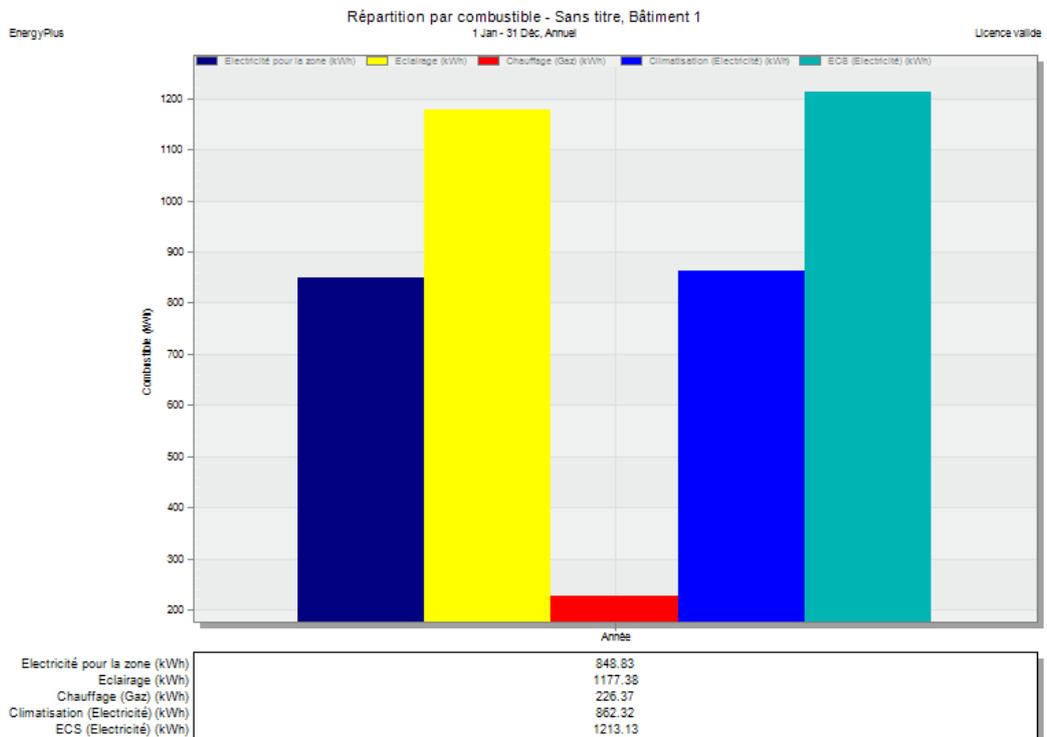


Chauffage & climatisation (annuel).

3. Annexe 11: Protection solaire 1.5m :



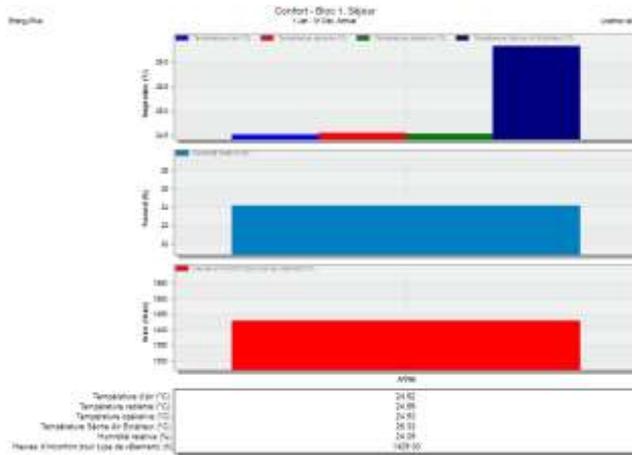
Le Confort annuel (séjour)



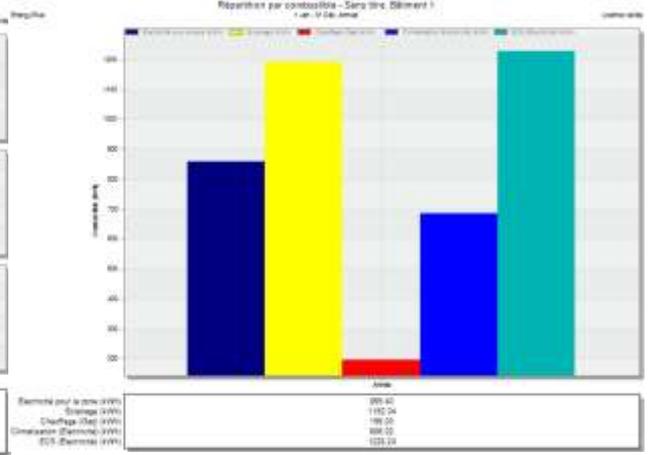
Chauffage & climatisation (annuel).

IV. Les différentes scénarios :

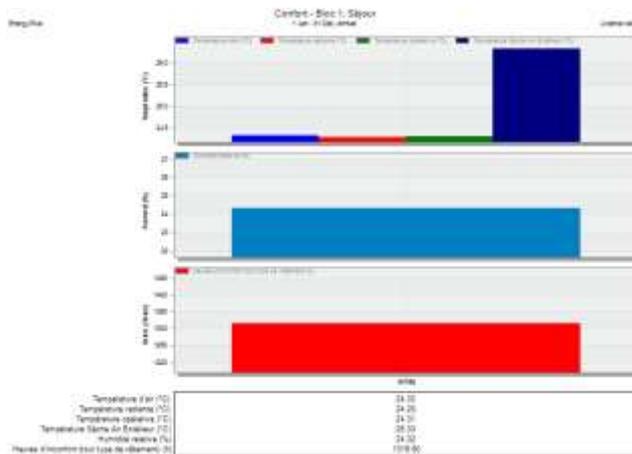
Annexe 12 : Scénario 01 / Brique + double vitrage+ Protection solaire 0.5m+ Isolation sur mur extérieur ép= 3cm, ép= 6cm, ép= 9cm.



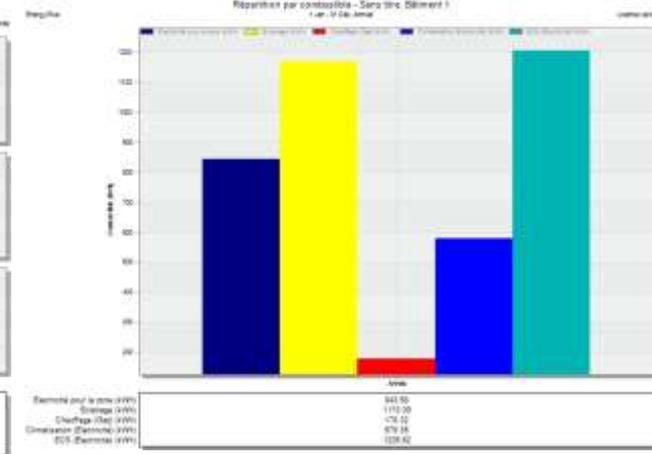
Le Confort annuel (séjour) /3cm



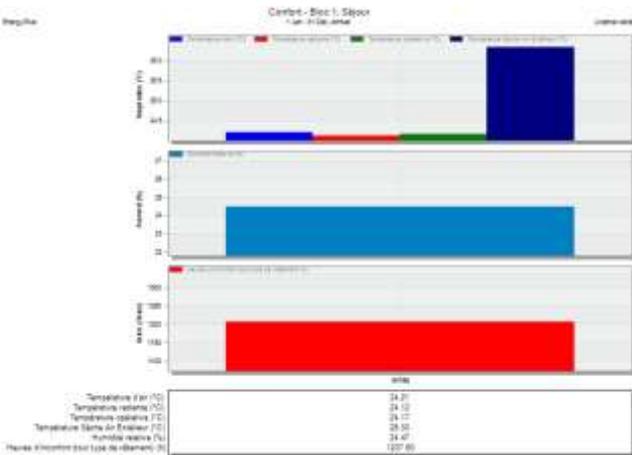
Chauffage & climatisation/3cm



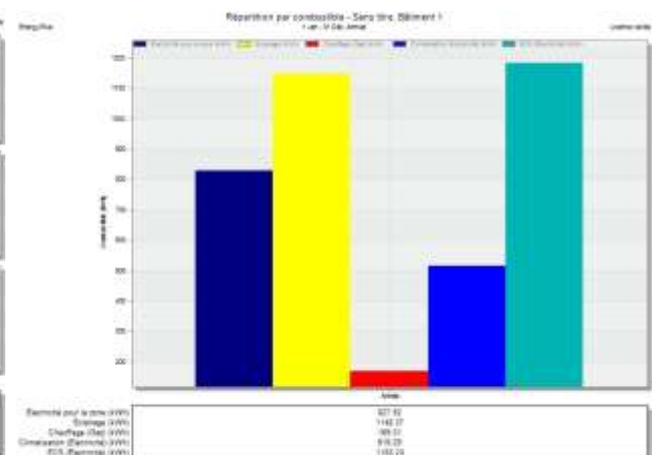
Le Confort annuel (séjour)/6cm



Chauffage & climatisation/6cm



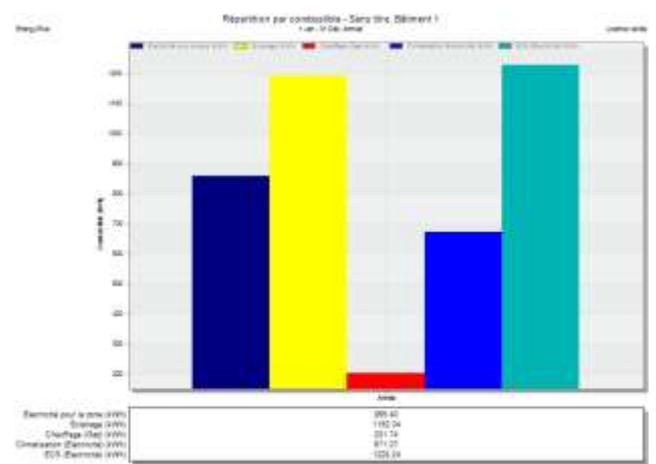
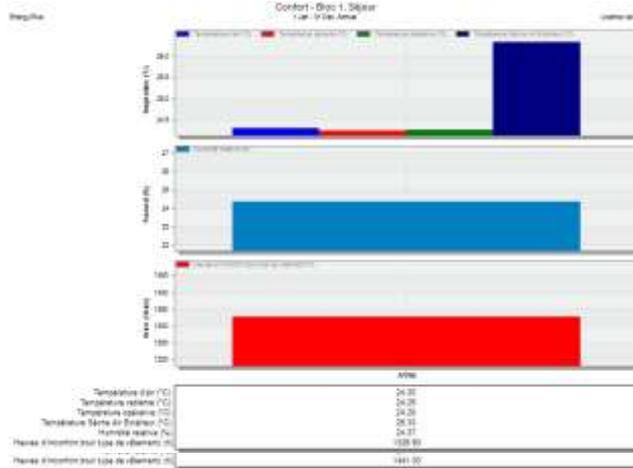
Le Confort annuel (séjour)/9cm



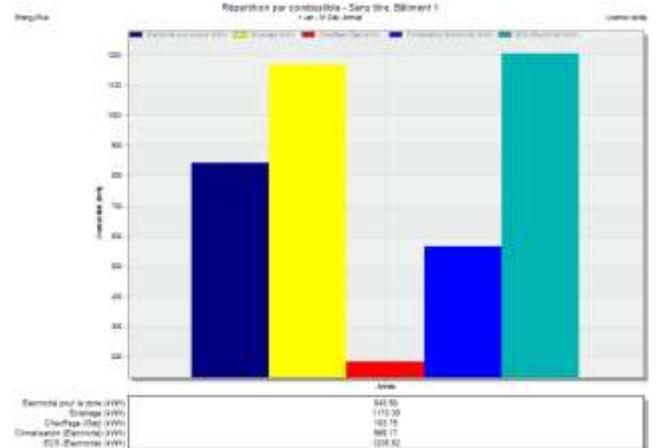
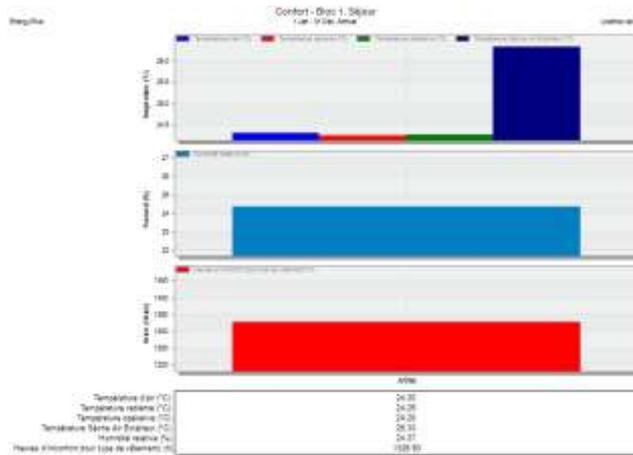
Chauffage & climatisation/9cm

Annexe 13 : Scénario 02 : Brique + double vitrage+ Protection solaire 1m+ Isolation sur mur extérieur ép= 3cm, ép= 6cm, ép= 9cm.

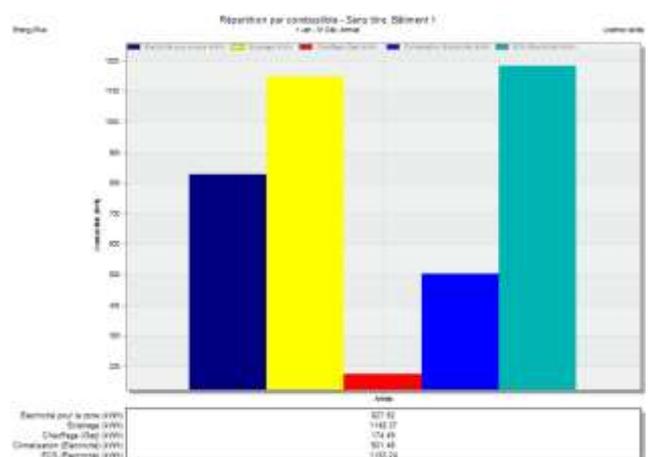
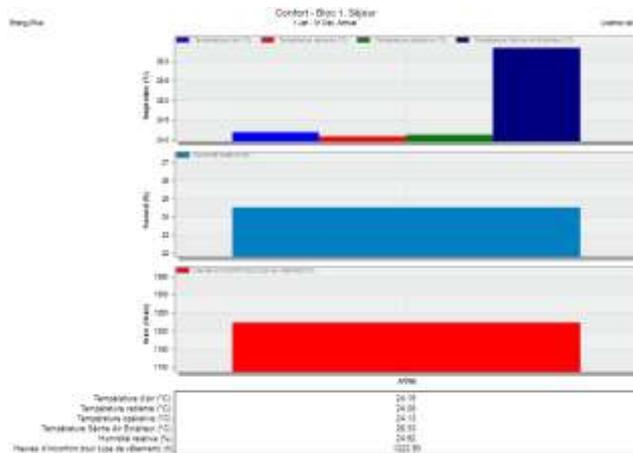
Epaisseur 3cm :



Epaisseur 6cm :

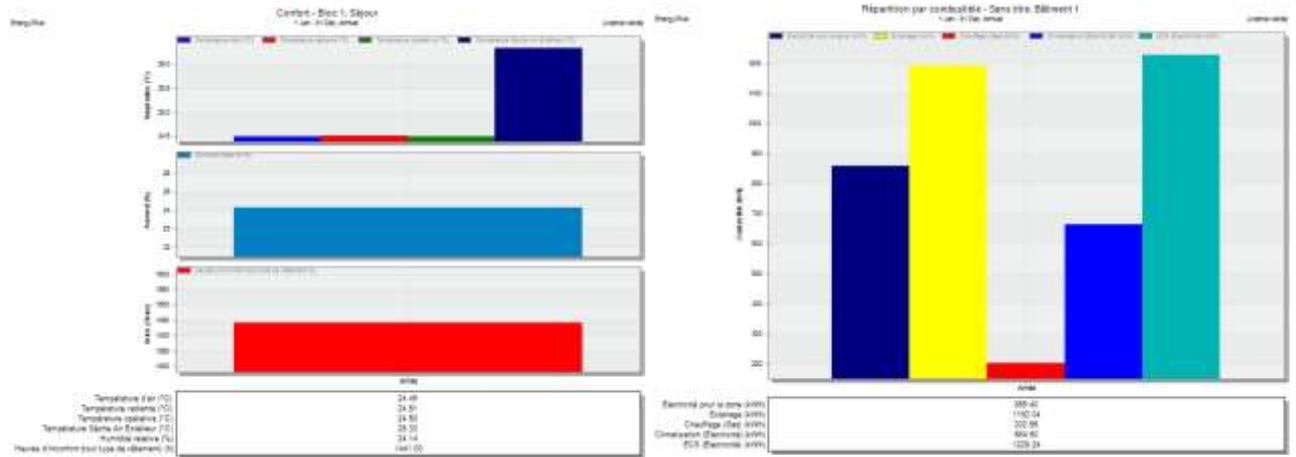


Epaisseur 9cm :

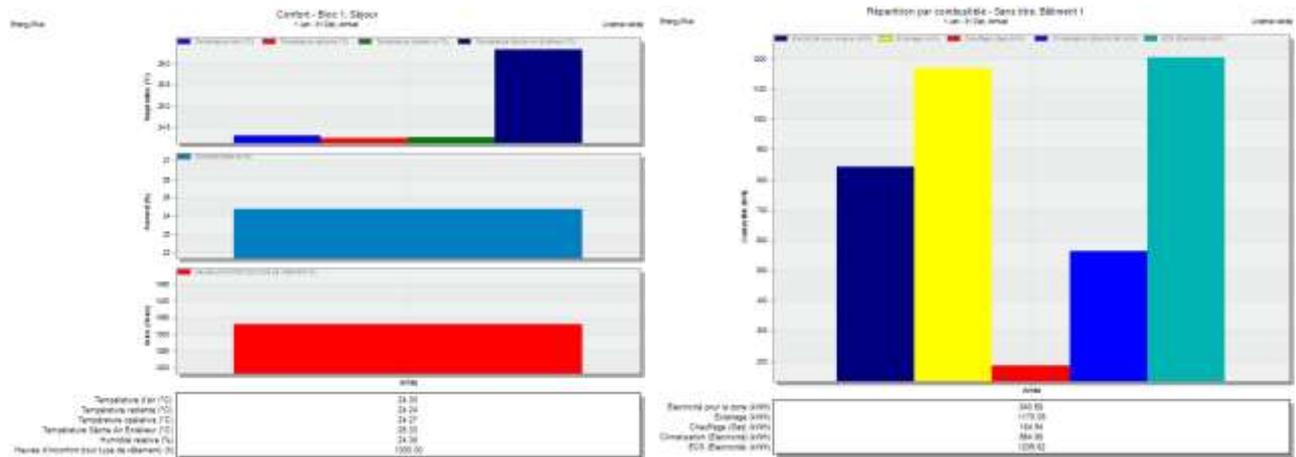


Annexe 14 : Scénario 03 : Brique + double vitrage+ Protection solaire 1.5m+ Isolation sur mur extérieur ép= 3cm, ép= 6cm, ép= 9cm.

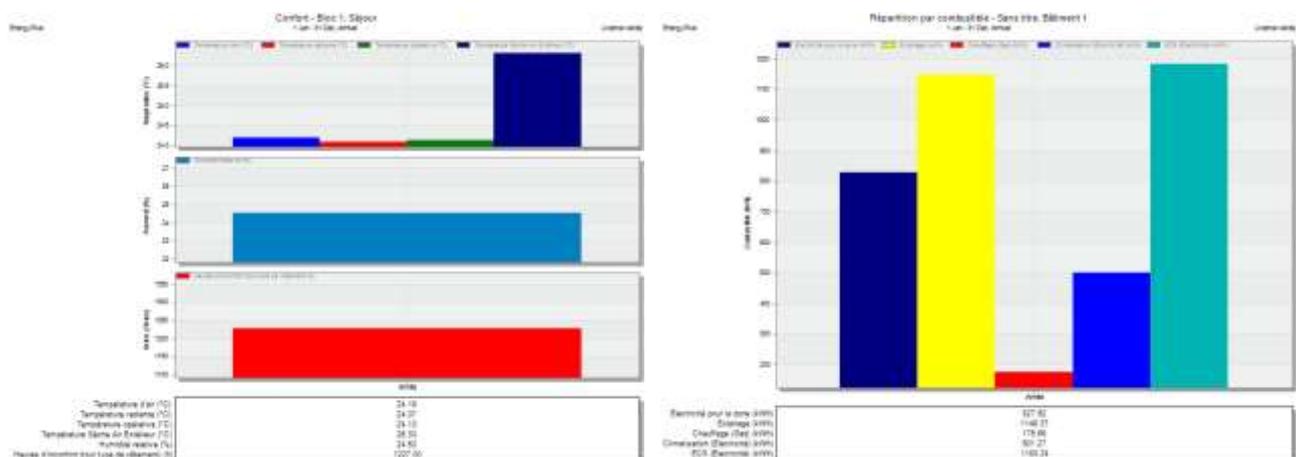
Épaisseur 3cm :



Épaisseur 6cm :

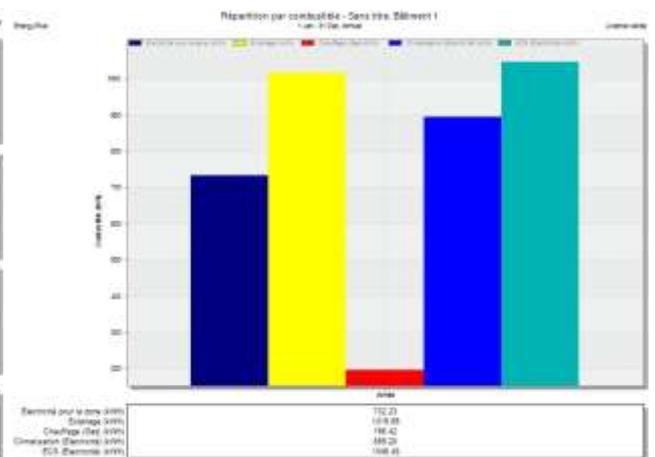
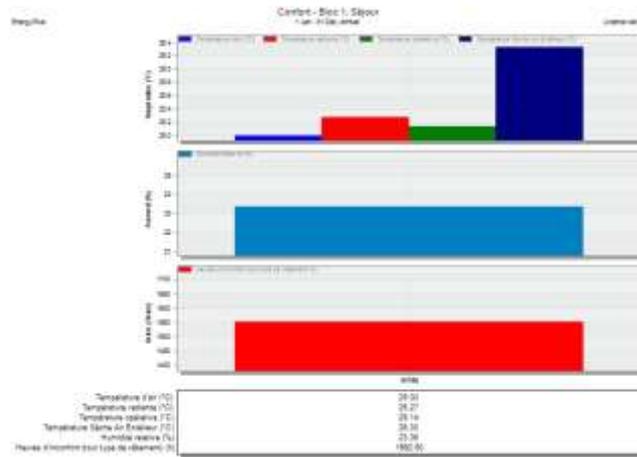


Épaisseur 9cm :

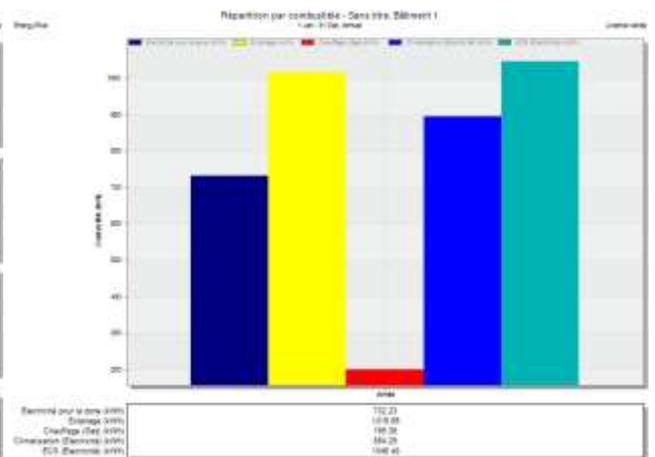
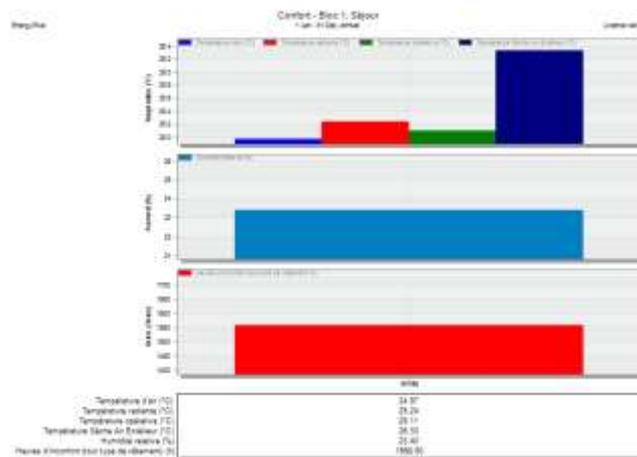


Annexe 15: Scénario 05 : Terre + double vitrage+ Protection solaire 0.5m, 1m, 1.5m :

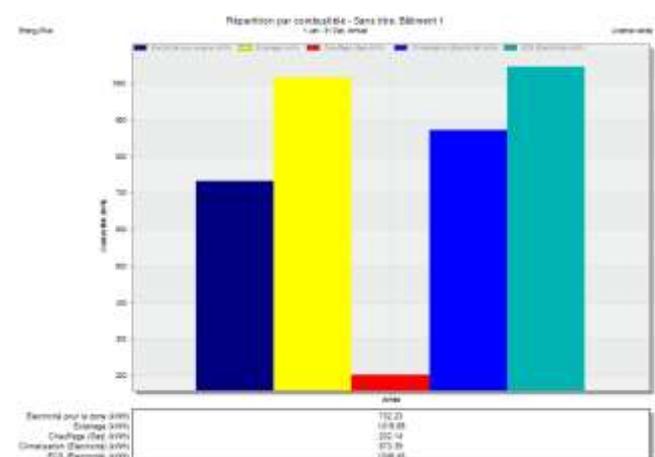
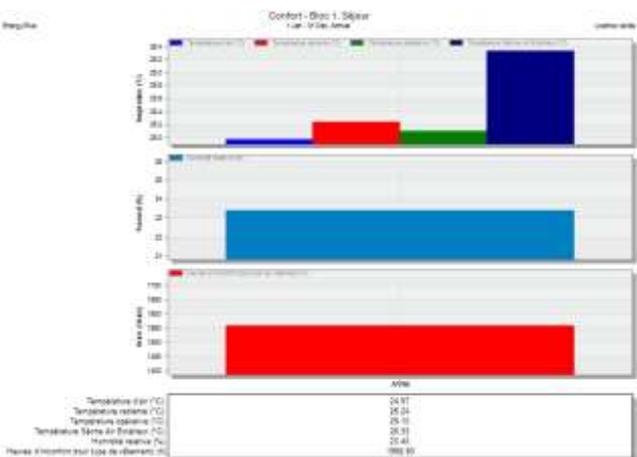
0.5m :



1.0m :

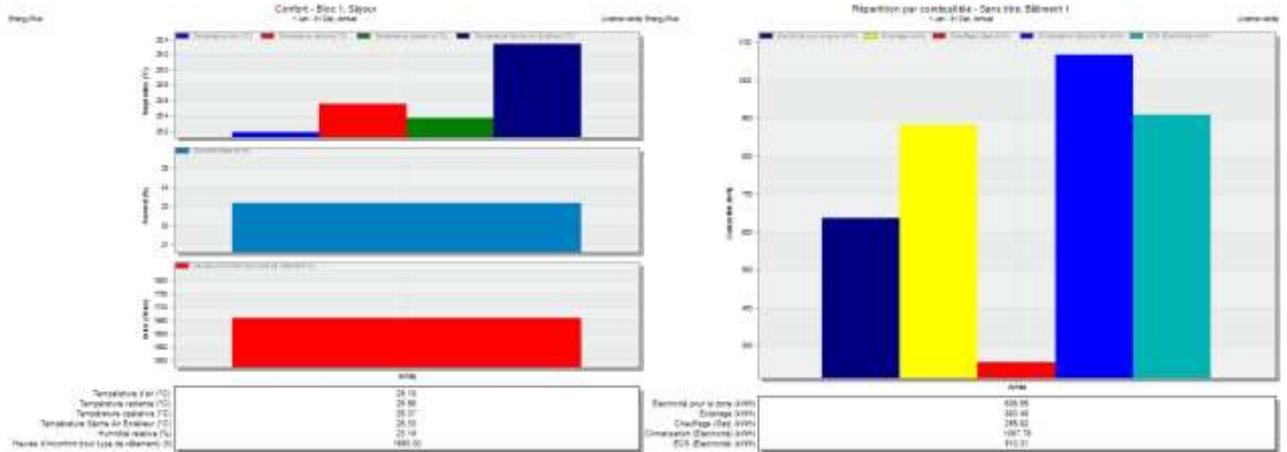


1.5m :

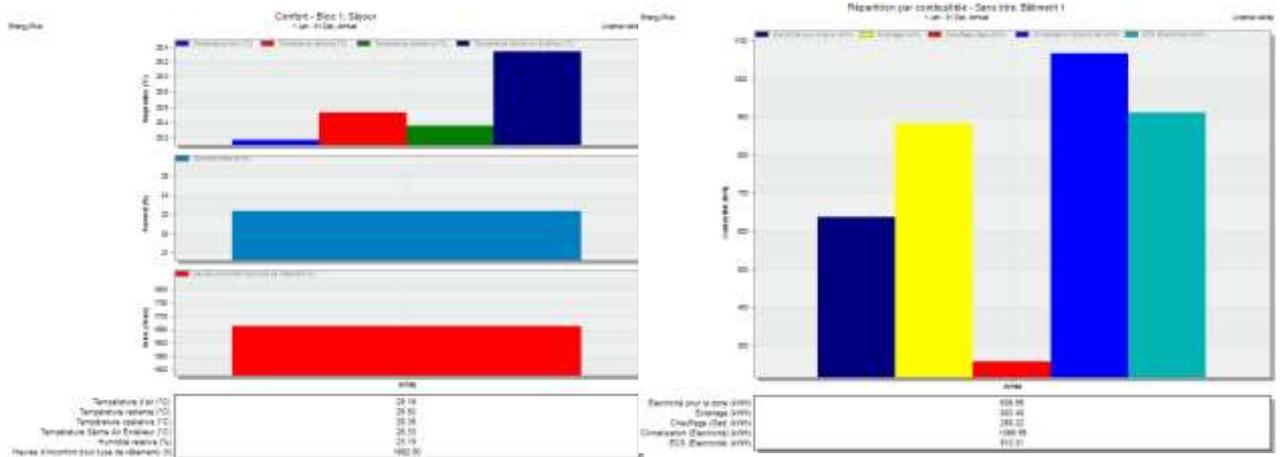


Annexe 16 : Scénario 05 : Pierre + double vitrage+ Protection solaire 0.5m, 1m, 1.5m :

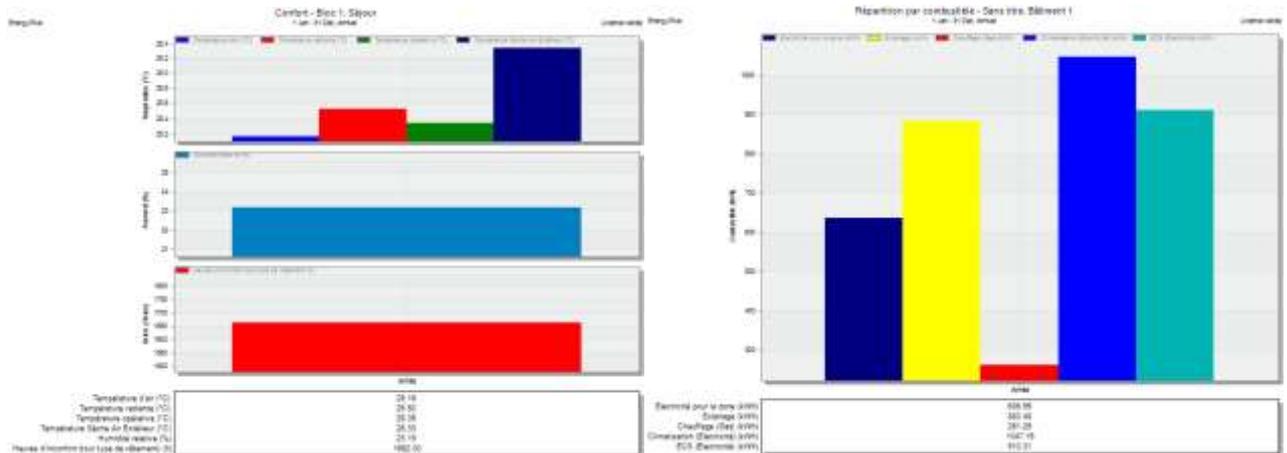
0.5m :



1.0m :

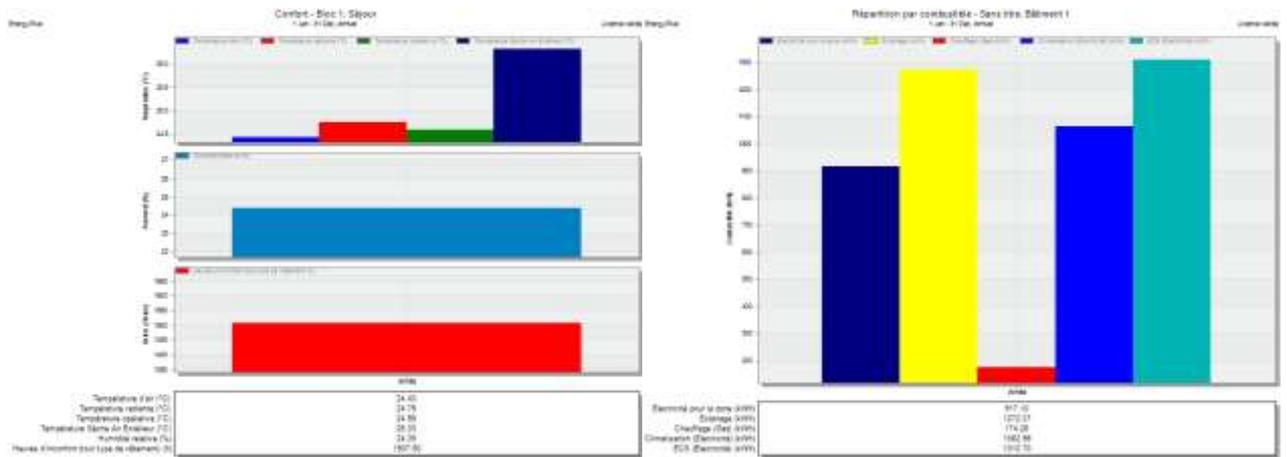


1.5m :

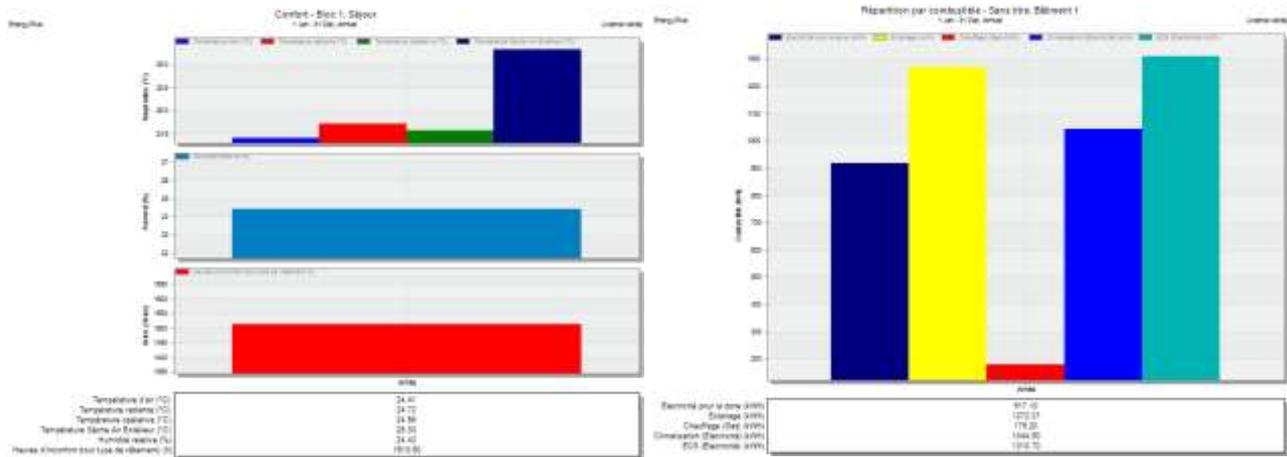


Annexe 17 : Scénario 06 : Béton + double vitrage+ Protection solaire 0.5m, 1m, 1.5m :

0.5m :



1.0m :



1.5m :

