

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Saad DAHLAB Blida1
Faculté de technologie
département des énergies renouvelables



Par : REZZIK Sahbi
et : KIRAD Mohammed Abdelbasset

Pour l'obtention du diplôme :
MASTER
Énergies Renouvelables et HABITAT
BIOCLIMATIQUE

Contribution à l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments en panneaux sandwichs préfabriqués

Soutenu devant le jury composé par :

| | | | | |
|----------|------------------|------------|------|-----------|
| Monsieur | Abdelkader Hamid | professeur | USDB | Président |
| Monsieur | DERRADJI Lotfi | MAB | USDB | Promoteur |
| Monsieur | SEMMAR Djaffar | professeur | USDB | Examineur |

Année Universitaire : 2020/2021

Résumé :

Ce projet consiste à faire la simulation thermique en régime dynamique avec le logiciel TRNSYS afin de comparer et étudier le comportement thermique de trois types de blocs résidentiels à parois en PSCP, béton armé et en brique creuse. La simulation sera effectuée pour les trois différents types de parois, ainsi que pour deux types d'ouvrants, deux zones différentes et aussi pour les quatre orientations principales.

Le but de ce travail est de calculer la consommation énergétique des trois blocs en question en faisant en sorte de comparer celle des blocs réalisés en PSCP avec celles du béton armé et de la brique creuse, et cela mensuellement et annuellement. Ainsi comparer les performances thermiques de ces derniers, et aussi l'impact économique que les PSCP apporteront dans le secteur du bâtiment concernant les factures énergétique (chauffage et climatisation).

Mots clés : PSCP, simulation thermique, régime dynamique, consommation énergétique, performances thermiques, facture énergétique.

Abstract:

This project consists of performing a dynamic thermal simulation with TRNSYS software in order to compare and study the thermal behavior of three types of residential blocks with PSCP, reinforced concrete and hollow brick walls.

The aim of this work is to calculate the energy consumption of the three blocks in question by comparing the energy consumption of the PSCP blocks with that of reinforced concrete and hollow brick, on a monthly and yearly basis, thus comparing the thermal performance of the latter, and also the economic impact that the PSCP will bring to the building sector regarding the energy bills (heating and cooling)

Key words: PSCP, thermal simulation, dynamic regime, energy consumption, thermal performance, energy bill.

ملخص:

يتمثل هذا المشروع في إجراء محاكاة حرارية في نظام ديناميكي باستخدام برنامج TRNSYS من أجل مقارنة ودراسة السلوك الحراري لثلاثة أنواع من الكتل السكنية مع PSCP والخرسانة المسلحة والجدران المبنية من الطوب المجوف.

الهدف من هذا العمل هو حساب استهلاك الطاقة للكتل الثلاث المعنية عن طريق التأكد من مقارنة الكتل المصنوعة في PSCP مع تلك الخاصة بالخرسانة المسلحة والطوب المجوف، وهذا شهرياً وسنوياً، وبالتالي مقارنة الأداء الحراري للكتل الأخير، وكذلك الأثر الاقتصادي الذي سيجلبه PSCP في قطاع البناء فيما يتعلق بفواتير الطاقة (التدفئة وتكييف الهواء).

الكلمات المفتاحية: PSCP، المحاكاة الحرارية، النظام الديناميكي، استهلاك الطاقة، الأداء الحراري، فاتورة الطاقة.

Remerciements :

Nous Tenons, en premier lieu, à remercier Allah, le tout puissant, de nous avoir donné autant de patience, courage et force pour réaliser ce travail.

Nos sincères remerciements vont en premier lieu à :

- *Mr*
- *Mr.....*
- *Mr.....*

Pour avoir accepté de faire partie du jury et d'examiner ce travail avec attention ;

- *À notre promoteur : Mr DERRADJI LOTFI*

Pour toutes leurs orientations pertinentes et pour leur disponibilité.

- *À nos **parents** pour le soutien et les encouragements qu'ils nous ont fournis pendant cette période.*
- *À nos familles, nos amis et à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.*

Dédicaces :

Avec l'aide du tout Puissant, j'ai pu réaliser ce modeste travail que je dédie :

À mon très cher père, **MOUSSA**

Je voudrais partager ce succès avec lui, Que dieu le protège et le garde.

À ma très chère maman, **KARIMA**

Que dieu la protège pour moi, je ne pourrai jamais la remercier assez Pour ce qu'elle fait pour moi.

À mes frères **AYMEN, ABDELWADOUD et MOHAMED** Ainsi que ma chère sœur **AMANI**, à mes cher Grand parents Qui sont très présents pour me soutenir et tous mes Amis, (**ABDELHAK, ABDEL SALAM, NECEREDDINE, JAFFER, FETHI, ADELE.....**) A mon binôme qui on s'est entendu parfaitement bien et Ses énorme effort pour la réalisation de ce travaille, A tous mes collègues

SANS oublier mes adorables p'tits chats **NALA ET MASSIMO**.

ABDELBASSET

Dédicaces :

Je dédie ce modeste travail en signe de respect et de reconnaissance :

A mes parents, mon père **BELKACEM** et ma mère **NORA** qui ne cessent de m'encourager et me soutenir tous les jours. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

A tous les membres de ma famille, mes frères et sœurs **AHMED, ANIS, LILIA ET YASMINA** ; A mon binôme avec qui on a souffert durant la réalisation de ce travail, à tous mes collègues et mes chers amis (à Mr **GUEZLAN SAMIR**) ainsi qu'à ma bien aimée **CHIFA** ; à mes deux chats (**PEPPER ET MICHOU**) qui étaient toujours avec moi, Et à tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont soutenu pendant ma formation, par leur assistance.

SAHBI

Le sommaire :

| | | |
|----------|---|----------|
| 1 | CHAPITRE 1 : GENERALITE ET REVUE BIBLIOGRAPHIQUE : | 4 |
| 1.1 | INTRODUCTION : | 4 |
| 1.2 | L'ETAT DE L'ART : | 4 |
| 1.2.1 | <i>Les travaux consultés à travers le Monde :</i> | 4 |
| 1.3 | LE BESOIN D'ÉNERGIE DANS LE BÂTIMENT : | 7 |
| 1.4 | LA CONSOMMATION ENERGITIQUE DANS LE BATIMENT EN ALGERIE : | 9 |
| 1.4.1 | <i>Consommation énergétique mondiale par secteur d'activité :</i> | 9 |
| 1.4.2 | <i>Consommation énergétique national par secteur d'activité :</i> | 9 |
| 1.4.2.1 | Quelques indicateurs énergétiques : | 10 |
| 1.4.2.2 | La consommation finale du secteur résidentiel : | 11 |
| 1.4.2.3 | La consommation énergétique du secteur tertiaire : | 12 |
| 1.5 | LA STRATÉGIE NATIONALE DE LA MAITRISE D'ÉNERGIE : | 12 |
| 1.5.1 | <i>L'agence nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation del'Énergie (APRUE) :</i> | 13 |
| 1.5.1.1 | Le programme ECO-BAT : | 13 |
| 1.5.2 | <i>La Comité Sectoriel de la Maitrise de l'énergie (CIME) :</i> | 13 |
| 1.5.3 | <i>Le Fond National de Maitrise de l'énergie (FNME) :</i> | 14 |
| 1.5.4 | <i>Le Programme Nationale de Maitrise de l'Énergie (PNME) :</i> | 14 |
| 1.5.5 | LA RÉGLEMENTATION ALGÉRIENNE : | 14 |
| 1.5.6 | MISE EN APPLICATION DE LA RÉGLEMENTATION THERMIQUEDES BÂTIMENTS : | 15 |
| 1.6 | L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE : | 16 |
| 1.6.1 | <i>QU'EST-CE QUE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ?</i> | 16 |
| 1.6.2 | <i>L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LE BÂTIMENT :</i> | 17 |
| 1.6.3 | <i>La démarche d'amélioration de l'efficacité énergétique :</i> | 17 |
| 1.6.3.1 | Diminuer les besoins : efficacité énergétique « passive » : | 18 |
| 1.6.3.2 | Superviser et gérer les équipements techniques du bâtiment efficacité énergétique « active » : | 18 |
| 1.6.4 | <i>Les étapes d'amélioration de l'efficacité énergétique :</i> | 18 |
| 1.6.5 | <i>Enveloppe du bâtiment :</i> | 19 |
| 1.6.6 | <i>Déperdition thermique :</i> | 19 |
| 1.7 | CONTEXTE ET ENJEUX DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE DANS LES BATIMENTS (APPROCHE BIOCLIMATIQUE ET ISOLATION THERMIQUE) : | 21 |
| 1.7.1 | <i>La conception bioclimatique des bâtiments :</i> | 21 |
| 1.7.1.1 | Architecture bioclimatique : | 21 |
| 1.7.2 | <i>Isolation thermique :</i> | 23 |
| 1.7.2.1 | Thermique des bâtiments : | 23 |
| 1.7.2.2 | Conductivité thermique : | 23 |
| 1.7.2.3 | L'isolation extérieure : | 24 |
| 1.7.2.4 | L'isolation intérieure : | 26 |
| 1.7.2.5 | Comparaison entre l'isolation par l'extérieur et l'isolation par l'intérieur : | 26 |
| 1.7.3 | LES DIFFERENTS TYPES D'ISOLANTS THERMIQUES EN ALGERIE : | 27 |
| 1.7.3.2 | Propriétés thermiques : | 29 |
| 1.8 | LES PANNEAUX SANDWICHS EN BETON PREFABRIQUE (PSCP) : | 30 |
| 1.8.1 | <i>Définition :</i> | 30 |
| 1.8.2 | <i>Composants d'un panneau sandwich :</i> | 31 |
| 1.8.2.1 | Paroi de béton : | 31 |
| 1.8.2.2 | Isolation : | 31 |
| 1.8.2.3 | Les connecteurs : | 34 |
| 1.8.3 | <i>Les ponts thermiques entre la paroi en PSCP et Paroi traditionnelle :</i> | 36 |
| 1.8.4 | <i>Performances thermiques intrinsèques des PSCP :</i> | 37 |
| 1.8.4.1 | Valeurs pré calculées des ponts thermiques intégrés : | 38 |
| 1.8.4.2 | Ponts thermiques des liaisons : | 41 |

| | | |
|---------|---|----|
| 1.9 | CONCLUSION : | 43 |
| 2 | CHAPITRE 2 : MODELISATION ET SIMULATION | 45 |
| 2.1 | INTRODUCTION : | 45 |
| 2.2 | PRESENTATION DES SITES : | 45 |
| 2.2.1 | <i>La situation géographique du site :</i> | 45 |
| 2.2.2 | <i>Les caractéristiques du climat :</i> | 46 |
| 2.3 | DESCRIPTION DU PROJET : | 48 |
| 2.3.1 | <i>Les plans des trois Blocs du bâtiment sont les suivants :</i> | 49 |
| 2.3.2 | <i>Matériaux utilisés :</i> | 51 |
| 2.3.3 | <i>Composition des parois : (de l'intérieur vers l'extérieur) :</i> | 51 |
| 2.3.3.1 | Bâtiment en panneaux sandwichs en béton préfabriqué : | 51 |
| 2.3.3.2 | Bâtiment en béton armé : | 52 |
| 2.3.3.3 | Bâtiment en brique double cloison : | 53 |
| 2.3.4 | <i>Menuiserie :</i> | 55 |
| 2.3.5 | <i>Simulation thermique dynamique :</i> | 55 |
| 2.3.5.1 | Principe de simulation thermique dynamique : | 55 |
| 2.3.6 | <i>TRNSYS (Transient System Simulation) :</i> | 56 |
| 2.3.7 | <i>Utilisation du logiciel TRNSYS :</i> | 57 |
| 2.3.7.1 | Données introduites : | 57 |
| 2.3.7.2 | Fichier Météo De Hassi Messaoud : | 57 |
| 2.3.8 | <i>TRNbuild :</i> | 58 |
| 2.3.9 | <i>Les scénarios appliqués :</i> | 59 |
| 2.3.9.1 | Scénario d'occupation : | 59 |
| 2.3.9.2 | Scénario de chauffage et climatisation : | 60 |
| 2.3.10 | <i>Les différentes consignes introduites :</i> | 61 |
| 2.3.11 | <i>Les Gains thermique :</i> | 61 |
| 2.4 | CONCLUSION : | 61 |
| 3 | CHAPITRE 3: RESULTATS ET DISCUSSIONS | 63 |
| 3.1 | INTRODUCTION : | 63 |
| 3.2 | ÉVOLUTION DE LA TEMPERATURE : | 63 |
| 3.2.1 | <i>En hiver :</i> | 63 |
| 3.2.2 | <i>En été :</i> | 65 |
| 3.3 | CONSOMMATION EN CHAUFFAGE ET EN CLIMATISATIONS MENSUELS : | 67 |
| 3.4 | CONSOMMATION EN CHAUFFAGE ET EN CLIMATISATION ANNUELS : | 70 |
| 3.5 | BESOINS ANNUEL TOTAUX : | 72 |
| 3.6 | BESOINS ANNUELS : | 73 |
| 3.7 | CONSOMMATIONS ANNUELLES PAR ORIENTATION : | 74 |
| 4 | REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE : | 78 |

Liste des figures :

| | |
|--|----|
| Figure 1: Demande de l'énergie finale dans le cas du chauffage domestique. [1]..... | 8 |
| Figure 2: Consommation énergétique mondiale par secteur d'activité [2]..... | 9 |
| Figure 3: Consommation finale par secteur [4]. | 11 |
| Figure 4: Répartition de la consommation du secteur résidentiel par type d'énergie [3]..... | 11 |
| Figure 5: Répartition de la consommation du secteur tertiaire par type d'énergie [3]..... | 12 |
| Figure 6: La démarche d'amélioration de l'efficacité énergétique (Alix DESSONS, Giles CAMBILLAU, David DESSONS)..... | 17 |
| Figure 7: Les leviers de l'efficacité énergétique [8] | 19 |
| Figure 8: Pertes d'énergie dans un bâtiment non isolé- (Ademe)..... | 20 |
| Figure 9: L'implantation et l'orientation du bâtiment ou de la maison et des différentes pièces. [12]... | 22 |
| Figure 10: composition d'un mur à isolation extérieure [16]..... | 25 |
| Figure 11: image réelle d'une réalisation d'un mur à isolation extérieure [16]..... | 25 |
| Figure 12: composition d'un mur à isolation intérieure [16] | 26 |
| Figure 13: A gauche, isolation intérieure : de nombreux ponts thermiques sont inévitables à chaque étage. A droite, isolation extérieure, entourant complètement la structure [17]..... | 27 |
| Figure 14: Structure des panneaux sandwich préfabriqué [21] | 30 |
| Figure 15: Épaisseur d'isolation requise pour un PPCP afin de respecter une valeur U de 0,18 W·m ² .K1 en utilisant différents matériaux..... | 33 |
| Figure 16: Exemples de connecteurs en béton. | 34 |
| Figure 17: Exemples de connecteurs métalliques typiques | 35 |
| Figure 18: Différence entre les technologies de construction traditionnelles et les nouvelles technologies de construction [22] | 37 |
| Figure 19: localisation des ponts thermiques intégrés | 38 |
| Figure 20: Affectation du pont thermique situé au niveau du joint d'étanchéité en fonction du positionnement du plancher..... | 41 |
| Figure 21: La situation géographique du site | 46 |
| Figure 22: Température annuelle à Hassi Messaoud | 47 |
| Figure 23: Température journalière à Hassi Messaoud..... | 47 |
| Figure 24: Ensoleillement annuelle à Hassi Messaoud..... | 48 |
| Figure 25: Rayonnement annuelle à Hassi Messaoud..... | 48 |
| Figure 26: Plan du BLOC A Situé à GASSI TOUIL | 49 |
| Figure 27: Plan du BLOC B Situé à GASSI TOUIL | 50 |
| Figure 28: Plan du BLOC VIP Situé à GASSI TOUIL | 50 |
| Figure 29: Interface TRNSYS Pour la Simulation Réalisée..... | 57 |
| Figure 30: Création de fichier météorologique (Hassi Messaoud) | 58 |
| Figure 31: Interface TRNBuild pour la simulation réalisée | 58 |
| Figure 32: Evolution de la Températures du bloc A en hiver (du 8 au 15 janvier) | 64 |
| Figure 33: Evolution de la Températures du bloc B en hiver (du 8 au 15 janvier)..... | 64 |
| Figure 34: Evolution de la Températures du bloc VIP en hiver (du 8 au 15 janvier) | 65 |
| Figure 35: Evolution de la Températures du bloc A en été (du 15 au 22 juillet)..... | 65 |
| Figure 36: Evolution de la Températures du bloc B en été (du 15 au 22 juillet)..... | 66 |
| Figure 37: Evolution de la Températures du bloc VIP en été (du 15 au 22 juillet) | 66 |
| Figure 38: Consommation en chauffage bloc A | 67 |
| Figure 39: Consommation en chauffage bloc B | 68 |
| Figure 40: Consommation en chauffage bloc VIP..... | 68 |
| Figure 41: Consommation en climatisation bloc A | 69 |
| Figure 42: Consommation en climatisation bloc B..... | 69 |
| Figure 43: Consommation en climatisation bloc VIP | 70 |

| | |
|---|----|
| Figure 44:Consommation énergétique annuelle en chauffage et climatisation bloc A | 71 |
| Figure 45:Consommation énergétique annuelle en chauffage et climatisation bloc B | 71 |
| Figure 46:Consommation énergétique annuelle en chauffage et climatisation bloc VIP..... | 72 |
| Figure 47:Consommation énergétique annuelle bloc A | 72 |
| Figure 48:Consommation énergétique annuelle bloc B | 73 |
| Figure 49:Consommation énergétique annuelle bloc VIP..... | 73 |
| Figure 50:Consommation annuelle par type de vitrage (kwh) | 74 |

Liste des tableaux :

| | |
|--|----|
| Tableau 1: Comparaison entre l'isolation par l'extérieur et l'isolation par l'intérieur | 26 |
| Tableau 2: propriétés de quelques isolants thermiques [20]..... | 29 |
| Tableau 3: Propriétés matérielles des différentes couches de béton par ordre croissant de résistance à la compression [21] | 31 |
| Tableau 4: Liste des types d'isolants disponibles dans le commerce convenant aux PPCP. Valeurs de densité et de conductivité tirées d'exemples de produits Kingspan [21] | 32 |
| Tableau 5: coefficient X_j des ancrages | 38 |
| Tableau 6: grille d'estimation des coefficients des joints d'étanchéité | 39 |
| Tableau 7: performance relative des joints d'étanchéités | 40 |
| Tableau 8: valeur tabulés | 42 |
| Tableau 9: Les matériaux utilisés | 51 |
| Tableau 10: Mur extérieur PSCP | 51 |
| Tableau 11: Mur intérieur PSCP..... | 51 |
| Tableau 12: Plancher PSCP..... | 52 |
| Tableau 13: Toiture PSCP..... | 52 |
| Tableau 14: Mur extérieur béton armé..... | 52 |
| Tableau 15: Mur intérieur béton armé | 53 |
| Tableau 16: Plancher béton armé | 53 |
| Tableau 17: Toiture béton armé..... | 53 |
| Tableau 18: Mur extérieur brique | 53 |
| Tableau 19: Mur intérieur brique..... | 54 |
| Tableau 20: Plancher brique..... | 54 |
| Tableau 21: Toiture brique..... | 54 |
| Tableau 22: Menuiseries | 55 |
| Tableau 23: Scénario d'occupation journalière au travail..... | 59 |
| Tableau 24: Scénario d'occupation en fin de semaine..... | 59 |
| Tableau 25: Scénario d'occupation hebdomadaire | 59 |
| Tableau 26: Scénario de mouvement Hall | 60 |
| Tableau 27: Chauffage | 60 |
| Tableau 28: Climatisation | 60 |
| Tableau 29: Les Gains thermique | 61 |

Nomenclature :

Apo : Apports à travers les parois opaques,

Av : Apports à travers les parois vitrées,

AIn : Apports par infiltration,

ARen : Apports par renouvellement d'air,

Nai : Coefficient d'amortissement,

Aint : Apports internes,

Tbi : Température intérieure de base,

Tbe : Température extérieure de base,

DR : Déperditions par renouvellement d'air,

DT : Déperditions par transmission,

ACERMI : Association de CERTification des Matériaux Isolants

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

DTU : Documents Techniques Unifiés

HQE : Haute Qualité Environnemental

ISO : International Standard Organisation

NF : Normalisation Française

RT 2000 : Réglementation Thermique 2000

RT 2005 : Réglementation Thermique 2005

Règle Th-U : Règle Thermique sur les déperditions

Règle Th-K : Règle Thermique sur le niveau d'isolation

Règle Th-C : Règle Thermique sur les consommations conventionnelles

Règle Th-E : Règle Thermique sur le confort d'été

Règle Th-I : Règle Thermique sur l'inertie thermique

Règles Th-S : Règle Thermique sur la solarisation

ei : épaisseur des matériaux constitutifs de la paroi en (mètre)

$\lambda.i$: coefficient de conductivité de chaque matériau (en watt/m°C)

0,2 : estimation de la contribution des échanges convectifs

A1 : surface des parois verticales opaques

A2 : surface des planchers sous combles

A3 : surface des toitures sous terrasse

A4 : surface des planchers bas

A5 : surface des portes

A6 : surface des fenêtres sans fermetures

A7 : surface des fenêtres avec fermeture

L8 : linéaire du pourtour du plancher bas

L9 : linéaire du pourtour des planchers intermédiaires

L10 : linéaire du pourtour des toitures

R : résistance.

K : coefficient dépendant de la classe de ciment, du type de granulats et du mode de mise en œuvre.

C : dosage en ciment.

E : dosage en eau.

V : volume d'air subsistant.

INTRODUCTION GENERALE :

Le confort thermique étant un des aspects les plus importants pour un bon style de vie pour les occupants demeure un point très essentiel, qui peut être obtenu par divers manières, et parmi celles les plus adapté et les plus efficaces on y trouve Les mesures en efficacités énergétiques.

En ce qui est de l'architecture bioclimatique, on s'intéresse en grande partie sur le choix des matériaux de construction ainsi que des différentes dispositions des pièces ainsi que de l'orientation afin d'atteindre un confort thermique le plus idéal.

Une méthode des plus efficaces qu'on connaît devrait répondre à toutes nos exigences, cette dernière consiste à intégrer de l'isolant dans les parois constituant nos bâtiments.

Cette intégration se fera l'aide d'un type de parois ou une technologie appelée les panneaux sandwichs. Les panneaux sandwichs (PSCP) qui sont des panneaux en matériaux de construction (panneaux sandwichs en béton préfabriqué dans notre cas) renfermant un isolant à l'intérieur.

Une technique qui vise à réduire d'une manière importante tous les apports ou échange thermique vers l'extérieur afin de réduire le maximum possible les besoins énergétiques tout en réalisant un meilleur confort thermique.

En faisant ainsi, on finira par obtenir des chiffres économiques importants, et sans oublier l'impact écologique qui consiste à la diminution des émissions de gaz à effet de serre CO₂.

Le but de ce travail consiste à étudier, comprendre et modélisé le comportement thermique des bâtiments en parois PSCP durant l'année, pour ensuite faire la comparaison de la consommation énergétique de chauffage et de climatisation annuelle avec les mêmes bâtiments réalisés en différents matériaux (le béton armé, ainsi que les briques creuses). Puis refaire l'étude en variant le choix des ouvrants installés ainsi que les différentes orientations possibles dans deux sites différents. Ceci se fera en trois chapitres principaux.

Dans le premier chapitre, nous allons aborder une étude bibliographique avec un passage en état de l'art sur quelques travaux disponibles qui traitent l'intégration des panneaux sandwichs dans les bâtiments, et quelque définition et concepts sur l'efficacité énergétique et la thermique des bâtiments.

Pour ce qui est du second chapitre, nous exposons une étude du site ou ce projet en question est en train d'être réalisé, avec une modélisation des paramètres influenceront les gains énergétiques apportés par l'intégration des PSCP dans l'enveloppe des bâtiments.

Pour ensuite faire la simulation thermique en régime dynamique avec le logiciel TRNSYS pour trois différentes configurations de trois mêmes blocs afin de cerner les paramètres influençant la température de l'air intérieur ainsi que sur la consommation énergétique totale.

Pour ensuite procéder à une comparaison des trois différents blocs étudiés avec leurs trois différentes compositions de parois en matière de consommation énergétique mensuelle et annuelle, ainsi qu'une comparaison du cas le plus favorable avec deux types d'ouvrants (en aluminium et en PVC). Après, nous allons faire la comparaison entre quatre différentes orientations.

Et pour clôturer le tout, un dernier chapitre consacré à l'interprétation des résultats obtenus, et aux discussions de ces derniers, suivi d'une conclusion générale.

GENERALITE ET REVUE BIBILIOGRAPHIQUE

1 Chapitre 1 : Généralité Et Revue Bibliographique :

1.1 INTRODUCTION :

L'énergie est un produit vital, elle est utilisée dans l'activité humaine sous différentes formes notamment mécanique, thermique, chimique, électrique et nucléaire, permettant à chacune des utilisations différentes. Considérée aussi comme un bien social, l'énergie nous fait vivre et assure notre bien-être. Le bâtiment avec ses différents secteurs (habitation, tertiaire, résidentiel, ...) utilise cette énergie pour répondre aux multiples besoins et confort (éclairage, cuisson, chauffage, climatisation, etc.). L'énergie utilisée pendant la construction, la rénovation et l'utilisation d'un bâtiment peut être calculée de façon globale et considérablement réduite. Une évaluation globale du bâtiment nécessite de prendre en compte la consommation d'énergie lors de sa fabrication, son fonctionnement et sa démolition. La flambée de la consommation d'énergie dans le monde durant ces dernières décennies est un fait incontestable. Actuellement malgré un monde économique au ralenti, la consommation énergétique est restée très vorace. Cette croissance a engendré de nouveaux défis, sur le plan environnemental et économique sachant que le changement climatique liée à l'augmentation des gaz à effets de serre est généré en grande partie par le CO₂ dû à la production et la consommation d'énergie.

1.2 L'état de l'art :

Avant d'entreprendre la simulation thermique dynamique dans notre cas d'étude, il nous a paru utile d'analyser certaines expériences, en faisant appel à plusieurs paramètres relatifs à ce dispositif. Ce genre d'étude vise à améliorer la compréhension objective qui garantit une bonne conduite de la recherche à travers la lecture des exemples spécifiques et diversifiés. Pour cela on a cité plusieurs études qui a été faite ces dernières années et on a parlé un peu de ce qu'ils on fait comme étude et les méthodes suivies pour alimenter une réflexion approfondie sur la simulation des bâtiments et acquérir des idées sur le développement de la recherche dans le domaine de l'habitat

1.2.1 Les travaux consultés à travers le Monde :

Parmi les travaux les plus récents que nous allons citer :

[Richard O’Hegarty & al] [21] dans leur article en revue principalement les recherches menées sur les panneaux sandwich préfabriqué, leur étude examine thermiquement des panneaux sandwich en béton préfabriqué légers et minces qui intègrent un isolant à haute performance entre deux fines parois de béton.

Un échantillon de panneaux minces est testé expérimentalement à l'aide d'une plaque chauffante pour évaluer sa performance thermique.

La modélisation par éléments finis est ensuite utilisée pour étudier plus en détail les caractéristiques communes des conceptions de panneaux minces et les zones potentielles de perte de chaleur.

Les zones potentielles de perte de chaleur. Le panneau sandwich mince représentatif analysé (150 mm d'épaisseur) obtient une valeur U moyenne de 0,322.

[Michael Grimes & al] [24] Cette étude décrit la conception, les essais et la production de nouveaux panneaux constitués de deux couches de béton renforcé par des fibres, qui prennent en sandwich une couche d'isolation haute performance. Deux couches de béton renforcé de fibres à haute résistance, qui prennent en sandwich une couche d'isolation à haute performance.

Les couches sont reliées par des connecteurs à grille en polymère renforcé de fibres dans le but d'obtenir une action composite.

Les panneaux sandwichs minces en béton préfabriqué permettent de réaliser des économies de poids et de matériaux par rapport aux panneaux en béton armé standard.

Les panneaux sandwichs minces en béton préfabriqué offrent des économies de poids et de matériaux par rapport aux panneaux en béton armé standard, ce qui permet de réaliser des économies au niveau de la fabrication, du transport et du site, ainsi que de réduire l'énergie intrinsèque. Une grande partie de la recherche actuelle, axée sur la réduction de l'épaisseur des sections de béton, privilégie l'utilisation du béton armé textile qui nécessite des équipements et des méthodes de fabrication spécialisés. Ce travail présente au contraire une solution qui peut être produite dans des installations de préfabrication standard. Le développement de la conception et le test de différentes itérations de la conception sont décrits. Dix échantillons de panneaux de 3 m de haut sont testés structurels à l'aide d'essais de flexion. Les panneaux sont testés thermiquement en utilisant des techniques expérimentales et une analyse par éléments finis.

Une étude de cas est présentée sur un bâtiment de démonstration. Il a atteint un moment de flexion supérieur aux exigences de la charge de vent de conception, une valeur U mesurée inférieure à $0.18 \text{ W}\cdot\text{m}^2 \cdot\text{K}^{-1}$ et une résistance résiduelle après fissuration garantissant une rupture ductile. Par conséquent, la conception finale du panneau est réputée répondre aux exigences structurelles et thermiques d'un élément de revêtement à haute performance. Le panneau a été développé à l'échelle dans une installation de préfabrication pour une mise en œuvre pratique sur un bâtiment en service.

[Ivana Banjad Pečur & al] [23] Ce document représente une solution pour la période de reprise économique ECO-SANDWICH® un panneau mural préfabriqué en béton ventilé innovant avec isolation en laine minérale Ecose® intégrée Une isolation en laine minérale intégrée, Il permet la conception et la rénovation de bâtiments à très faible de réutiliser et de recycler les déchets de construction (conformément aux 6e et 7e exigences de base pour les travaux de construction).

Exigences de base pour les travaux de construction). Il est le fruit d'une collaboration entre la communauté universitaire et l'industrie de la construction et sur les principes de la construction "clé en main". Fournit à l'utilisateur un bâtiment en béton de haute qualité, abordable, économe en énergie et esthétiquement attrayant.

[Francoise Summers & al] [25] Cette étude porte sur la performance environnementale d'une sélection de bâtiments dans le village typique d'Anatolie centrale de Şahmuratli en Turquie. L'objectif était de rechercher des techniques de construction abordables et efficaces sur le plan énergétique, adaptées aux établissements ruraux et intégrant des valeurs culturelles traditionnelles dans une région semi-aride et aride. Caractérisée par des hivers longs et rigoureux et des étés chauds et secs, Pour ce faire, ils ont analysé les mesures de température et d'humidité dans des bâtiments construits à partir de divers matériaux traditionnels et modernes. Le comportement et le confort thermique, les modèles d'utilisation de l'énergie et l'adéquation des différentes techniques et matériaux de construction sont analysés, comparés et discutés. Certains aspects de cette étude en cours, initiée par un programme de partenariat du British Council, sont présentés dans cet article.

Council Partnership Programme, sont présentés dans cet article qui se concentre sur une structure traditionnelle en briques de terre crue, une maison en bottes de paille et une maison en bois. Traditionnelle, une maison en bottes de paille et un bâtiment en béton cellulaire. Ils démontrent comment l'enveloppe d'un bâtiment réagit aux conditions extérieures à l'aide d'une

illustration graphique et nous montrons comment la recherche peut être étendue par la création de simulations à l'aide du logiciel Ecotect. Cette recherche contribue à la promotion d'une architecture passive et à faible consommation d'énergie pour un avenir durable.

[A. Kemajou & al] [26] la particularité de leur étude est que, par rapport aux habitations modernes en parpaings creux agglomérés de la zone chaude elle intègre une composante socioculturelle tenant compte des matériaux qui entrent dans les habitudes de construction de la population Les résultats de ces simulations ont montré qu'en fonction des climats, le bois et la brique de terre sont meilleurs par rapport au parpaing de ciment, car l'habitat traditionnel représente parfois une réponse directe aux contraintes climatiques.

1.3 LE BESOIN D'ÉNERGIE DANS LE BÂTIMENT :

Le besoin brut du bâtiment est la quantité d'énergie nécessaire pour maintenir, pendant une période de temps donné, un climat intérieur convenable et satisfaire les prestations du bâtiment (eau chaude, cuisson, éclairage, chauffage, climatisation, ...). Elle se caractérise par les différentes formes, c'est pourquoi elle est appelée « protéiforme ».

Dans le bâtiment, le maintien d'un confort thermique agréable semble s'opposer aux recherches d'économie d'énergie. D'où, on ne pourra répondre à cette apparente contradiction que par une conception "globaliste" du bâtiment. Pour se faire, il faut posséder de bonnes notions sur les paramètres climatiques, l'inertie thermique des bâtiments et leur localisation

Cette approche du besoin d'énergie de chauffage et de climatisation renvoie trois facteurs explicatifs [1] :

Le besoin en température ; est un besoin de climat intérieur, caractérisé par la température intérieure moyenne (qui explique principalement de façon quantitative le besoin d'énergie de chauffage ou climatisation) ce besoin en température est, un besoin « social » ;

Les caractéristiques physiques du logement qui interviennent de façon prépondérante dans la création du besoin d'énergie sont le volume et le degré d'isolation. D'autres caractéristiques importantes telles que l'exposition au soleil, au vent, le vitrage qu'on doit prendre en considération dès la conception et l'implantation ;

Le climat du site, qui détermine la période du besoin.

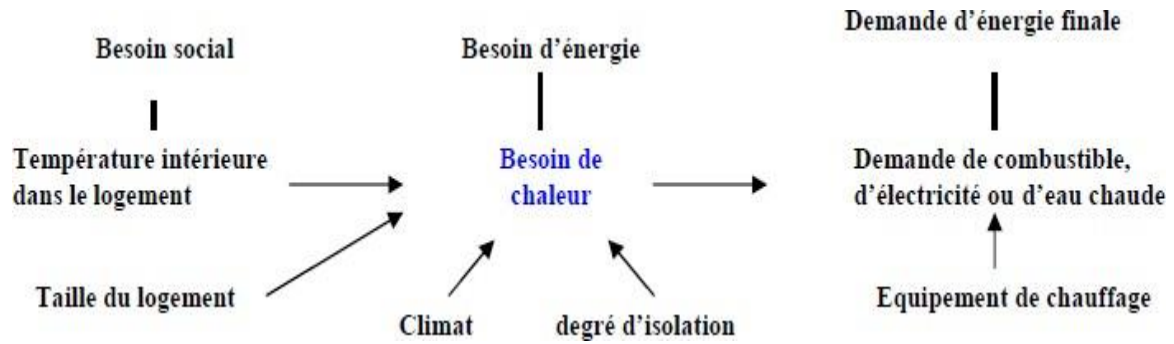


Figure 1: Demande de l'énergie finale dans le cas du chauffage domestique. [1]

Le besoin d'énergie se traduit par la demande d'énergie finale, par exemple les besoins de chaleur pour le chauffage d'une maison donnent naissance à une demande d'électricité, du fuel-oil ou de gaz cette demande est schématisée dans la figure 1 :

1.4 LA CONSOMMATION ENERGITIQUE DANS LE BATIMENT EN ALGERIE :

1.4.1 Consommation énergétique mondiale par secteur d'activité :

Tous les domaines d'activité ne consomment pas la même quantité d'énergie, ni les mêmes énergies. Les secteurs tertiaire et résidentiel, par exemple, étaient les plus gros consommateurs en 2018 et représentaient 32 % de la facture énergétique du monde. Leur énergie préférée : l'électricité, à près de 37%. En comparaison, le secteur des transports représentait 27% de la consommation énergétique mondiale et utilisait majoritairement le pétrole (75%) pour son activité. L'industrie n'est pas en reste, avec 28% de la consommation totale du monde en 2018, mais celle-ci préfère le gaz, qui représente un quart de sa facture. Enfin, l'agriculture est le secteur le plus économe : seulement 3% de la dépense totale d'énergie [2].

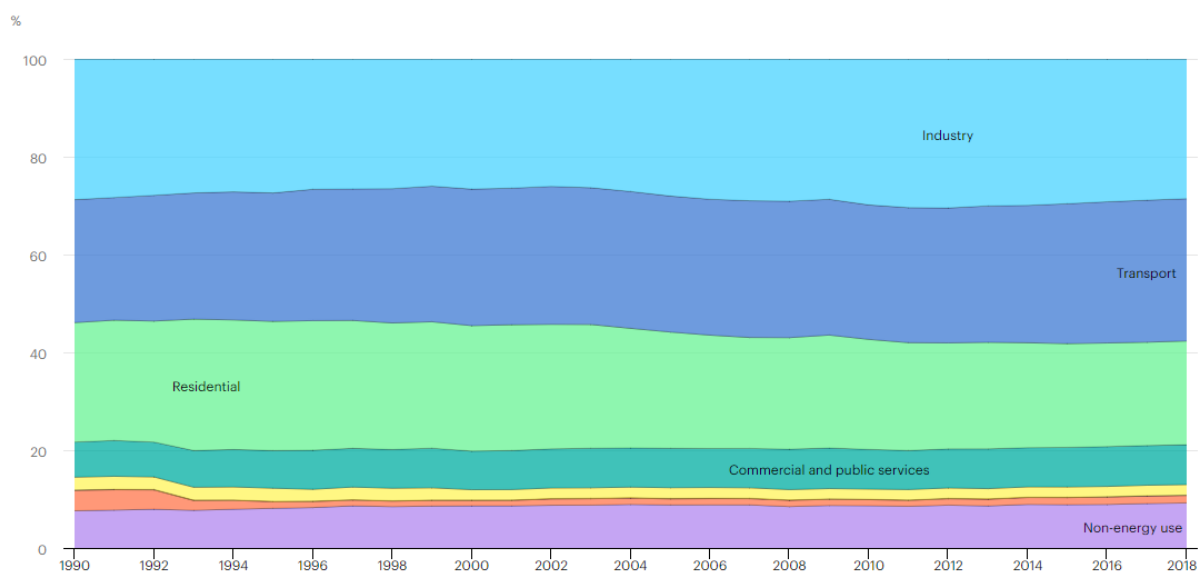


Figure 2: Consommation énergétique mondiale par secteur d'activité [2].

1.4.2 Consommation énergétique nationale par secteur d'activité :

L'Algérie, pays producteur et exportateur de pétrole et de gaz a connu une nouvelle politique nationale des hydrocarbures. L'état a permis le financement d'un vaste programme industriel, social et économique [3].

1.4.2.1 Quelques indicateurs énergétiques :

Il est à noter que le taux de croissance annuel moyen du PIB cst hhc se situe à un niveau appréciable entre %6(2017-2007/an) et le PIB cst ahc à un niveau moindre (%3/an) pour la période.

- L'intensité énergétique finale : 7.037 TEP/MDA2000
- L'intensité énergétique primaire : 8.133 TEP/MDA2000
- L'intensité environnementale finale : 15 TCO2/MDA2000
- L'intensité environnementale primaire : 24 TCO2/MDA2000
- Le PIB cst (hhc) par habitant : 0.150 MDA2000/hab
- Le PIB cst (ahc) par habitant : 0.175 MDA2000/hab
- La Consommation finale moyenne : 1.058 TEP/hab
- La Consommation primaire moyenne : 1.422 TEP/hab
- L'Emission finale moyenne : 2.263 TCO2/hab
- L'Emission primaire moyenne : 3.812 TCO2/hab

Le détail de la consommation finale par secteur d'activité, est donné ci-après... La structure de la consommation finale reste dominée par le secteur des « RESIDENTIEL TERTIARE » (43%), suivi par le transport (33%) et enfin le secteur de « l'industrie » avec une part de (22%), comme illustré dans le graphe ci-après [4] :

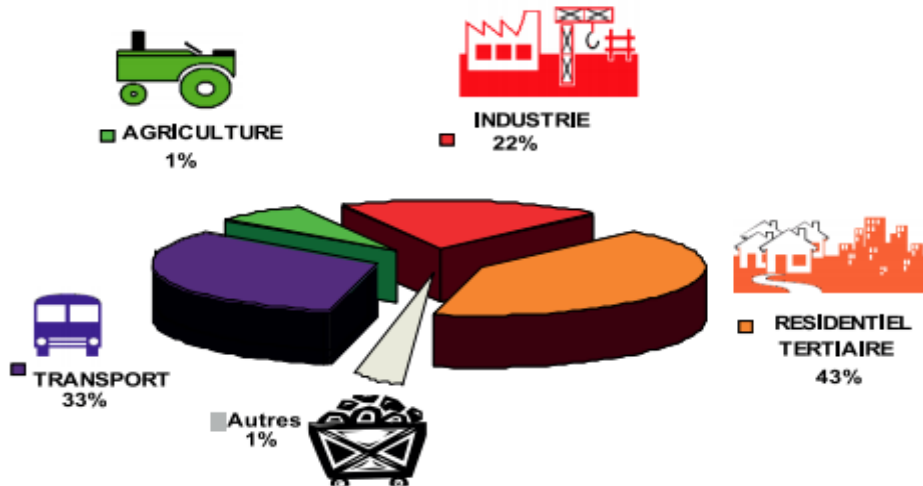


Figure 3: Consommation finale par secteur [4].

1.4.2.2 La consommation finale du secteur résidentiel :

La consommation électrique du secteur résidentiel a atteint 2139 KTep. Elle représente %43 de la consommation totale d’électricité. Il a atteint 9417 KTep en produits gazeux soit %60 de la consommation totale des produits gazeux. Il représente, de ce fait, le premier secteur grand consommateur d’énergie au niveau national soit %33. Entre 2007-2017, la consommation d’énergie du secteur a progressé de %8.3/an. Ce sont les produits : l’électricité, le gaz naturel, le GPL, le fuel domestique qui ont contribué à cette croissance avec des TCAM respectifs de : % 10.5/an ; % 11/an ; % 0.7-/an ; % 14.3-/an. [3]

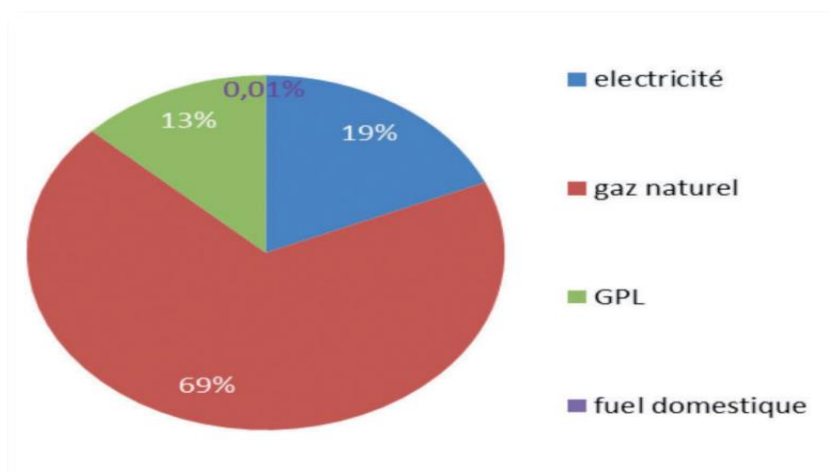


Figure 4: Répartition de la consommation du secteur résidentiel par type d’énergie [3]

1.4.2.3 La consommation énergétique du secteur tertiaire :

Entre 2007 et 2017, la consommation finale du secteur a progressé annuellement de %6.6/an. Ces les produits : l'électricité, le gaz naturel, le GPL, le gasoil, le charbon qui ont contribué à cette évolution avec des TCAM respectifs de : %6.3- ; %5.1 ; %0.9 ; %10.3 ; %5.3/an. Une forte demande d'électricité est à prévoir en raison des perspectives de développement de ce secteur. En ce qui concerne l'analyse de la consommation d'électricité par usages, l'éclairage et le froid totalisent %90, le chauffage et la cuisson représentent %60 de gaz naturel des usages thermiques. [3]

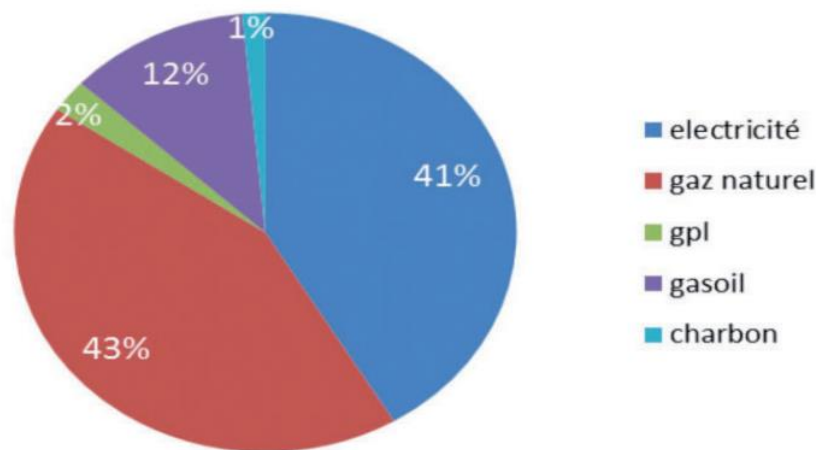


Figure 5: Répartition de la consommation du secteur tertiaire par type d'énergie [3]

La répartition de la consommation du tertiaire par produit montre que l'électricité est prédominante. Cela s'explique par l'introduction massive des équipements de chauffage et de climatisation et la généralisation de l'utilisation des matériels bureautiques et informatiques.

1.5 LA STRATÉGIE NATIONALE DE LA MAITRISE D'ÉNERGIE :

En effet, la maîtrise d'énergie couvre l'ensemble des mesures et des actions mises en œuvre en point de vue utilisation rationnelle de l'énergie et du développement des énergies renouvelables. Elle répond aux soucis suivants [5] :

La préservation des ressources nationales d'hydrocarbures.

La préservation des capacités de financement de pays utilisable dans d'autres domaines que le secteur énergétique.

La protection de l'environnement.

Pour maître en œuvre cette nouvelle orientation et politique, le ministère de l'énergie et des mines (MEM) adopte les instruments suivants [5] :

1.5.1 L'agence nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie (APRUE) :

L'APRUE représente l'élément central des instruments, elle est chargée de missions d'information, de communication et de formation en direction de tous les acteurs publics impliqués dans la maîtrise de l'énergie.

L'APRUE dispose d'un certain nombre de programmes et d'initiative visant la maîtrise de l'énergie dans le secteur du bâtiment parmi ces programmes il y a :

1.5.1.1 Le programme ECO-BAT :

Le programme prévoit l'amélioration du confort thermique dans les logements et la réduction de la consommation énergétique pour le chauffage et la climatisation par :

La mobilisation des acteurs du bâtiment autour de la problématique de l'efficacité énergétique.

La réalisation d'une action démonstrative, preuve de la faisabilité des projets à haute performance énergétique en Algérie.

La provocation d'un effet d'entraînement des pratiques de prise en considération des aspects de maîtrise de l'énergie dans la conception architecturale et enfin, favoriser la mise en application des normes réglementaires.

Contrairement au rôle complémentaire de la plupart des programmes précédents, le programme Eco-Bât à l'air important parce qu'il consiste à concevoir des bâtiments performant en matière d'énergie. Ainsi, Le secteur résidentiel apparaît donc bien comme une cible prioritaire pour la maîtrise de l'énergie parce qu'il est le plus consommateur.

1.5.2 La Comité Sectoriel de la Maîtrise de l'énergie (CIME) :

La CIME est un organisme consultatif, elle est chargée d'organiser la concertation et le développement du partenariat public/privé. Aussi, elle émet des avis sur toutes les questions relatives aux domaines de la maîtrise de l'énergie, sur les travaux d'élaboration, de mise en œuvre et de suivi du programme nationale de maîtrise de l'énergie (PNME).

1.5.3 Le Fond National de Maitrise de l'énergie (FNME) :

Le FNME est un instrument public spécifique d'incitation financière de la politique de maîtrise de l'énergie. Il doit favoriser la continuité des moyens de cette politique.

1.5.4 Le Programme Nationale de Maitrise de l'Énergie (PNME) :

Le PNME constitue le cadre de mise en œuvre de la maîtrise de l'énergie au niveau national. Il comprend :

Le cadre et les perspectives de la maîtrise de l'énergie ;

L'évaluation des potentiels et la définition des objectifs de la maîtrise de l'énergie ;

Les moyens d'action existants et à mettre en œuvre pour atteindre les objectifs à long terme ;

Un programme d'action quinquennal.

1.5.5 LA RÉGLEMENTATION ALGÉRIENNE :

En Algérie, la réglementation thermique de 1997 des bâtiments à usage d'habitation a été conçue pour réduire la consommation de chauffage de l'ordre de 25%.

Une réflexion est engagée actuellement pour porter ce niveau d'économie à plus de 40%. Pour ce faire, des simulations numériques ont été menées sur des logements types. Il ressort de l'étude qu'en agissant sur la seule limitation des déperditions thermiques par transmission, il est possible d'atteindre ce nouvel objectif tout en réduisant substantiellement la charge de climatisation d'été. Une nouvelle réglementation thermique pourrait s'articuler autour des deux principes suivants : réserver la réglementation de 1997 à l'habitat individuel, définir de nouveaux coefficients réglementaires plus contraignants pour l'habitat en immeuble collectif. [6].

La réglementation Algérienne s'inspire en grande partie de la réglementation française, par contre les méthodes de calcul utilisées sont plus simples, elle autorise, tout du moins dans certaines limites, le calcul informatisé des besoins de chauffage. Ceci est un point positif

puisque cela permet de profiter de l'inertie thermique d'un bâtiment ; un facteur très important étant donné le type de climat et de constructions existantes diffère en Algérie.

Une réglementation prenant en compte le confort thermique est prise en considération surtout durant les périodes chaudes. Une telle réglementation est d'une importance capitale étant donné le problème du confort en période d'été et de la consommation d'énergie due à la climatisation utilisée dans de nombreuses régions d'Algérie.

1.5.6 MISE EN APPLICATION DE LA RÉGLEMENTATION THERMIQUE DES BÂTIMENTS :

La mise en application de la loi 99.09 relative à la maîtrise de l'énergie dans le secteur du bâtiment s'est concrétisée par la promulgation le 24 avril 2000 d'un décret exécutif n°2000-90 portant réglementation thermique dans les bâtiments neufs.

Celle-ci a pour objectif l'introduction de l'efficacité énergétique dans les bâtiments neufs à usage d'habitation et autres et dans les parties de constructions réalisées comme extension des bâtiments existants.

Dans le cadre de cette réglementation le Centre National de la Recherche de l'industrie du Bâtiment [CNERIB] a préparé trois documents techniques réglementaires à l'usage des professionnels du bâtiment à savoir :

Le DTR.C 3-2 qui établit les règles de calcul des déperditions calorifiques d'hiver pour les bâtiments à usage d'habitation.

Le DTR.C 3-4 relatif aux règles de calcul des apports calorifiques d'été pour les bâtiments à usage d'habitation.

Le DTR.C 3-31 relatif à la ventilation naturelle des locaux à usage d'habitation.

Cette réglementation dont la finalité est le renforcement de la performance énergétique globale du bâtiment, laisse ainsi de larges possibilités aux concepteurs et aux maîtres d'ouvrage de choisir entre les performances thermiques globales du bâtiment aussi bien dans le choix des matériaux que la conception du cadre bâti.

La mise en application de cette réglementation permettra d'après nos estimations de réduire les besoins calorifiques de nouveaux logements de l'ordre de 40% pour les besoins en chauffage et en climatisation.

Cependant, sa mise en application effective nécessitera notamment, sa vulgarisation auprès des bureaux d'études, des architectes et des promoteurs à travers notamment des journées techniques dédiées à cet effet [7]

La finalité de cette réglementation est le renforcement de la performance énergétique globale du bâtiment et sa mise en application permettra d'apprêt l'APRU, de réduire les besoins calorifiques de nouveaux logements de l'ordre de 30% à 40% pour les besoins en chauffage et climatisation.

Malgré cet arsenal juridique important, il faut reconnaître qu'actuellement, il n'existe aucune volonté politique pour prendre en charge la surconsommation énergétique dans notre bâtiment.

Les bâtiments en Algérie ne sont pas encore dotés d'une réglementation thermique spécifique, l'application des réglementations thermiques détaillées dans les différents documents techniques réglementaires (DTR.C 3-2, DTR.C 3-4, DTR.C 3-31) pour les bâtiments à usage d'habitation n'est pas obligatoire, c'est pour ces raisons que la quasi totalité des bureaux d'études n'ont pas une copie de cette réglementation.

La mise en place d'une réglementation thermique et énergétique des bâtiments neufs et des mécanismes de contrôle devient par conséquent une nécessité étant donnée les perspectives énergétiques futures du pays et les enjeux qui sont en premier lieu économiques pour réduire la facture énergétique et pour réduire les émissions de gaz à effet de serres.

1.6 L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE :

1.6.1 QU'EST-CE QUE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ?

Il existe plusieurs définitions de l'efficacité énergétique, nous retiendrons que quelques-unes :

C'est le rapport entre le service délivré au sens large (performance, produit, énergie, confort, service) et l'énergie qui y a été consacrée [8].

C'est de réduire à la source la quantité d'énergie nécessaire pour un même service, mieux utilisé l'énergie à qualité de vie constante [9].

L'efficacité énergétique se définit comme une consommation en énergie moindre pour le même service rendu [10].

De ces trois définitions se dégage un point commun, l'efficacité énergétique est le rapport entre ce que produit le dispositif ou le système, et ce qu'il absorbe comme énergie. Elle est d'autant meilleure que le système énergétique utilise le moins d'énergie possible, que cela soit le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire, la climatisation, l'éclairage ou toute sorte de besoin énergétique. Consommer moins et mieux pour le même confort thermique, tel est l'objectif de tout concept d'efficacité énergétique.

1.6.2 L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LE BÂTIMENT :

L'efficacité énergétique d'un bâtiment est influencée par divers facteurs : orientation, forme, qualité de l'isolation thermique, choix des fenêtres, utilisation de protections solaires, etc. Pour limiter les besoins en chauffage et en climatisation, et par là même les rejets polluants dans l'atmosphère, les communes pourront veiller à ce que tous ces aspects soient optimisés dès le stade de la construction.

1.6.3 La démarche d'amélioration de l'efficacité énergétique :

En matière d'efficacité énergétique, il faut principalement jouer sur deux leviers : diminuer les besoins qui sont relatifs au bâti proprement dit, et améliorer les équipements techniques du bâtiment et leur gestion. Un troisième levier très difficile à quantifier et qui est le comportement de l'utilisateur être inclus.

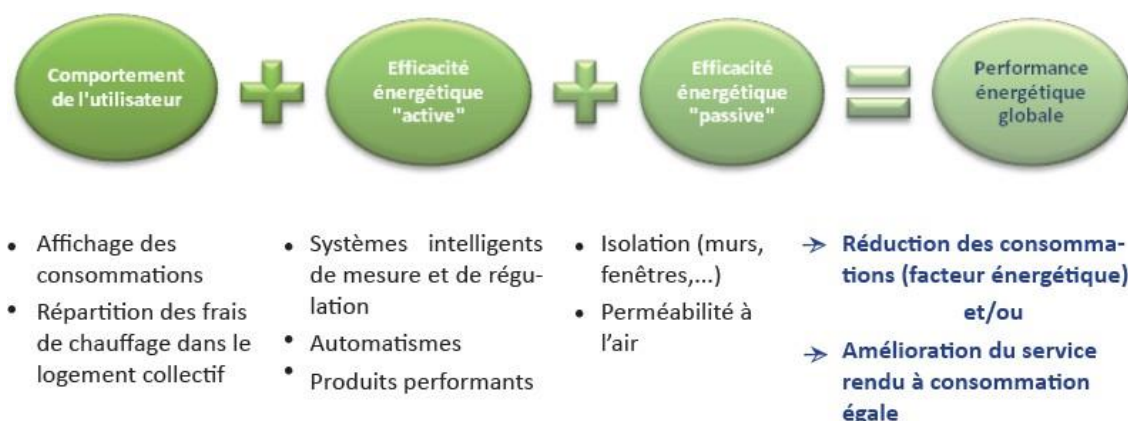


Figure 6: La démarche d'amélioration de l'efficacité énergétique (Alix DESSONS, Giles CABBILLAU, David DESSONS)

1.6.3.1 Diminuer les besoins : efficacité énergétique « passive » :

L'efficacité énergétique passive résulte d'une part de l'isolation du logement et sa perméabilité à l'air, en utilisant par exemple des matériaux performants d'isolation thermique ou des menuiseries à triple vitrage, d'autre part, du choix d'équipements les plus performants c'est à dire des produits qui rendront le même service en consommant moins.

1.6.3.2 Superviser et gérer les équipements techniques du bâtiment efficacité énergétique « active » :

Basée sur une offre de produits performants et de systèmes intelligents de régulation, d'automatismes et de mesure, l'efficacité énergétique active permet de :

Réduire les consommations d'énergie, donc la facture énergétique ;

Améliorer la qualité et la disponibilité de l'énergie en consommant l'énergie juste nécessaire.

1.6.4 Les étapes d'amélioration de l'efficacité énergétique :

L'amélioration de l'efficacité énergétique consiste, par rapport à une situation de référence soit à [8] :

Augmenter le niveau de service rendu, à consommation d'énergie constante ;

Économiser l'énergie à service rendu égal ;

Réaliser les deux simultanément.

Les solutions d'efficacité énergétique consistent le plus souvent à économiser l'énergie à service rendu égal ou à augmenter le niveau de service rendu, à consommation d'énergie constante. Elles visent donc à améliorer la performance délivrée avec une moindre consommation d'énergie.

Un projet d'amélioration de l'efficacité énergétique d'un bâtiment comporte plusieurs étapes qui vont, à travers des actions cohérentes, permettre des gains énergétiques en agissant sur différents paramètres humains et matériels.

L'approche conceptuelle d'amélioration de l'efficacité énergétique est identique pour les secteurs résidentiels et tertiaires. En revanche la mise en pratique sur le terrain sera différente en raison des divergences liées :

Aux aspects techniques ;

Aux matériels à mettre en œuvre ;

Aux coûts d'exploitation et de maintenance ;

Aux méthodes de financement ;

Aux temps de retour sur investissement.

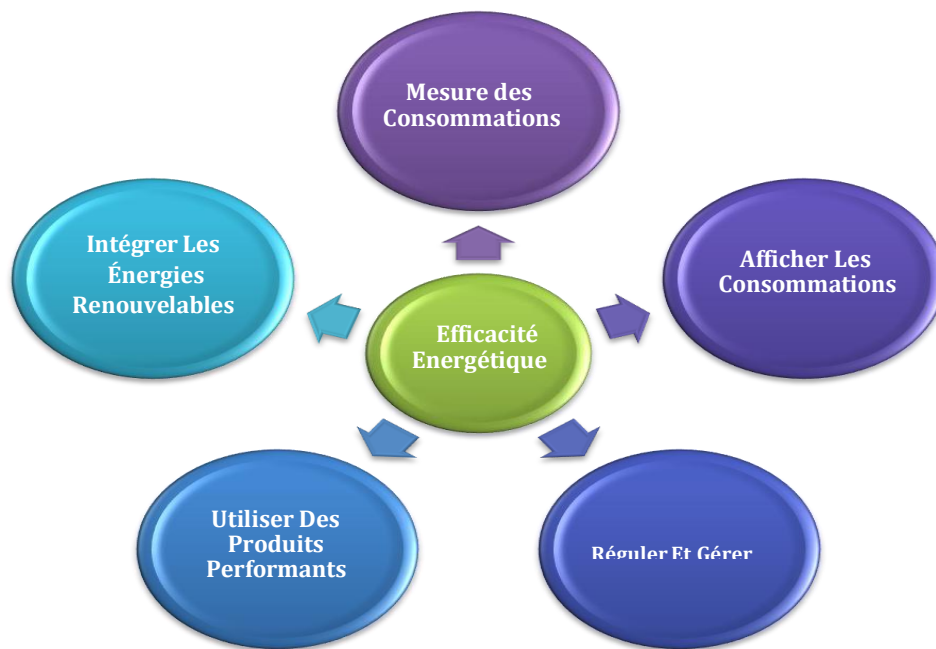


Figure 7: Les leviers de l'efficacité énergétique [8]

1.6.5 Enveloppe du bâtiment :

Pour certains bâtiments, l'enveloppe (les murs, les toitures, les sols, les fenêtres, les portes) peut avoir un impact significatif sur la consommation d'énergie. L'auditeur énergétique doit déterminer les caractéristiques actuelles de l'enveloppe. Pendant l'enquête, une fiche d'évaluation de l'enveloppe du bâtiment sera établie pour inclure les informations sur les matériaux de construction (niveau d'isolation des murs, sols et toitures), la surface et le nombre des différents composants de l'enveloppe (type et nombre de vitrages pour les fenêtres). De plus, les commentaires sur les besoins de réparation et les remplacements récents seront notés pendant l'enquête.

1.6.6 Déperdition thermique :

Les déperditions représentent la quantité d'énergie qu'il est nécessaire d'émettre en œuvre pour chauffer une pièce, un bâtiment.

Les pertes d'énergie d'un bâtiment sont en majorité dues à une enveloppe inadaptée. L'enveloppe comprend les murs, les sols, le toit, les portes et les fenêtres. La figure ci-après nous montre d'où provient généralement le transfert de chaleur, à savoir des murs extérieurs et des espaces mitoyens non-chauffés.

Des majorations doivent être appliquées aux déperditions. Ces majorations sont dues :

A l'orientation : les parois orientées vers le nord ou vers l'est sont soumises à des déperditions plus importantes

Aux vents : les parois exposées aux vents sont soumises à des déperditions plus importantes.

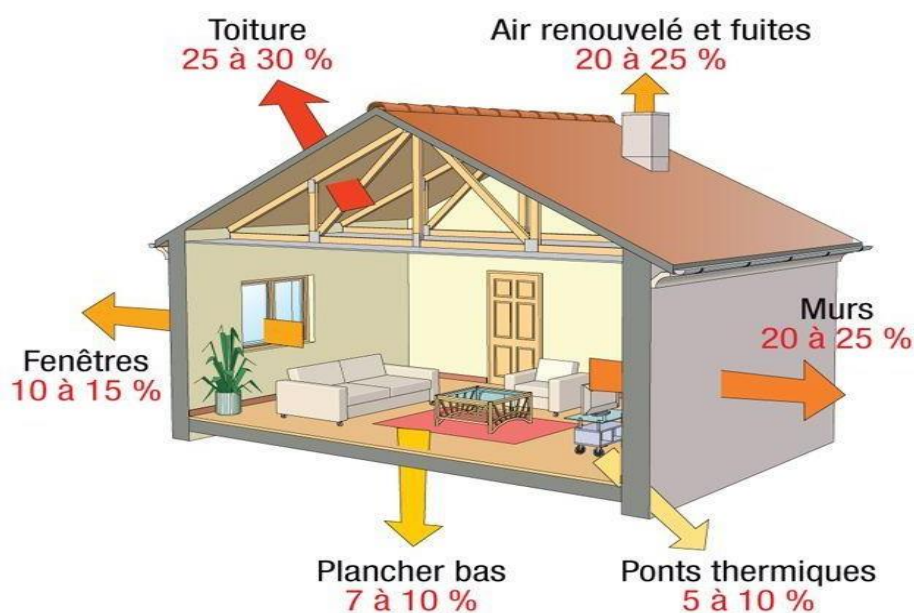


Figure 8: Pertes d'énergie dans un bâtiment non isolé- (Ademe)

Quelques mesures classiques pour améliorer la performance thermique de l'enveloppe du bâtiment sont indiquées ci-dessous [11] :

Ajout d'isolation thermique : pour les parois de bâtiments sans aucune isolation thermique, cette mesure peut être rentable.

Remplacement des fenêtres : si les fenêtres occupent une partie importante des surfaces exposées des bâtiments, l'utilisation des fenêtres à haut rendement (une valeur de rendement élevé, un vitrage avec couche à faible émissivité, l'étanchéité à l'air, etc.) peut réduire la consommation d'énergie et améliorer le confort intérieur.

1.7 Contexte et enjeux de l'efficacité énergétique dans les bâtiments (approche bioclimatique et isolation thermique) :

Le secteur du bâtiment est aujourd'hui l'un des premiers postes de consommation énergétique et l'un des principaux responsables des émissions de gaz à effet de serre. Derrière ce constat, les enjeux environnementaux en termes d'épuisement des ressources et de changement climatique sont très importants. Pour ces raisons, de nombreux efforts de recherche se portent sur l'efficacité énergétique des bâtiments et plus précisément sur la réduction de leur consommation énergétique. Cette volonté conduit à deux voies de recherche distinctes :

1.7.1 La conception bioclimatique des bâtiments :

La conception bioclimatique des bâtiments permet de réaliser des constructions intégrées à leur environnement et optimales pour les besoins énergétiques. Aussi elle a pour objectif de réduire les besoins énergétiques des bâtiments et d'obtenir des conditions de vie adéquates et confortables (température, taux d'humidité, luminosité...etc.) de manière la plus naturelle possible grâce à une conception intelligente des bâtiments [12].

1.7.1.1 Architecture bioclimatique :

L'architecture bioclimatique n'est pas chose nouvelle, nos ancêtres suivaient déjà la plupart de ses principes. Malheureusement, ce type de construction a été oublié pendant quelques temps et est remis au goût du jour récemment en y incluant des progrès de la technique.

Quelques principes qui guident la conception des maisons bioclimatiques :

L'implantation et l'intégration au relief : les façades vitrées sont à placer vers le sud et le bâtiment sera abrité par un talus ou un écran de végétation afin d'optimiser l'ensoleillement et de minimiser les pertes dues aux vents froids.

Le volume de la maison : une forme compacte est à préférer pour éviter les déperditions thermiques (en été comme en hiver). Afin d'augmenter le confort thermique, des matériaux tels que la dalle massive, l'argile, ...seront utiliser pour leurs propriétés d'inertie thermique et ainsi créer des accumulations de chaleur ou de fraîcheur.

La disposition des pièces de vie : Au Sud, peut accueillir une serre non chauffée. C'est un espace tampon, capteur de calories et de lumière habité temporairement. Au côté Nord,

on place les pièces nécessitant peu de chauffage (garage cellier...) pour jouer le rôle de 'zone tampon' entre l'extérieur et l'habitation. C'est le principe de la « double enveloppe » (Figure 2-5).

Des parois performantes : permettant des gains en chaleur passive et en lumière naturelle.

L'inertie thermique : utilisation de matériaux lourds à l'intérieur ayant la capacité de stocker les calories (exemple : un sol en pierre sombre isolé dans une serre bien exposée), permettant un déphasage jour/nuit [13].

L'isolation : performante et de préférence posée par l'extérieur pour réduire les ponts thermiques.

Le vitrage : à placer de préférence au sud pour profiter des apports caloriques du soleil et de la lumière.

Les matériaux : l'utilisation de matériaux 'bio', respirant et hygroscopiques permet une régulation naturelle de l'humidité ambiante.

Les murs : les murs exposés au soleil doivent être plutôt sombres (les couleurs sombres accumulent le rayonnement solaire tandis que les couleurs claires le réfléchissent), l'entrée

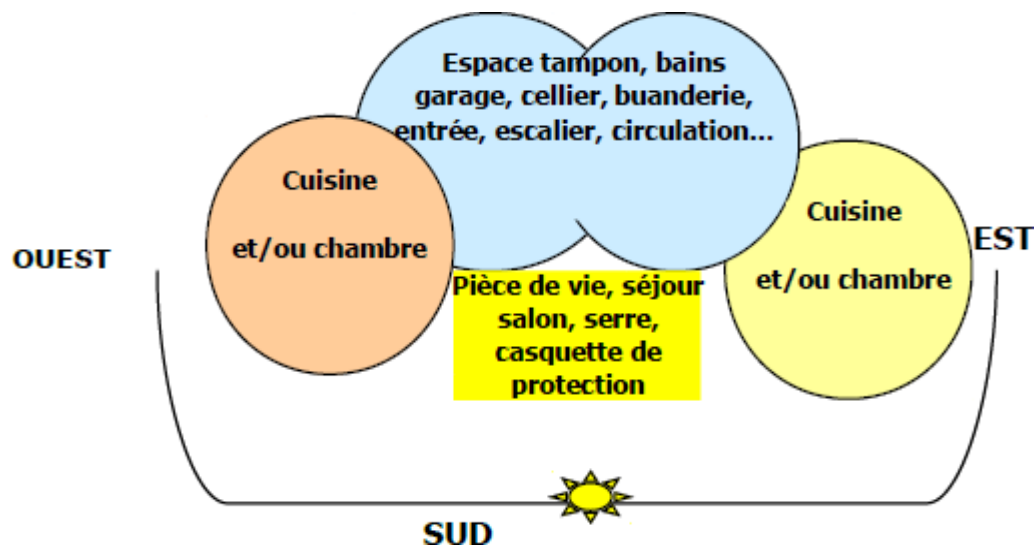


Figure 9: L'implantation et l'orientation du bâtiment ou de la maison et des différentes pièces. [12]

principale doit être protégée par un sas pour limiter l'entrée/sortie de l'air chaud ou froid [13].

1.7.2 Isolation thermique :

1.7.2.1 Thermique des bâtiments :

L'ensemble des parties d'un bâtiment est soumis aux transferts thermiques, qui sont des échanges de chaleur entre l'intérieur du bâtiment et l'extérieur. La connaissance et la maîtrise de ces transferts thermiques permet une gestion de la facture énergétique d'un bâtiment. La diminution de ces échanges thermiques permet de maintenir une température tempérée à l'intérieur du bâtiment en y apportant le moins d'énergie possible. Elle permet également d'orienter la conception du bâtiment dans un cadre réglementaire tout en visant un compromis entre coût énergétique et confort.

1.7.2.2 Conductivité thermique :

Un matériau isolant thermique est un matériau à basse conductivité thermique apparente. Avec épaisseur relativement faible, il présente une résistance thermique suffisante pour les besoins envisagés. C'est donc un matériau qui transmet mal la chaleur, que ce soit par conduction, convection ou rayonnement [14].

Pour éliminer la **conduction**, il faut éliminer la matière. Le vide ne conduit pas la chaleur.

Pour éliminer la **convection**, il faut immobiliser ou supprimer les fluides. Il n'y a de convection possible ni dans le vide, ni dans un fluide immobilisé.

Pour éliminer le **rayonnement**, il faut des écrans opaques au rayonnement, ou des surfaces non émissives (donc réfléchissantes) au rayonnement thermique.

Pour éliminer l'**évaporation - condensation**, il faut utiliser des matériaux secs.

L'isolation comme solution d'urgence face à la crise

En hiver, l'enveloppe du bâtiment doit limiter les déperditions de chaleur, pour trois raisons importantes :

Éviter que la température intérieure des parois extérieures soit trop basse, ce qui crée un inconfort ;

Éviter les moisissures et la condensation, qui créent un climat intérieur malsain ;

Limiter la consommation d'énergie pour le chauffage, aussi bien pour des raisons économiques que pour protéger l'environnement.

En été, l'enveloppe doit aider à maintenir une température agréable dans le volume habité en évitant que la chaleur de l'air extérieur et des surfaces extérieures chauffées au soleil se propage à l'intérieur.

L'isolation thermique réduit ces échanges de chaleur, donc contribue à améliorer le confort, à réduire les risques de dégâts dans les bâtiments, et à réduire la consommation d'énergie tant pour le chauffage que pour un éventuel refroidissement. C'est l'utilisation systématique, dans l'enveloppe du bâtiment, de composants qui laissent difficilement passer la chaleur.

1.7.2.3 L'isolation extérieure :

L'isolation par l'extérieur offre un certain nombre d'avantages : elle permet de profiter de l'inertie thermique des murs pour réguler la température des locaux. Elle permet également d'éviter les ponts thermiques notamment au niveau des liaisons murs planché. Enfin, choisir ce mode d'isolation permet de conserver au mur une température proche de l'air dans les locaux.

L'isolation de l'extérieur est la plus intéressante, puisqu'elle présente des avantages multiples et importants (voir figure 10 et 11) [15,16] :

- L'isolation extérieure permet de renforcer la protection des murs contre les dégradations du temps et les intempéries.
- Elle permet de supprimer la majorité des ponts thermiques, tels que : abouts de plancher ou de refends, encadrements de baie (avec certaines précautions), etc.
- Elle protège les gros œuvres contre certaines contraintes thermiques et limite les risques de condensation dans la maçonnerie à l'intérieur du volume chauffé. Ceci améliore considérablement le confort thermique de l'habitation qu'elle que soit la saison.
- Elle permet de placer les murs porteurs (lourds) du côté intérieur et donc de renforcer l'inertie thermique du logement, source de confort pour les occupants, car les murs lourds régulent la chaleur et l'humidité. En hiver et demi-saison, ces murs intérieurs éclairés par le soleil accumuleront ces rayonnements pour les diffuser en soirée. En été, si vous ventilez bien la maison durant les heures fraîches de la nuit, ces murs lourds restitueront cette fraîcheur dans la journée.

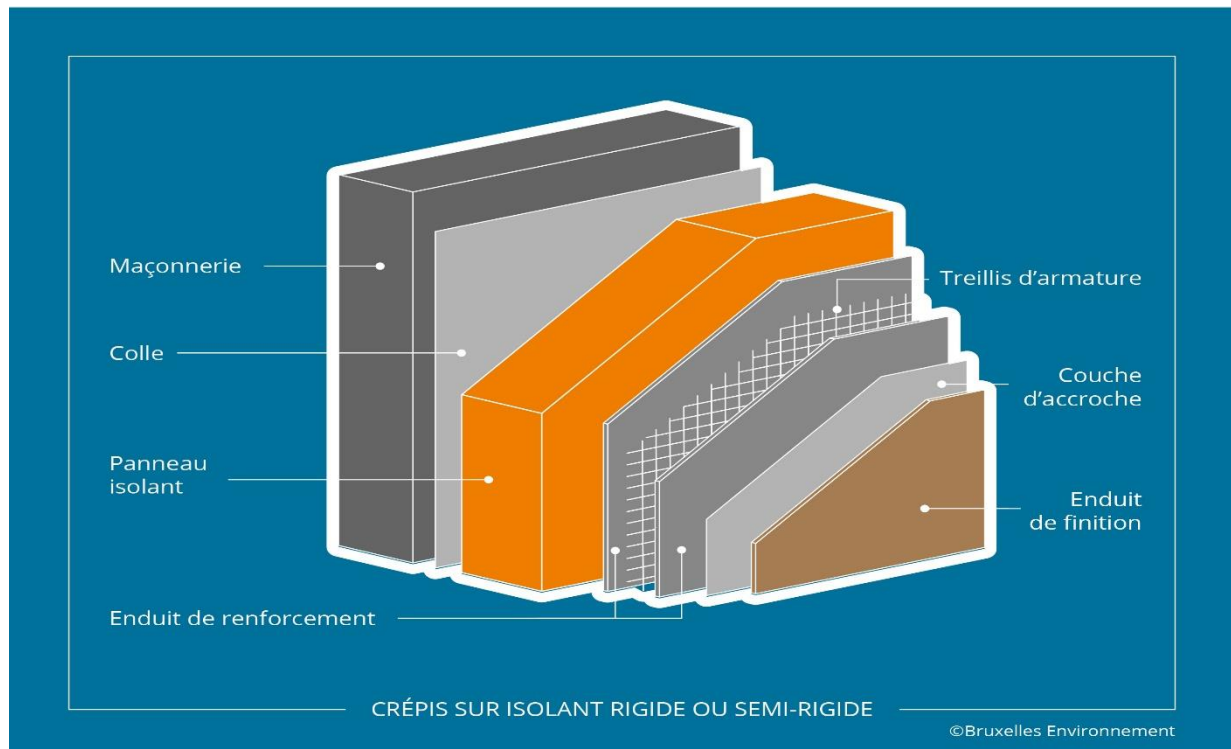


Figure 10: composition d'un mur à isolation extérieure [16]

- L'isolation par l'extérieur est beaucoup plus facile à réaliser par soi-même que l'isolation par l'intérieur, car, les panneaux isolants pour l'extérieur sont légers et il suffit de les poser bien bord à bord. Il est préférable de choisir des matériaux isolants pouvant être directement crépis. Toutefois, la pose d'un crépi sur un isolant extérieur est plus technique que sur un mur maçonné.
- Elle a aussi l'avantage de ne pas modifier les surfaces habitables.



Figure 11: image réelle d'une réalisation d'un mur à isolation extérieure [16]

1.7.2.4 L'isolation intérieure :

L'isolation par l'intérieur présente aussi certains avantages : elle ne modifie pas l'aspect extérieur de la construction, elle permet un réchauffement rapide des locaux, elle est plus simple à mettre en œuvre elle est moins coûteuse (figure 12).

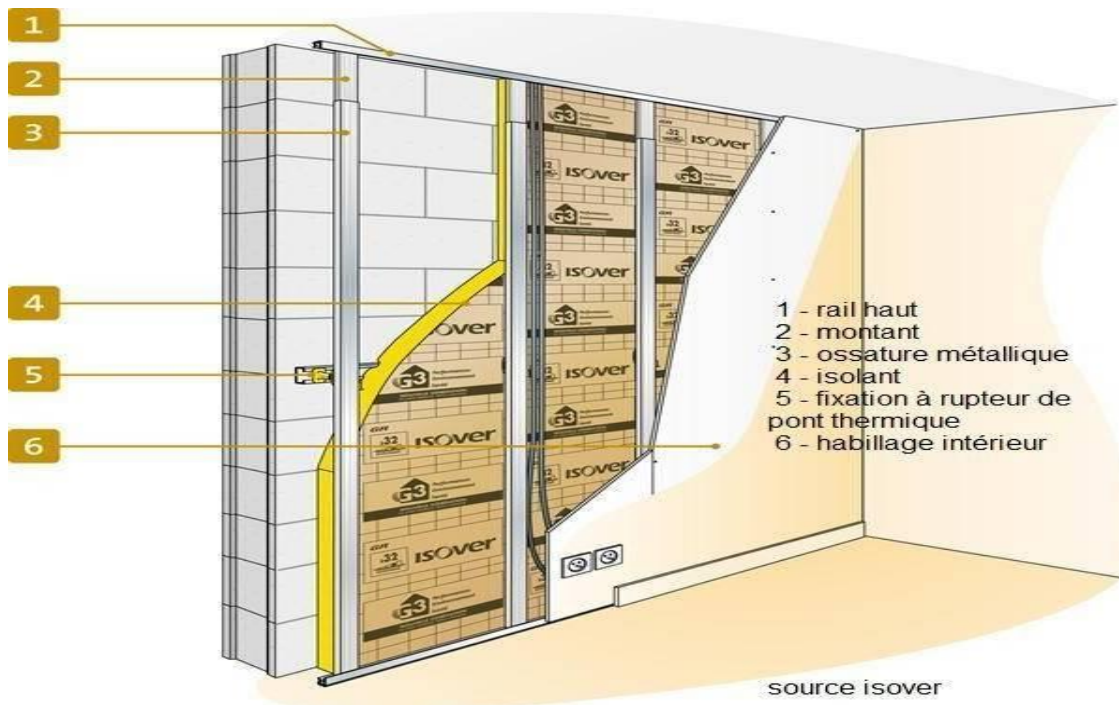


Figure 12: composition d'un mur à isolation intérieure [16]

Dans certains cas de figures une combinaison d'isolation par l'extérieur et par l'intérieur est utilisée.

1.7.2.5 Comparaison entre l'isolation par l'extérieur et l'isolation par l'intérieur :

Chacune des solutions présente des avantages et des inconvénients. Dans le tableau suivant nous dressons le comparatif entre les différentes méthodes. [18].

Tableau 1: Comparaison entre l'isolation par l'extérieur et l'isolation par l'intérieur

| Critère | Isolation par l'intérieur | Isolation par l'extérieur |
|---------|---------------------------|---------------------------|
| | | |

| | | |
|--|---|---|
| Inertie | L'inertie du mur n'est pas utilisée. | Le confort intérieur est amélioré par la capacité d'accumulation de chaleur Des murs. |
| Ponts thermiques | Ne sont pas traités où Difficilement traitable. | Les ponts thermiques sont Pratiquement inexistants. |
| Protection contre les Écarts de température | Le mur est sujet à toutes les variations extérieures. | La paroi est protégée des Écarts de température trop importants. |
| Mise en œuvre | Facile mais nécessite beaucoup d'attention pour le traitement des ponts Thermiques. | Nécessite une main d'œuvre Spécialisée avec un Apprentissage préalable. |
| Durabilité | Moyenne | Bonne |

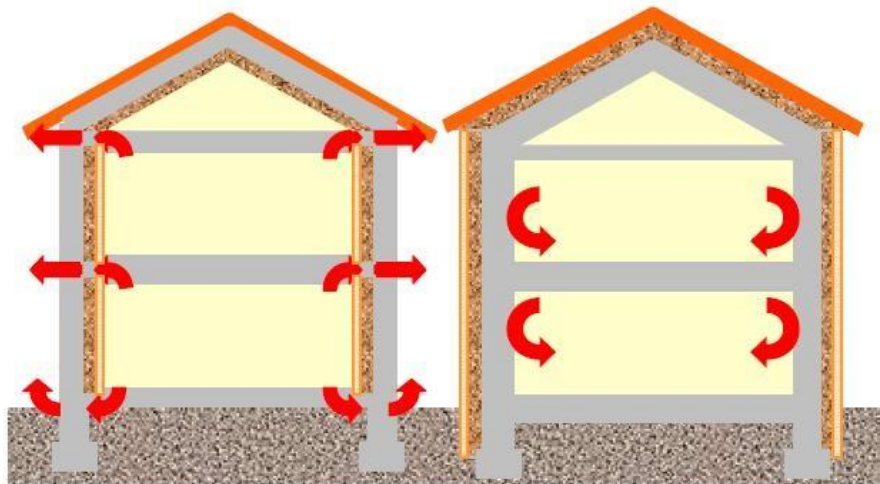


Figure 13: A gauche, isolation intérieure : de nombreux ponts thermiques sont inévitables à chaque étage. A droite, isolation extérieure, entourant complètement la structure [17]

1.7.3 LES DIFFERENTS TYPES D'ISOLANTS THERMIQUES EN ALGERIE :

Les actions de maîtrise de l'énergie proposées pour le secteur du bâtiment portent notamment sur l'introduction de l'isolation thermique des bâtiments qui permettront de réduire la consommation d'énergie liée au chauffage et la climatisation d'un logement d'environ 40% [18].

1.7.3.1.1 Isolation végétale (Liège) :

Le liège est un matériau présent dans l'écorce de quelques arbres, et notamment celle du chêne-liège. Il a une faible densité, antistatique, résiste relativement bien au feu, bon isolant thermique, acoustique et vibratoire, et résistant à l'eau grâce à la subérine qui imprègne les cellules. Concassé en granulés, on le transforme en panneaux d'isolation, revêtement mural ou pour le sol. [18]

1.7.3.1.2 Isolation minérale (les laines minérales) :

Laine de roche :

La laine de roche est un matériau naturel né de l'activité volcanique et du savoir-faire humain, utilisé dans le bâtiment comme isolant thermique, isolant acoustique ou absorbant acoustique, Ou pour la protection contre l'incendie. Les panneaux de laine de roche nu ou avec un pare vapeur sont appliqués dans les murs en double cloisons [18].

Laine de verre :

La laine de verre est un matériau qui se présente comme un matelas de fibres de verre extrêmement fines. On l'utilise comme isolant thermique, isolant acoustique, absorbant acoustique et pour la protection contre l'incendie. La laine de verre prend la forme de rouleaux, panneaux et flocons selon l'accessibilité des parties à isoler, de la configuration de l'habitation et le confort de l'isolation recherché.

Les isolants synthétiques :

Polyuréthane :

Le polyuréthane (PUR) est obtenu par le mélange de trois composants, un polyol, un isocyanate et un agent d'expansion en présence de catalyseurs. Le polyuréthane se présente ainsi sous forme d'une structure alvéolaire renfermant un gaz encore plus isolant que l'air.

Aussi il est employé en panneaux pour des isolations sous chapes, sur terrasses ou pour l'isolation extérieure des murs, ainsi employé sous forme de mousse pour les doubles cloisons.

Polystyrène :

Expansé (EPS) Extrudé (XPS) :

Le polystyrène est un matériau qui présente de hautes performances en matière d'isolation et de nombreux avantages aussi bien pour les utilisateurs que pour les professionnels de la construction.

Le polystyrène expansé (EPS) à faible ou à moyenne densité pour l'isolation des parois verticales. Le polystyrène extrudé (XPS) est recommandé pour l'isolation des toitures inversées.

1.7.3.2 Propriétés thermiques :

Ils sont généralement décrits par des concepts tels que la conductivité thermique (W/m^2K). Peu à peu, on tend vers une description intégrant les propriétés de masse des matériaux isolants (voir tableau 2). Par exemple, on parle de plus en plus souvent d'effusivité thermique (la racine carrée du produit de la densité, de la conductivité thermique et de la chaleur spécifique du matériau). Elle représente la vitesse à laquelle la température de surface d'un matériau varie, et donc sa capacité à accumuler et à libérer de la chaleur (inertie thermique). Utilisée en combinaison avec la conductivité thermique, cette quantité est intéressante lorsqu'on parle d'isolants solides. [20]

Tableau 2: propriétés de quelques isolants thermiques [20]

| Matériaux | Origine | Lambda En $W/m.K$ | Prix | Durabilité | Energie grise kWh/m^3 | Renouvelable | recyclable |
|------------------|-------------|----------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|
| Polystyrène | Synthétique | 0,035 | 10€ /m ² | Instabilité Dans le temps | 450 | non | non |
| Laine de verre | Minérale | 0,030 - 0,040 | 5€ /m ² | Peut se tasser | 242 à 1344 | non | réutilisable |
| Isolant mince | Composite | 0,08 | 5-10€ /m ² | Dégradation dans le temps | important | non | non |
| Laine de chanvre | Végétale | 0,038-0,046 | 20€ /m ² | Oui | 40 | oui | oui |
| Laine de bois | Végétale | 0,039-0,050 | 15€ /m ² | Oui | 13 à 50 | oui | oui |
| Liège | Végétale | 0,042 | 20-25€ /m ² | Oui | 80 à 90 | lentement | oui |

1.8 Les panneaux sandwichs en béton préfabriqué (PSCP) :

1.8.1 Définition :

Les panneaux sandwichs en béton préfabriqué (PSCP) sont constitués de deux ou plusieurs couches à haute résistance, appelées " wythes ", séparées par un matériau à faible résistance appelé " isolant ".

Les panneaux sandwichs en béton préfabriqué se composent de trois éléments principaux les parois, les connecteurs de cisaillement et l'isolation ou le vide.

Les parois sont désignées comme le corps externe rigide/solide en béton d'une résistance considérable, suffisante pour résister à une charge imposée ou à une charge autonome.

Il est généralement composé de deux ou plusieurs couches de béton séparées par un matériau à faible résistance.

L'épaisseur des couches dépend de son application prévue, de la longueur d'encastrement requise, de la couverture et du décoffrage du béton.

Bien que chaque fabricant détermine l'épaisseur appropriée pour ses produits. Selon les recherches effectuées, l'épaisseur des parois en béton varie entre 50 et 150 mm.

Mais, en général, la gamme de 40 à 150 mm a été acceptée dans la pratique qui sont connectés en utilisant les connecteurs de cisaillement.[21]

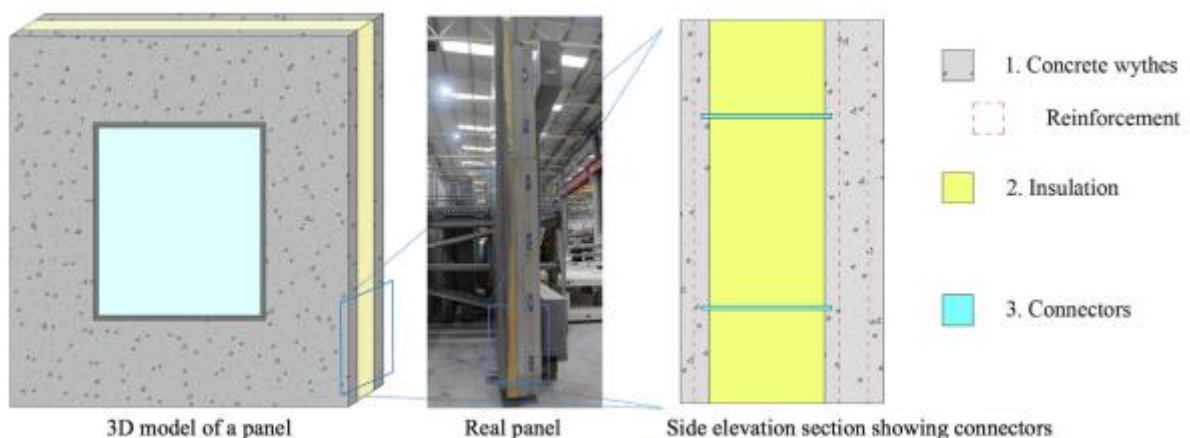


Figure 14: Structure des panneaux sandwich préfabriqué [21]

1.8.2 Composants d'un panneau sandwich :

1.8.2.1 Paroi de béton :

Les parois en béton constituent la partie structurelle du système de mur et forment les surfaces intérieure et extérieure. Bien que certains modèles de PPCP à trois parois aient été proposés, la plupart des panneaux examinés sont constitués de deux parois en béton. Le même type de béton est généralement utilisé pour les deux poutrelles. Dans la littérature, les comparaisons entre les différents PPCP portent généralement sur les différents types d'isolants et de connecteurs. Peu d'études comparent directement les performances d'un panneau sandwich avec différents mélanges de béton. Les résistances à la compression et à la traction des mélanges de béton utilisés dans les PPCP sont comparées dans le tableau 3. Le béton normal (NC), le béton mousse (FC), le béton auto compactant (SCC), le béton à haute performance (HPC), le béton renforcé de fibres à haute performance (HPFRC), le béton renforcé de verre (GRC), le béton de poudre réactive (RPC) et le béton à ultra-haute performance (UHPC) ont tous été utilisés dans les PPCP. Différentes résistances à la compression du béton sont rapportées dans la littérature sur les PPCP, allant de 8 MPa pour le béton mousse léger à 193

Tableau 3: Propriétés matérielles des différentes couches de béton par ordre croissant de résistance à la compression [21]

| Material | Reinforcement | Compressive strength* (MPa) | Tensile strength* (MPa) |
|----------|----------------------|-----------------------------|-------------------------|
| FC | Steel | 8 | 0.9 |
| FC | Steel | 25 | 1.9 |
| NC | Steel | 24 | 2.5 |
| FC | Steel | 26 | 2.1 |
| NC | Steel | 28 | NA |
| NC | Prestressing steel | 41 | NA |
| NC | Steel | 45 | NA |
| SCC | Steel | 46 | 4.3 |
| SCC | Carbon textile | 72 | 3.2 |
| HSC | AR glass textile | 73 | 4.5 |
| GRC | AR Glass fibres | 78 | 3.9 |
| FRC | AR glass textile | 82 | 2.1 |
| HPC | Polypropylene fibres | 90 | 6.0 |
| HPFRC | Coated glass fibres | 96 | 15.3 |
| RPC | Carbon textile | 147 | 5.1 |
| UHPC | Carbon textile | 175 | 18.8 |
| UHPC | Steel fibres | 193 | 32 |

MPa pour le (UHPC).

1.8.2.2 Isolation :

Le pouvoir isolant d'un matériau s'évalue à partir de ce que l'on appelle sa conductivité thermique λ : c'est sa capacité intrinsèque à transmettre la chaleur à travers son épaisseur, d'une face chaude vers une face froide. Plus la conductivité est faible, plus λ est petit, plus grand est le pouvoir isolant du matériau. Le coefficient de conductivité thermique s'exprime en W/m.K

Alors que le béton fournit les caractéristiques structurelles et de durabilité du PPCP, l'isolation fournit la résistance thermique. Différents types d'isolation ont été signalés dans la littérature et sont examinés ici dans le contexte des PPCP. Un certain nombre d'études ont déjà effectué des examens approfondis sur les matériaux d'isolation utilisés dans les bâtiments en général, montrant qu'il existe une variation considérable en ce qui concerne les propriétés thermiques de ces matériaux. Les valeurs de conductivité, k [$W\ m^{-1}\ K^{-1}$], de différents types d'isolation sont présentées dans le tableau 4 pour un seul fabricant (Kingspan) et il est donc peu probable qu'elles contiennent un biais en faveur d'un type d'isolation plutôt qu'un autre. L'isolation typique en mousse rigide comprend le polystyrène expansé (EPS), le polystyrène extrudé (XPS), le polyuréthane (PUR), la mousse de polyisocyanurate (PIR) (une légère amélioration du PUR) et la mousse phénolique (PF). La norme européenne EN 13501-1 a conçu un système d'évaluation basé sur les paramètres où les matériaux d'isolation sont classés de A1 (la plus haute qualité de résistance au feu) à E (la plus basse qualité de résistance au feu).

Tableau 4: Liste des types d'isolants disponibles dans le commerce convenant aux PPCP. Valeurs de densité et de conductivité tirées d'exemples de produits Kingspan [21]

| Insulation type | Conductivity ($W\cdot m^{-1}\cdot K^{-1}$) | Density ($kg\cdot m^{-3}$) | Fire Rating |
|-----------------|--|------------------------------|-------------|
| EPS | 0.034 | 15 | E |
| XPS | 0.035 | 38 | E |
| PF | 0.021 | 35 | B-C |
| PIR | 0.025 | 30 | B |
| VIP | 0.007 | 195 | A1 |

Les taux de résistance au feu des matériaux d'isolation répertoriés sont également documentés dans le tableau 3. D'autres matériaux d'isolation plus novateurs, tels que les panneaux d'isolation sous vide (VIP) et le béton mousse (BF), ont également été utilisés et sont examinés ici. Des exemples de l'épaisseur requise des trois matériaux d'isolation sont présentés à la figure 1, illustrant comment les matériaux d'isolation haute performance permettent des conceptions plus minces tout en maintenant la performance thermique.

1.8.2.2.1 Béton moussé :

Outre la mousse rigide standard et les VIP de pointe, d'autres produits isolants ont été utilisés dans les PPCP. Le béton moussé (BMC) a été utilisé comme couche isolante dans un certain nombre de PPCP. Le FC, tel qu'indiqué dans le tableau 3, a également été utilisé comme

matériau pour les parois de béton. Les propriétés mécaniques et thermiques du BF varient considérablement et sont conçues en fonction de l'application du matériau. Il y a une forte corrélation entre la résistance à la compression du FC et la densité qui peut être contrôlée par la quantité d'air dans le béton. Le FC utilisé pour les parois structurelles est conçu pour avoir une densité et donc une résistance à la compression plus élevées. En revanche, s'il est utilisé pour la couche d'isolation, il doit avoir une faible conductivité et donc une faible densité. Silva et al. [107] proposent l'utilisation d'un aérogel de béton expansé dans la construction de panneaux sandwichs. Le FC a une conductivité thermique comprise entre 0,04 et 0,06 W m⁻¹ K⁻¹ tandis que Silva et al. [107] notent que l'ajout de quartzène peut réduire la conductivité thermique entre 0,03 et 0,035 W m⁻¹ K⁻¹.

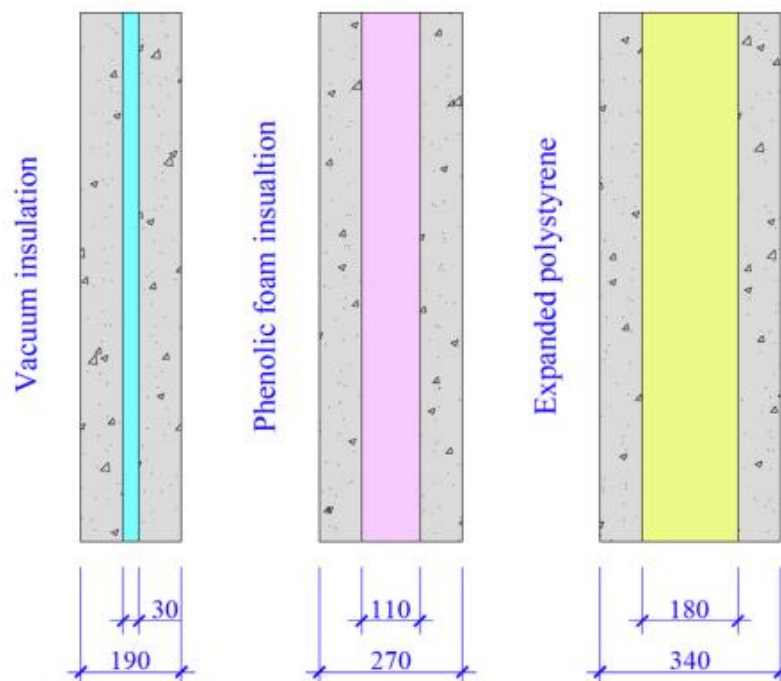


Figure 15:Épaisseur d'isolation requise pour un PPCP afin de respecter une valeur U de 0,18 W·m²·K⁻¹ en utilisant différents matériaux

1.8.2.2.2 La laine minérale :

La conductivité thermique de la laine minérale peut varier d'environ 0,03 à 0,04 W m⁻¹ K⁻¹ selon le type. En termes de performance thermique, elle est donc similaire à l'isolation standard à base de mousse. Le problème avec les laines minérales est que les méthodes de fabrication typiques, qui consistent à couler la deuxième couche directement sur l'isolant, ne conviennent pas forcément. En raison de leur manque de rigidité, le transfert de charge entre

les deux couches de béton dépend entièrement des connecteurs. Cela signifie que des connecteurs plus grands et plus solides sont nécessaires pour relier les deux couches de béton, ce qui entraîne des ponts thermiques plus importants. La laine est cependant moins chère et a une résistance au feu supérieure et dans certains pays, il existe des restrictions sur l'utilisation de matériaux combustibles. Au Royaume-Uni par exemple, à la suite de la catastrophe de Grenfell, un amendement aux règlements de construction est appliqué depuis décembre 2018, qui interdit l'utilisation de tout matériau combustible (classé inférieur à A2) dans les bâtiments domestiques de plus de 18 m. Par conséquent, les matériaux à base de laine sont susceptibles de jouer un rôle important sur le futur marché des PPCP au Royaume-Uni.

1.8.2.3 Les connecteurs :

Les connecteurs relient l'isolation (couche thermique) et le béton (couches structurelles). Ils peuvent également transférer les forces de cisaillement latéral entre les deux couches de béton pour obtenir une action composite. Le degré d'action composite dépend du type de connecteur utilisé. Les premiers PPCP utilisaient des connecteurs en béton moulé, mais dans les panneaux modernes, les attaches en métal et en plastique sont plus courantes. Tous les connecteurs relient la couche d'isolation, créant ainsi un pont thermique, dont l'importance dépend de la taille et du matériau du connecteur. Le défi consiste à assurer un transfert de cisaillement structurel tout en minimisant le pont thermique. Etant donné la difficulté de développer une solution de connecteur pour relever ce défi, il y a une forte concentration académique sur les tests de ces connecteurs.

1.8.2.3.1 Connecteurs en béton :

Historiquement, les deux parois en béton d'un PPCP étaient reliées par des nervures continues (figure 16-a) ou des zones discrètes (figure 16-b) de béton traversant la couche d'isolation.

Un comportement presque entièrement composite a été obtenu avec l'utilisation de ces nervures en béton ou de ces zones en béton plein. Des études récentes ont également inclus des sections de béton continues dans leurs conceptions de PPCP, aux bords supérieur et

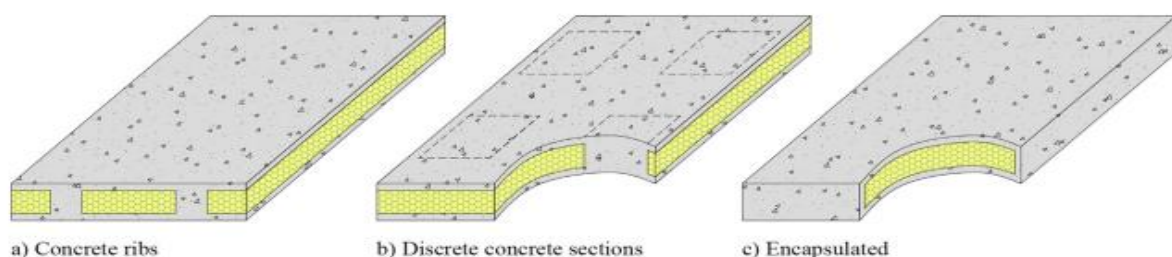


Figure 16: Exemples de connecteurs en béton.

inférieur des panneaux ainsi qu'autour de tous les bords du panneau (figure 16-c). Tous ces connecteurs en béton entraînent un pont thermique important qui compromet la résistance thermique du PPCP.

1.8.2.3.2 Connecteurs métalliques :

Pour réduire la surface d'isolation pontée par le connecteur, des connecteurs métalliques ont été introduits pour améliorer les connecteurs en béton.

Ils sont désormais disponibles sous la forme d'un treillis, d'un tube ou d'une plaque si une action composite est souhaitée, ou sous la forme de connecteurs discrets à broches si aucune action composite n'est prévue.

Ces connecteurs métalliques sont fournis par un certain nombre de fabricants différents (par exemple Halfen, Peikko et Fixinox). Des exemples de géométries sont présentés à la Fig. 17. Les connecteurs métalliques créent des ponts thermiques importants à travers la couche d'isolation en raison de leur conductivité thermique élevée.

C'est pourquoi la plupart des études récentes se concentrent sur l'étude des PPCP avec des connecteurs non métalliques ayant des conductivités thermiques inférieures.

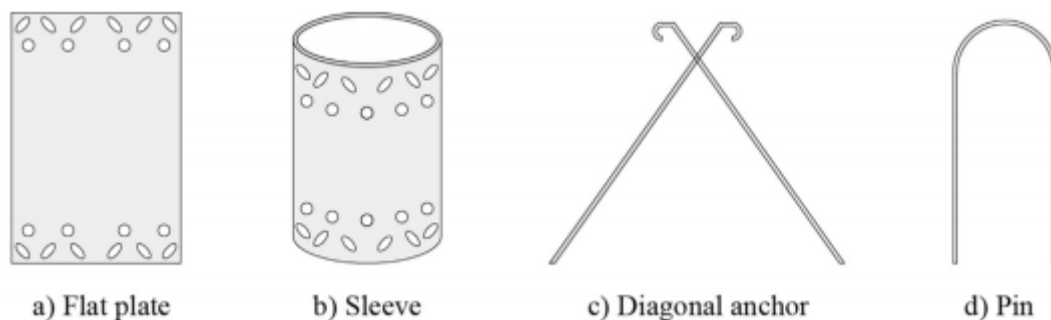


Figure 17: Exemples de connecteurs métalliques typiques

1.8.2.3.3 Connecteurs en polymère renforcé de fibres :

Les matériaux PRF sont des matériaux composites constitués d'une matrice polymère dans laquelle sont noyées des fibres. Ces matériaux composites sont intrinsèquement variables, et leurs propriétés varient en conséquence. Les polymères renforcés de fibres de carbone (PRFC) sont constitués de fibres de carbone produites à l'aide de différents procédés chimiques dans le but d'obtenir un minimum de 90 % de carbone. Les polymères renforcés de fibres de verre (PRV) sont constitués de fibres produites à partir de sable siliceux auquel on ajoute du zircon

pour leur conférer des caractéristiques de résistance aux alcalis. Le polymère renforcé de fibres de basalte (BFRP) est fabriqué à partir de fibres minérales extraites de roches basaltiques. Les fibres ne nécessitent pas de matériaux additifs, ce qui permet un processus de production plus simple et un matériau moins cher. Le PRFC présente un certain nombre d'avantages structurels, mais il est coûteux. Le PRFB est un matériau prometteur, mais il nécessite des recherches plus approfondies en tant que matériau à utiliser avec le béton.

1.8.2.3.4 Liaison béton-isolant seulement :

Certains PPCP ont été conçus pour s'appuyer uniquement sur la liaison entre l'isolant et le béton, en supprimant complètement le connecteur. Ce type de conception est typique des panneaux composites en aluminium avec de fines feuilles d'aluminium qui sont collées de part et d'autre d'un noyau d'isolation à l'aide d'adhésifs. En ce qui concerne les panneaux composites, un panneau sandwich TRC à couches minces, sans connecteurs et avec une isolation en mousse EPS, a été étudié expérimentalement et numériquement. Ces études ont montré que la déformabilité en cisaillement de la couche d'isolation joue un rôle important dans la déformation globale du panneau. Le transfert de cisaillement latéral a également été invoqué par la liaison béton-isolant dans les panneaux développés. Des améliorations réussies de la liaison dans ces panneaux ont ensuite été réalisées en utilisant des encoches dans l'interface béton-isolant. L'influence positive d'une liaison supérieure entre l'isolation et le béton est largement rapportée. Cependant, la durabilité de l'adhérence n'a pas été établie et il n'est pas certain que l'on puisse s'y fier pour la conception.

1.8.3 Les ponts thermiques entre la paroi en PSCP et Paroi traditionnelle :

L'une des meilleures mesures de la performance est la mesure thermographique réelle du panneau installé. En utilisant une caméra thermique, on peut déterminer physiquement l'efficacité énergétique de l'enveloppe extérieure.

Et en ce qui suit, deux imageries thermiques et réels de deux types de bâtiments (en panneaux sandwichs qui est une des nouvelles technologies de construction, et l'autre a parois normales en béton et brique avec isolation en lame d'air qui est une construction traditionnelle), et dans l'image ci-dessous, on arrive à distinguer les ponts thermiques existant dans chaque type de construction. Où ces derniers sont presque introuvables dans le type d'habitation en technologie de construction moderne (panneaux sandwichs), mais qui existe fortement dans

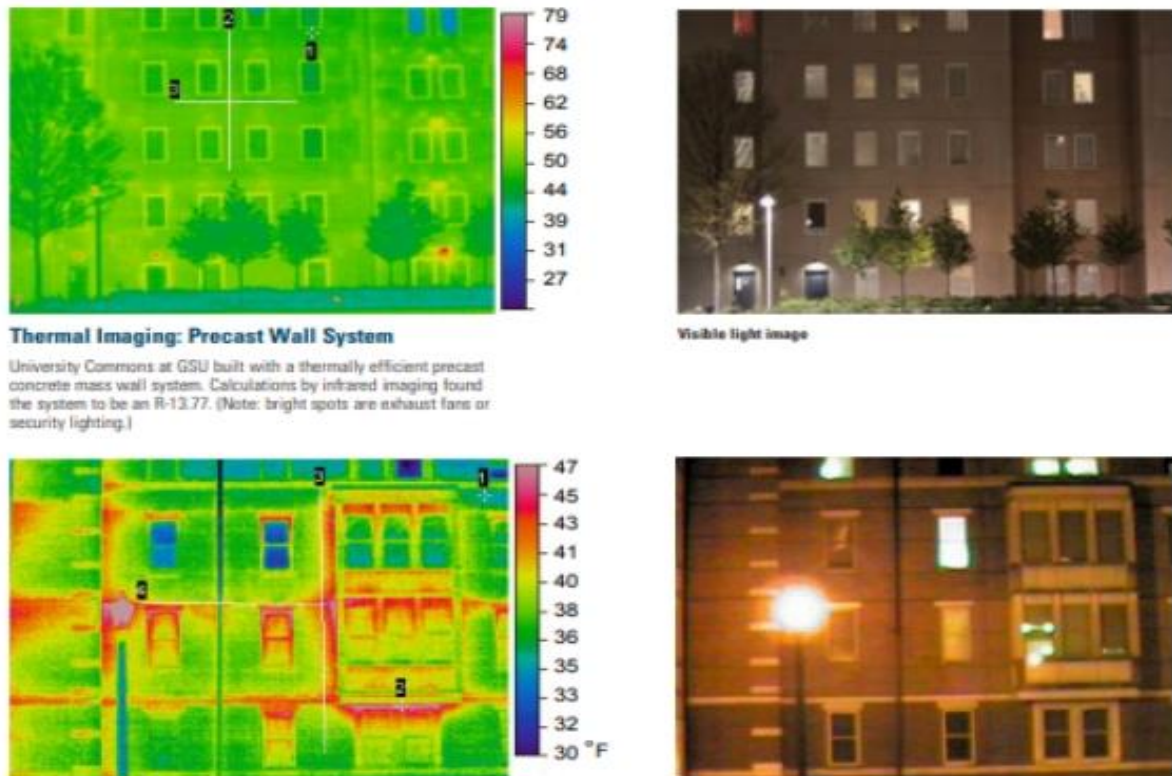


Figure 18: Différence entre les technologies de construction traditionnelles et les nouvelles technologies de construction [22]

les habitats traditionnels.

1.8.4 Performances thermiques intrinsèques des PSCP :

Les caractéristiques des performances thermiques intrinsèques des panneaux sandwichs se distinguent par un coefficient de transmission thermique surfacique U_p s'exprimant en $W/(m^2.K)$. La résistance thermique (R) est généralement employée pour caractériser une couche homogène de matériau constituant une paroi.

La performance thermique des panneaux sandwichs lourds peut être influencée d'une manière forte et assez importante et cela à travers certains paramètres, citant : le type d'isolant et son

épaisseur. Les éléments de fixations (ancrages ou épingles) ainsi que les jonctions entre panneaux peuvent dégrader de façon significative la performance thermique en créant ce que l'on appelle des ponts thermiques intégrés voir, (Figure 19) ci-dessous. L'impact des ponts thermiques intégrés dépendra essentiellement des dimensions et de la nature des matériaux utilisés. Dans le cas des joints d'étanchéité, l'impact dépendra également du positionnement du joint.

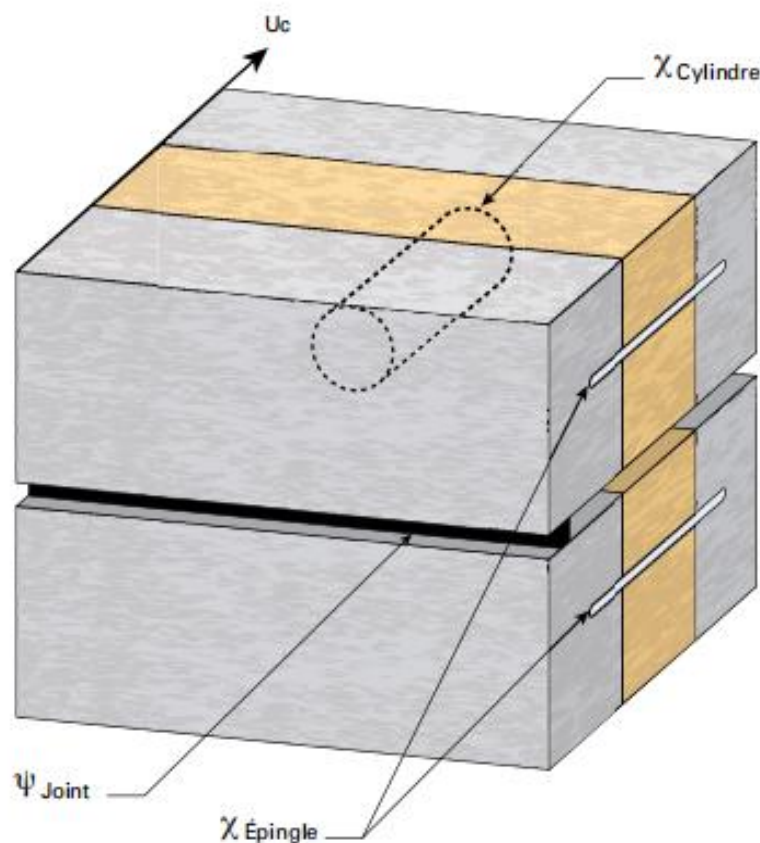


Figure 19:localisation des ponts thermiques intégrés

1.8.4.1 Valeurs pré calculées des ponts thermiques intégrés :

Les coefficients ψ_i et χ_j doivent être déterminés par calcul numérique selon le chapitre II du fascicule 5/5 des règles Th-bât ou plus généralement selon la norme NF EN ISO 10211. En l'absence d'un calcul spécifique correspondant au système étudié, les valeurs de ponts

Tableau 5:coefficient χ_j des ancrages

| e isolant [mm] | χ_j [W/K] | | | | |
|----------------|--------------------------------|---------------------|--------------------|------------------------------|--------------------------|
| | Cylindre en acier inox + béton | | Plat en acier inox | Connecteur en fibre de verre | Connecteur en acier inox |
| | $\varnothing = 250$ | $\varnothing = 100$ | ≤ 3 mm | $\varnothing \leq 16$ mm | $\varnothing \leq 8$ mm |
| 60 | 0,41 | 0,19 | 0,11 | Négligeable | 0,012 |
| 140 | 0,33 | 0,15 | 0,08 | | 0,007 |
| 200 | 0,27 | 0,12 | 0,06 | | 0,004 |

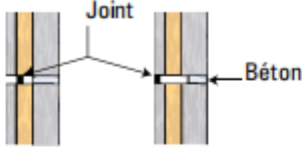
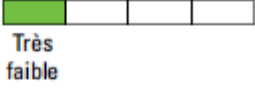


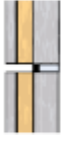
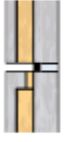



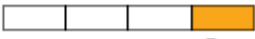

thermiques forfaitaires donnés ci-après peuvent être utilisés.

La valeur du pont thermique situé au niveau du joint d'étanchéité peut varier de façon importante en fonction des dispositions prises lors de la mise en œuvre des joints d'étanchéité. Le Tableau 7 donne les valeurs de ponts thermiques à considérer en fonction du type de joint utilisé.

Tableau 6: grille d'estimation des coefficients des joints d'étanchéité

| Pont thermique | Très faible | Faible | Moyen | Fort |
|----------------|-------------|--------|-------|------|
| ψ (W/m.K) | 0,05 | 0,20 | 0,40 | 0,75 |

Tableau 7: performance relative des joints d'étanchéités

| Type de joint | | Classement du pont thermique ψ |
|---|---|--|
| <p>Type 1 Joint du côté extérieur de l'isolant + béton à mâter sans réduction de l'épaisseur de l'isolant</p> |  |  <p>Très faible</p> |
| <p>Type 2 Joint du côté extérieur de l'isolant + béton à mâter avec réduction de l'épaisseur de l'isolant</p> |  |  <p>Faible</p> |
| <p>Type 3 Joint du côté intérieur de l'isolant + béton à mâter sans réduction de l'épaisseur de l'isolant</p> |  | |
| <p>Type 4 Joint du côté intérieur de l'isolant + béton à mâter avec réduction de l'épaisseur de l'isolant</p> |  |  <p>Moyen</p> |
| <p>Type 5 Joint du côté intérieur de l'isolant + sans béton à mâter sans réduction de l'épaisseur de l'isolant</p> |  | |
| <p>Type 6 Joint du côté intérieur de l'isolant + sans béton à mâter avec réduction de l'épaisseur de l'isolant</p> |  |  <p>Fort</p> |
| <p>Type 7 Joint du côté extérieur de l'isolant + sans béton à mâter avec ou sans réduction de l'épaisseur de l'isolant</p> |  | |

Les ponts thermiques situés au niveau des joints d'étanchéité peuvent avoir un impact très important sur la déperdition par transmission à travers les parois. On attire l'attention sur le fait que selon les cas, le pont thermique situé au niveau du joint d'étanchéité pourra être considéré soit comme un pont thermique intégré soit comme un pont thermique de liaison suivant son positionnement par rapport aux autres parois, voir (Figure 20).

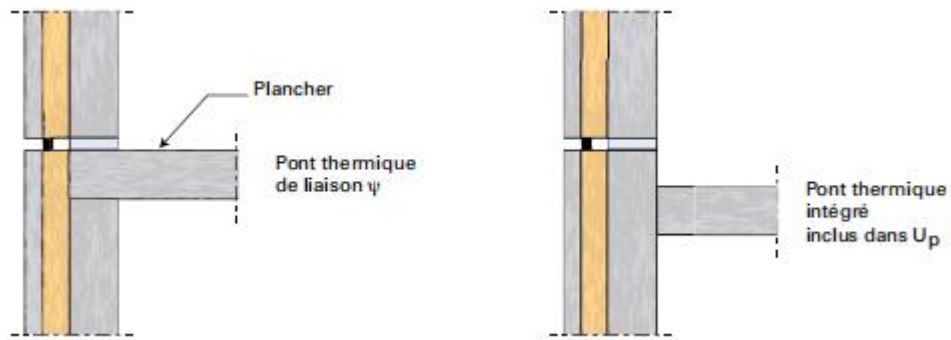


Figure 20: Affectation du pont thermique situé au niveau du joint d'étanchéité en fonction du positionnement du plancher

1.8.4.2 Ponts thermiques des liaisons :

Les déperditions par transmission à travers l'enveloppe sont séparées en deux parties avec d'un côté les coefficients de transmission surfaciques U_p des parois incluant les ponts thermiques intégrés (ψ_i et X_j) et de l'autre côté les déperditions par transmission au niveau des ponts thermiques de liaison (ψ). On remarque que les déperditions par transmission linéique à la jonction entre les parois vont dépendre à la fois de la composition des panneaux sandwichs, mais également de la composition des parois adjacentes (planchers, refends, baies, etc.)

Tableau 8: valeur tabulés

| Type de liaison | Schéma | Pont thermique |
|--|--------|--|
| Liaison entre le mur et la baie | | <p>Pré cadre métallique filant et traversant l'isolant Moyen</p> <p>Réduction de l'épaisseur de l'isolant (pré cadre ponctuel ou filant bois ou métal) Moyen</p> <p>Pré cadre bois filant ou fixations métalliques ponctuelles traversant l'isolant ou pré cadre métallique filant non traversant Faible</p> |
| Liaison entre le mur et un plancher bas | | <p>Isolation en sous face sans descente d'isolation, ou isolation sous chape (avec ou sans descente d'isolation) Fort</p> <p>Avec descente retour d'isolation le long du soubassement Moyen</p> |
| Liaison entre le mur et un plancher intermédiaire ou un refend | | <p>Sans joint d'étanchéité Très faible</p> <p>Avec joint d'étanchéité Faible Joint type 1 à 3</p> <p> Fort Joint type 4 à 7</p> |
| Liaison entre un mur et un plancher haut | | <p>Acrotère non isolé Fort</p> <p>Acrotère avec remonté d'isolant (non fermée) Moyen</p> <p>Acrotère avec remonté d'isolant (fermée) Faible $R_i \geq 4 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$</p> <p> Moyen $R_i < 4 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$</p> |
| Liaison au niveau d'un angle sortant ou rentrant | | <p> Faible</p> |

1.9 CONCLUSION :

En Algérie, un grand nombre de logements ne semblent pas répondre aux exigences du confort thermique et d'économie d'énergie. Cela s'explique par l'absence d'une réglementation spécifique d'une part, par le manque de savoir-faire et une méconnaissance du sujet par les maîtres d'ouvrage. L'amélioration des techniques au niveau des matériaux de construction et d'isolation permet aujourd'hui de réaliser des bâtiments qui rassemblent à la fois les qualités esthétiques et thermiques, tout en offrant un cadre de vie plus confortable en étant consommateur de très peu d'énergie. Une méthode de calcul thermique a été développée afin de réduire au minimum le coût d'énergie employée pour chauffer les bâtiments nouveaux ou existants. Les recommandations publiées dans les documents techniques réglementaires du ministère de l'habitat, (Ministère de l'habitat, D.T.R C 3-2 et D.T.R C 3-4, 1998) soumises pour le climat algérien sont prises comme référence dans le choix du modèle informatique élaboré dans notre étude

MODELISATION ET SIMULATION

2 Chapitre 2 : Modélisation Et Simulation

2.1 Introduction :

Ce chapitre présente un travail de simulation thermique en régime dynamique, réalisé avec le logiciel de simulation thermique TRNSYS, pour comparer le comportement thermique de divers bâtiments construits avec des PSCP situés à Hassi Messaoud, Gassi touil.

Le but est de comparer le comportement thermique du bâtiment en intégrant différents murs (logement en brique, logement en béton armé et logement avec PSCP) ainsi que de comparer l'effet de l'utilisation des fenêtres avec des matériaux déférant et l'effet de l'orientation sur le comportement thermique du bâtiment.

2.2 Présentation des sites :

Plus de 85 % de la surface totale de l'Algérie est caractérisée par un climat chaud et sec, la ville de Hassi Messaoud est retenue dans cette étude, avec un climat dominant type désertique. Il est caractérisé par de longues périodes de surchauffe où l'inconfort est fortement ressenti, Le logement doit, donc, être conçu selon les exigences d'été ; celles de l'hiver seront satisfaites en conséquence.

2.2.1 La situation géographique du site :

Gassi-touil est base de vie située à Hassi Messaoud de la wilaya d'Ouargla, située à 86 km au sud-est d'Ouargla ; à 172 km au sud de Touggourt et à 800 km au sud-est de la capitale Alger, avec une superficie de 71 237 km² et Latitude : **31.6825**, Longitude : **6.07252** 31° 40' 57" Nord, 6° 4' 21" Est.

L'économie de la ville est largement tournée vers l'exploitation de son gisement de pétrole.



Figure 21: La situation géographique du site

2.2.2 Les caractéristiques du climat :

La ville appartient à la zone D [27] ; avec deux saisons principales (été et hiver). Hassi Messaoud possède un climat méditerranéen chaud avec été sec selon la classification de Köppen-Geiger. Sur l'année, la température moyenne à Hassi Messaoud est de 23.4°C et les précipitations sont en moyenne de **140.4 mm**. Le Rayonnement solaire direct qui peut atteindre 240 KW/m². En été, la température dépasse facilement les 40 °C et en hiver la température moyenne est de 10.7°.

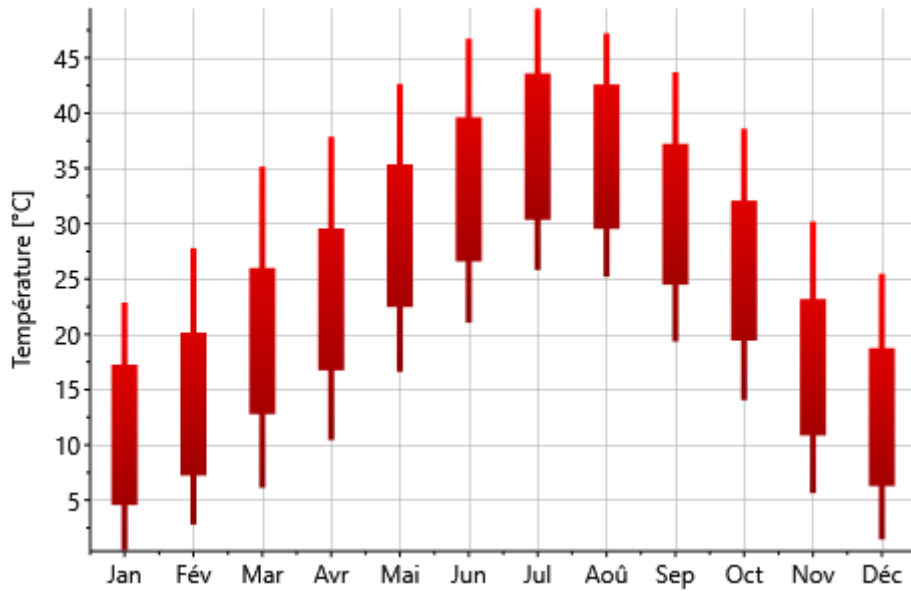


Figure 22:Température annuelle à Hassi Messaoud

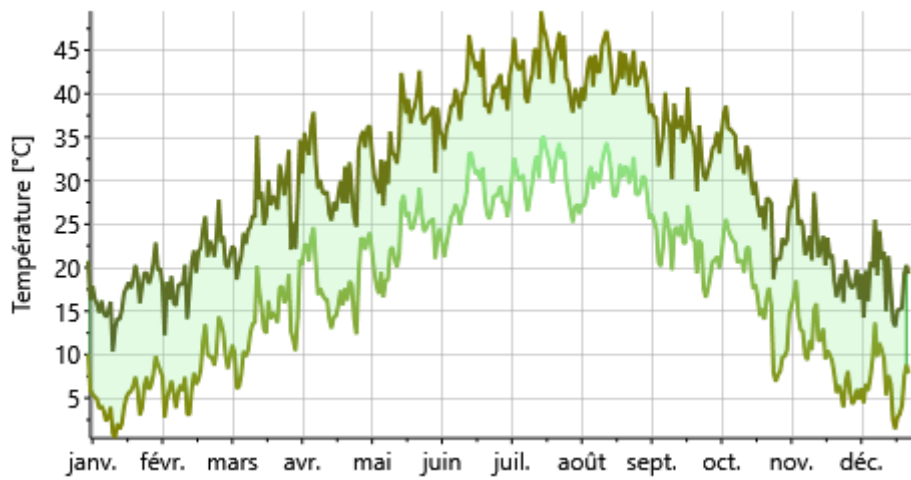


Figure 23:Température journalière à Hassi Messaoud

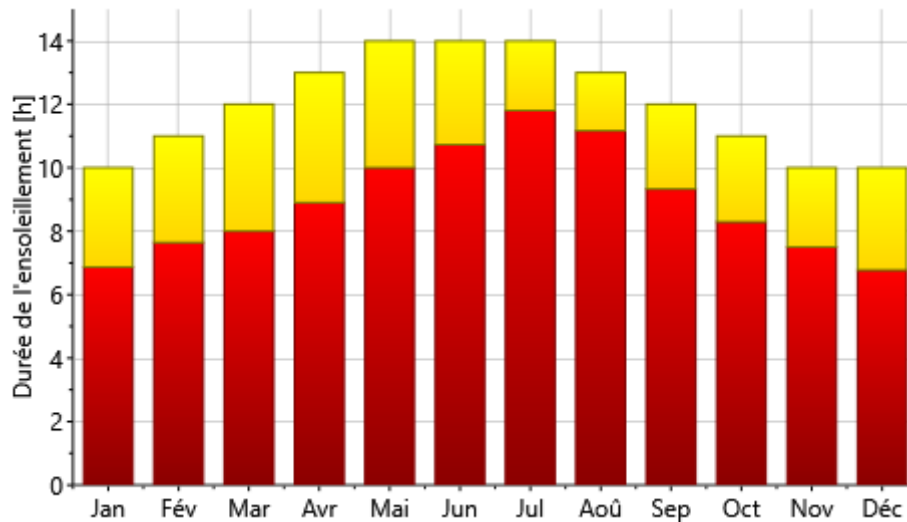


Figure 24: Ensoleillement annuelle à Hassi Messaoud

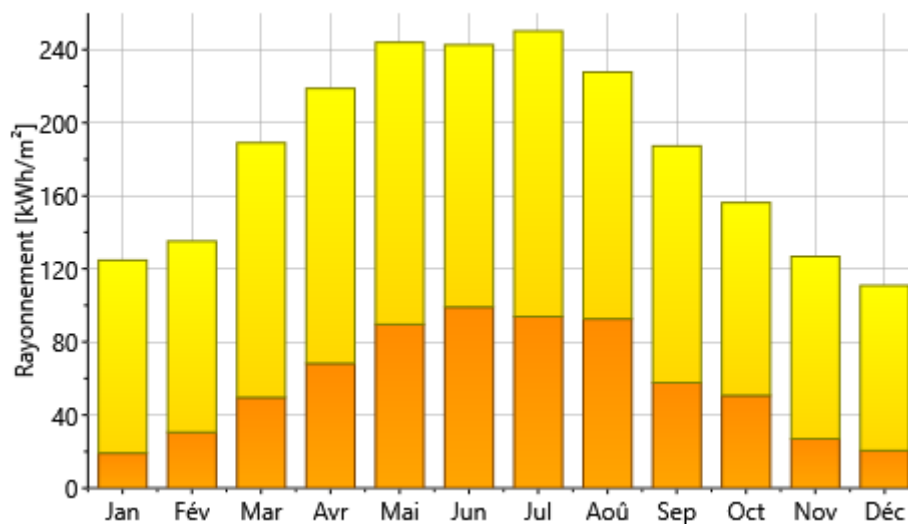


Figure 25: Rayonnement annuelle à Hassi Messaoud

2.3 Description du projet :

Le projet représente des bases de vie pour les employés, elles sont situées dans le sud de l'Algérie à Hassi Messaoud, Gassi touil ce projet est réalisé par la société **amenhyd** constructions dans le cadre d'un contrat avec **Sonatrach** pour les travailleurs du site pétrolier de Hassi Messaoud.

288 bâtiments est en train d'être réalisé de 3 Bloc de bâtiment :

Bloc A : d'une superficie de 211.56 m² il contient 8 chambres chaque chambre a sa propre salle de bain.

Bloc B : d'une surface de 297.56 m² il contient 8 chambres chaque chambre a sa propre salle de bain et son propre salon.

Bloc VIP : d'une surface de 180 m² il contient 4 pièces chaque pièce a sa propre salle de bain et son propre salon.

2.3.1 Les plans des trois Blocs du bâtiment sont les suivants :

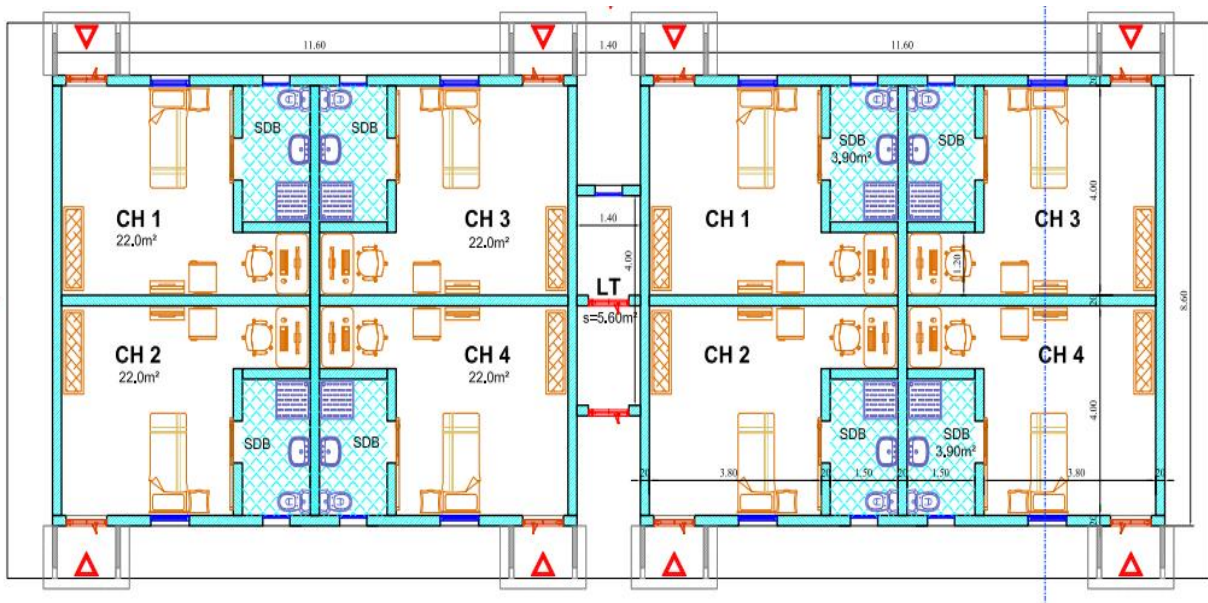


Figure 26: Plan du BLOC A Situé à GASSI TOUIL

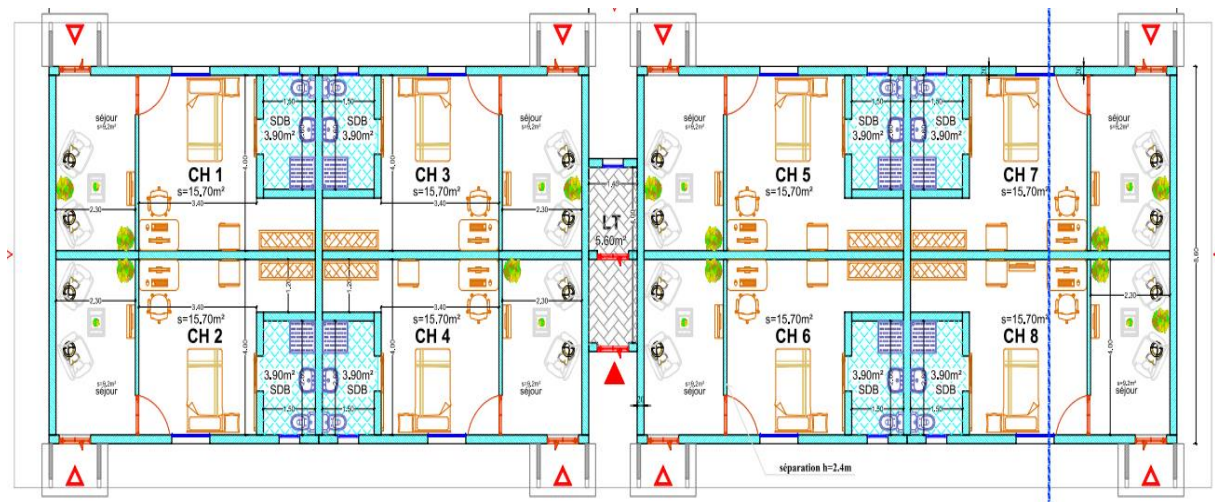


Figure 27: Plan du BLOC B Situé à GASSI TOUIL

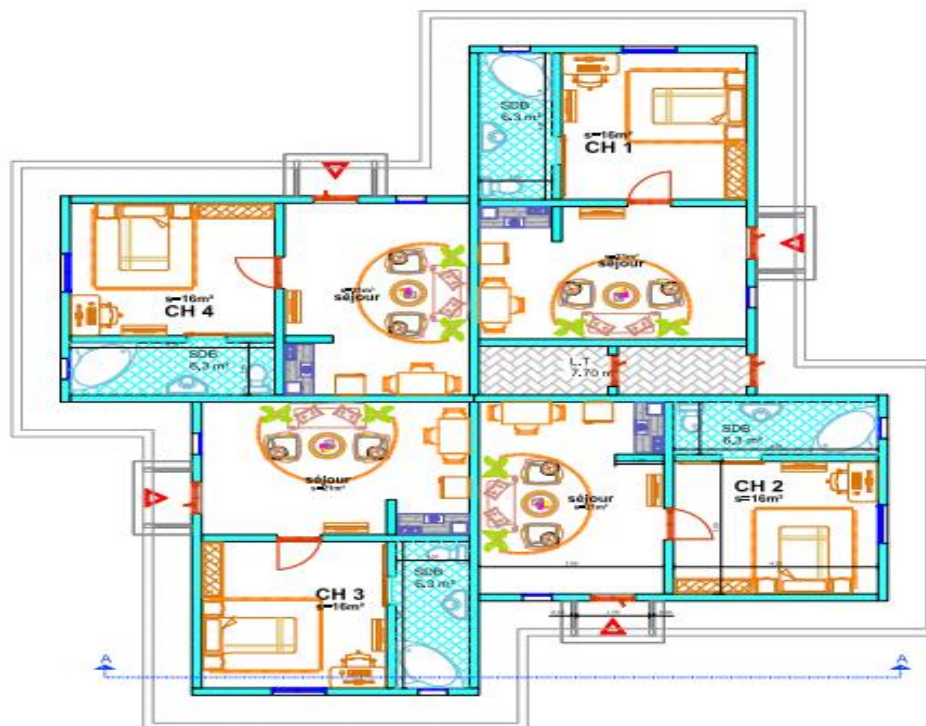


Figure 28: Plan du BLOC VIP Situé à GASSI TOUIL

2.3.2 Matériaux utilisés :

Tableau 9: Les matériaux utilisés

| N° | Matériaux | Type | Conductivité (w/m°C) | Capacité (KJ/Kg°C) | Densité (Kg/m ³) | Résistance thermique (w/m ² °C) |
|----|---------------------|------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------|---|
| 1 | Béton plein | Massif | 1.75 | 1.08 | 2500 | / |
| 2 | Mortier de ciment | Massif | 1.4 | 1.08 | 2200 | / |
| 3 | Polystyrène expansé | Massif | 0.0389 | 1.4 | 35 | / |
| 4 | Carrelage quartzeux | Massif | 2.6 | 0.79 | 2800 | / |
| 5 | Béton armé | Massif | 1.7 | 1 | 2150 | / |
| 6 | Enduit plâtre | Massif | 0.35 | 0.84 | 1800 | / |
| 7 | Brique perforée | Massif | 0.7 | 0.94 | 1600 | / |
| 8 | Lame d'air | Non-massif | / | / | / | 0.15 |

2.3.3 Composition des parois : (de l'intérieur vers l'extérieur) :

2.3.3.1 Bâtiment en panneaux sandwichs en béton préfabriqué :

Tableau 10: Mur extérieur PSCP

| N° | Matériaux | Epaisseur (m) |
|----|---------------------|---------------|
| 1 | Béton plein | 0.12 |
| 2 | Polystyrène expansé | 0.04 |
| 3 | Béton plein | 0.04 |

Epaisseur totale : 0.2 m

coefficient de transmission (isolation) thermique : 0.761 W/m²°C

coefficient de transfert thermique convectif du mur : $h_e = 16.66$ W/m²°C

$h_i = 9.08$ W/m²°C

Tableau 11: Mur intérieur PSCP

| N° | Matériaux | Epaisseur (m) |
|----|---------------------|---------------|
| 1 | Béton plein | 0.12 |
| 2 | Polystyrène expansé | 0.04 |
| 3 | Béton plein | 0.04 |

Epaisseur totale : 0.2 m

Coefficient de transmission (isolation) thermique : $0.761 \text{ W/m}^2\text{°C}$

coefficient de transfert thermique convectif du mur : $h_e = 9.08 \text{ W/m}^2\text{°C} / h_i = 9.08 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Tableau 12:Plancher PSCP

| N° | Matériaux | Epaisseur (m) |
|----|---------------------|---------------|
| 1 | Carrelage quartzeux | 0.02 |
| 2 | Mortier de ciment | 0.03 |
| 3 | Polystyrène expansé | 0.04 |
| 4 | Béton plein | 0.14 |

Epaisseur totale : 0.23 m

Coefficient de transmission (isolation) thermique : $0.744 \text{ W/m}^2\text{°C}$

coefficient de transfert thermique convectif du mur : $h_e = 0 \text{ W/m}^2\text{°C} / h_i = 5.88 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Tableau 13:Toiture PSCP

| N° | Matériaux | Epaisseur (m) |
|----|---------------------|---------------|
| 1 | Mortier de ciment | 0.03 |
| 2 | Polystyrène expansé | 0.04 |
| 3 | Béton plein | 0.14 |

Epaisseur totale : 0.21 m

Coefficient de transmission (isolation) thermique : $0.755 \text{ W/m}^2\text{°C}$

coefficient de transfert thermique convectif du mur : $h_e = 31.11 \text{ W/m}^2\text{°C} / h_i = 11.11 \text{ W/m}^2\text{°C}$

2.3.3.2 Bâtiment en béton armé :

Tableau 14: Mur extérieur béton armé

| N° | Matériaux | Epaisseur (m) |
|----|-------------------|---------------|
| 1 | Enduit plâtre | 0.02 |
| 2 | Béton armé | 0.2 |
| 3 | Mortier de ciment | 0.02 |

Epaisseur totale : 0.24 m

Coefficient de transmission (isolation) thermique : $2.488 \text{ W/m}^2\text{°C}$

coefficient de transfert thermique convectif du mur : $h_e = 16.66 \text{ W/m}^2\text{°C} / h_i = 9.08 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Tableau 15: Mur intérieur béton armé

| N° | Matériaux | Epaisseur (m) |
|----|-------------------|---------------|
| 1 | Enduit plâtre | 0.02 |
| 2 | Béton armé | 0.2 |
| 3 | Mortier de ciment | 0.02 |

Epaisseur totale : 0.24 m

Coefficient de transmission (isolation) thermique : 2.488 W/m²°C

coefficient de transfert thermique convectif du mur : $h_e = 9.08 \text{ W/m}^2\text{°C}$ / $h_i = 9.08 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Tableau 16: Plancher béton armé

| N° | Matériaux | Epaisseur (m) |
|----|----------------------|---------------|
| 1 | Carrelage quartzueux | 0.02 |
| 2 | Mortier de ciment | 0.02 |
| 3 | Béton armé | 0.15 |

Epaisseur totale : 0.19 m

Coefficient de transmission (isolation) thermique : 3.419 W/m²°C

coefficient de transfert thermique convectif du mur : $h_e = 0 \text{ W/m}^2\text{°C}$ / $h_i = 5.88 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Tableau 17: Toiture béton armé

| N° | Matériaux | Epaisseur (m) |
|----|-------------------|---------------|
| 1 | Enduit plâtre | 0.02 |
| 2 | Béton armé | 0.15 |
| 3 | Mortier de ciment | 0.02 |

Epaisseur totale : 0.19 m

Coefficient de transmission (isolation) thermique : 3.033 W/m²°C

coefficient de transfert thermique convectif du mur : $h_e = 20 \text{ W/m}^2\text{°C}$ / $h_i = 11.11 \text{ W/m}^2\text{°C}$

2.3.3.3 Bâtiment en brique double cloison :

Tableau 18: Mur extérieur brique

| N° | Matériaux | Epaisseur (m) |
|----|-------------------|---------------|
| 1 | Mortier de ciment | 0.02 |
| 2 | Brique perforée | 0.1 |
| 3 | Lame d'air | 0.05 |
| 4 | Brique perforée | 0.1 |
| 5 | Enduit plâtre | 0.02 |

Epaisseur totale : 0.30 m

Coefficient de transmission (isolation) thermique : $1.462 \text{ W/m}^2\text{°C}$

coefficient de transfert thermique convectif du mur : $h_e = 16.66 \text{ W/m}^2\text{°C} / h_i = 9.08 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Tableau 19: Mur intérieur brique

| N° | Matériaux | Epaisseur (m) |
|----|-----------------|---------------|
| 1 | Enduit plâtre | 0.02 |
| 2 | Brique perforée | 0.15 |
| 3 | Enduit plâtre | 0.02 |

Epaisseur totale : 0.19 m

Coefficient de transmission (isolation) thermique : $2.006 \text{ W/m}^2\text{°C}$

coefficient de transfert thermique convectif du mur : $h_e = 9.08 \text{ W/m}^2\text{°C} / h_i = 9.08 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Tableau 20: Plancher brique

| N° | Matériaux | Epaisseur (m) |
|----|---------------------|---------------|
| 1 | Carrelage quartzeux | 0.02 |
| 2 | Mortier de ciment | 0.03 |
| 3 | Béton armé | 0.15 |

Epaisseur totale : 0.2 m

Coefficient de transmission (isolation) thermique : $3.37 \text{ W/m}^2\text{°C}$

coefficient de transfert thermique convectif du mur : $h_e = 0 \text{ W/m}^2\text{°C} / h_i = 5.88 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Tableau 21: Toiture brique

| N° | Matériaux | Epaisseur (m) |
|----|-------------------|---------------|
| 1 | Enduit plâtre | 0.02 |
| 2 | Béton armé | 0.15 |
| 3 | Mortier de ciment | 0.02 |

Epaisseur totale : 0.19 m

Coefficient de transmission (isolation) thermique : $3.033 \text{ W/m}^2\text{°C}$

coefficient de transfert thermique convectif du mur : $h_e = 20 \text{ W/m}^2\text{°C} / h_i = 11.11 \text{ W/m}^2\text{°C}$

2.3.4 Menuiserie :

Tableau 22:Menuiseries

| N° | Type de menuiserie | Dimensions (m) | Surface (m ²) | U (W/m ² . K) |
|----|-------------------------------------|----------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 | Fenêtre en aluminium pour studio | 1.2×0.85 | 1.02 | 1.4 |
| 2 | Châssis en aluminium pour sanitaire | 0.6×0.6 | 0.36 | 1.4 |
| 3 | Porte métallique extérieur | 2.2×0.9 | 1.98 | - |
| 4 | Porte en aluminium pour sanitaire | 2.2×0.8 | 3.74 | - |

2.3.5 Simulation thermique dynamique :

La **simulation thermique dynamique**, ou STD, permet de simuler de manière réaliste les **échanges thermiques** dans un bâtiment – soit les températures et besoins en chauffage et en climatisation. On la réalise à un pas de temps horaire ou infra-horaire, en prenant en compte tous les phénomènes ayant une influence significative sur la thermique du bâtiment.

L'outil de simulation thermique dynamique (STD) a une véritable utilité pour modéliser les bâtiments et de mesurer l'influence de chaque paramètre de la construction sur sa performance énergétique. Il permet aussi de faire une étude de faisabilité technique par la comparaison des différentes solutions techniques à mettre en œuvre sur une construction (enveloppe, isolations, inertie,). Il permet aussi d'identifier la répartition des déperditions thermiques dans l'enveloppe du bâtiment, de préconiser des solutions et de quantifier les économies d'énergie [28].

2.3.5.1 Principe de simulation thermique dynamique :

Le principe d'un calcul de simulation thermique dynamique d'un bâtiment consiste à étudier sur une année entière ou sur une période définie d'au moins quelques jours, au pas de temps horaire ou à un pas de temps inférieur, le comportement thermique d'un bâtiment, soit uniquement de son enveloppe, soit avec des systèmes techniques. Ce calcul tient compte de tous les paramètres. Influant sur le bilan thermique : apports internes et externes, inertie du bâtiment, transmission à travers les parois.

Paramètres d'entrée :

Ce sont les données nécessaires à introduire et qui pourront être stockées dans la bibliothèque du logiciel en vue d'une utilisation ultérieure par le concepteur. Elles concernent les paramètres suivants :

Structure : orientation du bâtiment, parois opaques, parois vitrées, protection solaire,

Équipements : chauffage, climatisation, ventilation...

Intérieur : scénarios d'occupation, apports internes dus aux équipements, ...

Extérieurs : température, vitesse de vents, données météorologiques.

Paramètres de sortie :

C'est l'ensemble des résultats fournis par le logiciel de simulation, comme :

Évolution des températures en fonction du temps pour chaque zone du bâtiment.

Puissance de chauffage ou de rafraîchissement nécessaire [28].

2.3.6 TRNSYS (Transient System Simulation) :

Le logiciel TRNSYS (TRaNsient System Simulation Program ou programme de simulation de systèmes transitoires) est un logiciel multizone de simulation en régime dynamique. Développé au laboratoire "Solar Energy" de l'université Wisconsin à Madison.

TRNSYS est structuré de manière modulaire. Il permet le calcul des performances techniques des bâtiments mono ou multizones.

Ces simulations peuvent être couplées avec les conditions météorologiques, les scénarios d'occupation et l'utilisation de différentes formes d'énergie. TRNSYS évalue le niveau de confort thermique d'un bâtiment par rapport à son environnement climatique et le choix opéré sur son système thermique (type de chauffage, niveau d'isolation, orientation des pièces...). Il évalue aussi les systèmes de chauffage et de climatisation des plus simples au plus complexes, comme les installations solaires innovantes, grâce à une bibliothèque de 50 familles de composants.

L'un des facteurs clés de la réussite de TRNSYS au cours des 35 dernières années est sa structure modulaire, ouverte. Le code source, ainsi que les modèles de composants sont fournis à l'utilisateur. Cela simplifie l'extension des modèles existants pour les adapter aux besoins spécifiques de l'utilisateur. La figure ci-dessous illustre l'interface du logiciel TRNSYS[28].

2.3.7 Utilisation du logiciel TRNSYS :

2.3.7.1 Données introduites :

Les données introduites sont la description du bâtiment et les données météo (fournies avec le programme pour certaines villes) ainsi que la description des équipements thermiques et de leur fonctionnement. Des liens existent avec certains programmes de dessin pour faciliter la saisie des données décrivant le bâtiment.

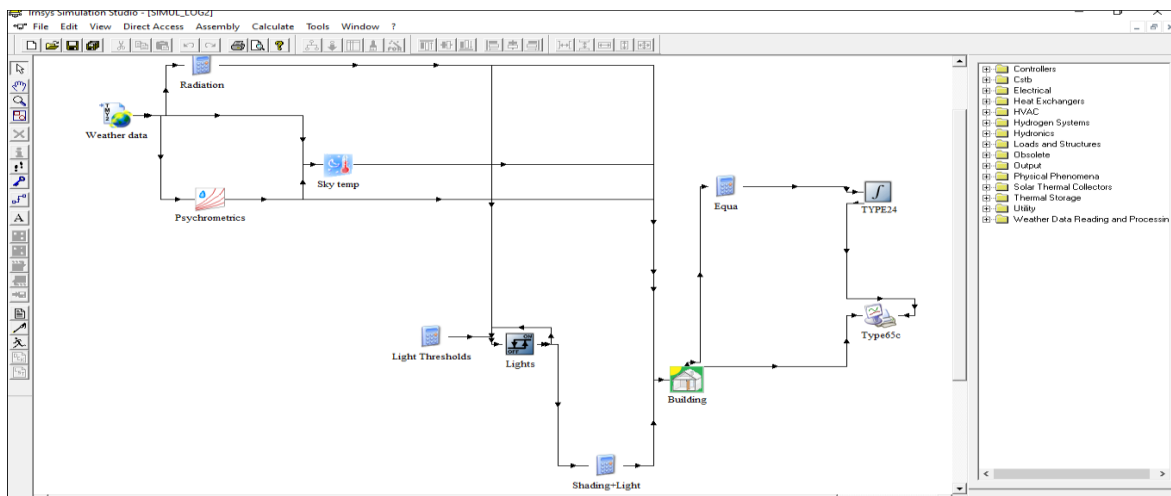


Figure 29:Interface TRNSYS Pour la Simulation Réalisée.

2.3.7.2 Fichier Météo De Hassi Messaoud :

Cette étape se fait sur météoforme et ça consiste à sélectionner la station météorologique du site.

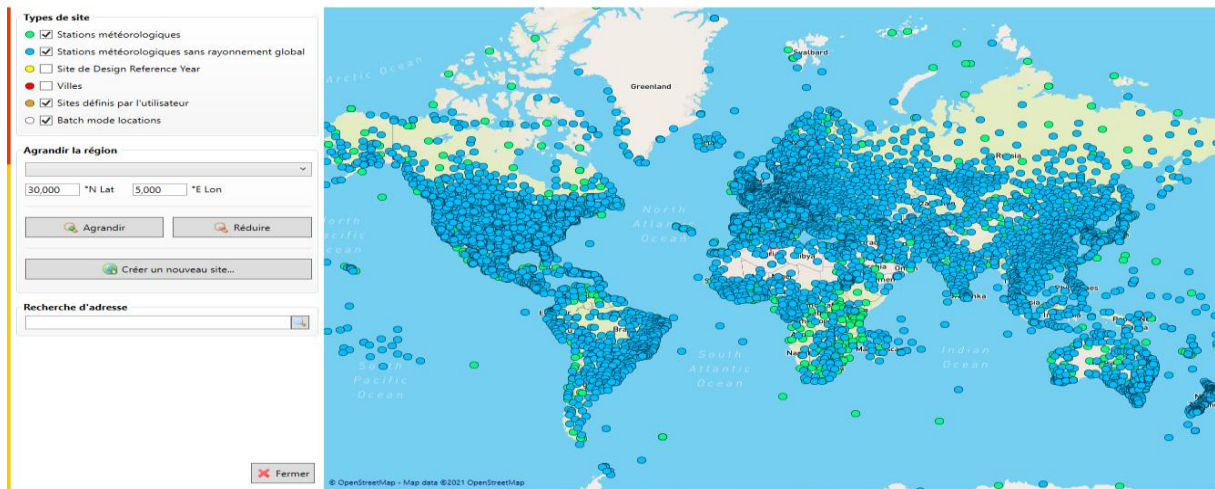


Figure 30:Création de fichier météorologique (Hassi Messaoud)

2.3.8 TRNbuild :

TRNBuild est l'outil utilisé pour faire entrer toutes les données des bâtiments multizones. Il permet de spécifier tous les détails de la structure du bâtiment, ainsi que tout ce qui est nécessaire pour simuler le comportement thermique du bâtiment, tels que les propriétés optiques des fenêtres, les horaires de chauffage et de climatisation, les scénarios d'occupation

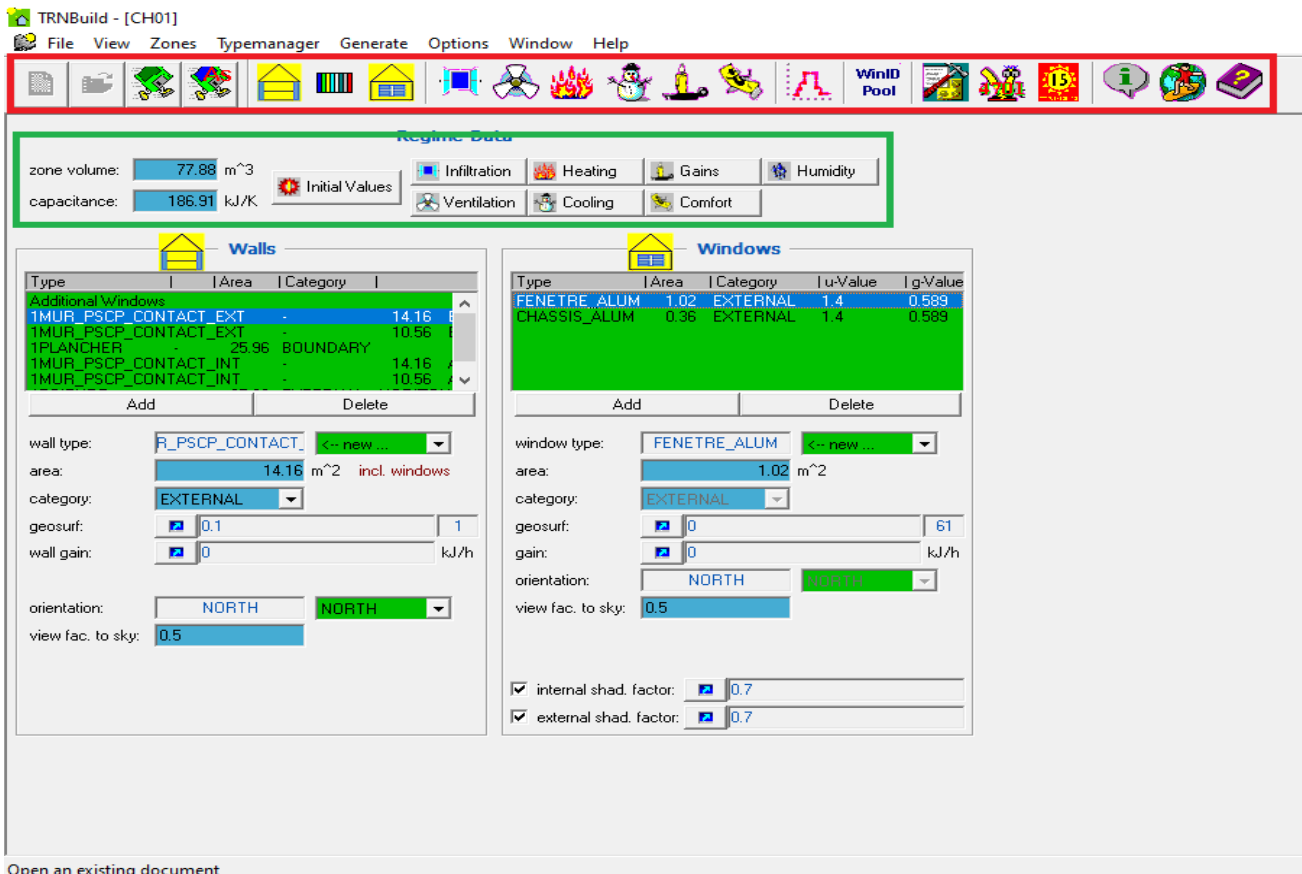


Figure 31:Interface TRNBuild pour la simulation réalisée

et les gains internes...etc. TRNBuild crée un fichier de description du bâtiment qui comprend toutes les informations utiles pour simuler le bâtiment.

La zone rouge représente les commandes pour définir les matériaux des murs, la composition des murs, les fenêtres, les paramètres de chauffage et de climatisation, les différents gains et les horaires pour les différents scénarios que nous allons utiliser dans notre simulation.

Dans **la zone verte**, nous utilisons les commandes pour appliquer les différents paramètres et scénarios programmés que nous avons créés pour notre projet simulation.

2.3.9 Les scénarios appliqués :

2.3.9.1 Scénario d'occupation :

Tableau 23: Scénario d'occupation journalière au travail

| N° | Début | Arrêt | Valeur |
|----|--------|--------|--------|
| 1 | 00 :00 | 08 :00 | 1 |
| 2 | 08 :00 | 12 :00 | 0 |
| 3 | 12 :00 | 13 :30 | 1 |
| 4 | 13 :30 | 17 :00 | 0 |
| 5 | 17 :00 | 24 :00 | 1 |

Tableau 24: Scénario d'occupation en fin de semaine

| N° | Début | Arrêt | Valeur |
|----|--------|--------|--------|
| 1 | 00 :00 | 09 :00 | 1 |
| 2 | 09 :00 | 12 :00 | 0 |
| 3 | 12 :00 | 19 :00 | 1 |
| 4 | 19 :00 | 21 :00 | 0 |
| 5 | 21 :00 | 24 :00 | 1 |

Tableau 25: Scénario d'occupation hebdomadaire

| N° | Jour | Type d'occupation |
|----|----------|--------------------|
| 1 | Dimanche | Occupation travail |

| | | |
|---|----------|--------------------|
| 2 | Lundi | Occupation travail |
| 3 | Mardi | Occupation travail |
| 4 | Mercredi | Occupation travail |
| 5 | Jeudi | Occupation travail |
| 6 | Vendredi | Occupation weekend |
| 7 | Samedi | Occupation weekend |

Tableau 26: Scénario de mouvement Hall

| N° | Début | Arrêt | Valeur |
|----|--------|--------|--------|
| 1 | 00 :00 | 07 :30 | 0 |
| 2 | 07 :30 | 08 :00 | 1 |
| 3 | 08 :00 | 12 :00 | 0 |
| 4 | 12 :00 | 12 :30 | 1 |
| 5 | 12 :30 | 18 :00 | 0 |
| 6 | 18 :00 | 20 :00 | 1 |
| 7 | 20 :00 | 24 :00 | 0 |

2.3.9.2 Scénario de chauffage et climatisation :

Les scénarios de chauffage et de climatisation sont définis par rapport aux horaires d'occupation.

Tableau 27: Chauffage

| N° | Début | Arrêt | Valeur |
|----|--------|--------|--------|
| 1 | 00 :00 | 08 :00 | 1 |
| 2 | 08 :00 | 12 :00 | 0 |
| 3 | 12 :00 | 13 :30 | 1 |
| 4 | 13 :30 | 17 :00 | 0 |
| 5 | 17 :00 | 24 :00 | 1 |

Tableau 28: Climatisation

| N° | Début | Arrêt | Valeur |
|----|--------|--------|--------|
| 1 | 00 :00 | 08 :00 | 0 |
| 2 | 08 :00 | 12 :00 | 1 |
| 3 | 12 :00 | 13 :30 | 0 |

| | | | |
|---|--------|--------|---|
| 4 | 13 :30 | 17 :00 | 1 |
| 5 | 17 :00 | 24 :00 | 0 |

2.3.10 Les différentes consignes introduites :

Chauffage : 21°C, Climatisation : 24°C, Ventilation : 0.6 m³/h, Infiltration d'air : 0.2 m³/h

2.3.11 Les Gains thermique :

Tableau 29: Les Gains thermique

| N° | Type | Nombre bloc A | Nombre bloc B | Nombre bloc VIP | Chaleur dégagé (watt) Par unité | Fréquence D'utilisation |
|----|-------------|---------------|---------------|-----------------|---------------------------------|-------------------------|
| 1 | Lampes | 26 | 42 | 14 | 1028.4 | Occupation semaine |
| 2 | Télévisions | 8 | 8 | 4 | 1200 | Occupation semaine |
| 3 | Frigos | 8 | 8 | 4 | 800 | Toute la journée |
| 4 | Ordinateurs | 8 | 8 | 4 | 1120 | Occupation semaine |

2.4 Conclusion :

TRNSYS (Transient System Simulation permet à un architecte, un BET ou un maître d'ouvrage d'analyser un projet ou d'envisager une réhabilitation dans une démarche complète d'analyse thermique Permettant à l'utilisateur d'introduire les paramètres constitutifs du bâtiment de façon facile et pratique.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

3 Chapitre 3 : Résultats et discussions

3.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats obtenus après simulation ainsi que les discussions sur la simulation effectuée sur les bâtiments en intégrant différents murs (bâtiment en brique, bâtiment en béton armé et bâtiment avec PSCP) ainsi que présenté les résultats relatifs à l'effet d'utilisation des fenêtres avec des matériaux différents et l'effet de l'orientation sur le comportement thermique du bâtiment.

La simulation est effectuée avec le logiciel TRNSYS, outil de simulation thermique en régime dynamique.

3.2 Evolution de la température :

3.2.1 En hiver :

Les figures ci-dessous présentent les résultats de la simulation thermique des blocs (bloc A, bloc B et le bloc VIP) en hiver et durant la semaine la plus froide (comprise entre le 8 et le 15 janvier) et cela dans la zone de Gassi Touil situé à Hassi Messaoud.

Cette simulation a pour but de faire une comparaison entre divers matériaux de construction, afin de voir l'influence de chacun d'eux sur le plan thermique, et pour cela nous avons opté pour trois types de matériaux (le béton armé, la brique ainsi que les panneaux sandwichs en béton préfabriqué). Il est important de souligner que pour des températures extérieures allant de 10° à 25° annuelle, les températures ambiantes des divers blocs en brique et ceux en béton armé sont comprises entre 8° et 16°, tandis que pour ceux réalisés en PSCP, cette dernière ne dépasse pas les 14°, avec une évolution de température en continue variant entre 14° et 18°.

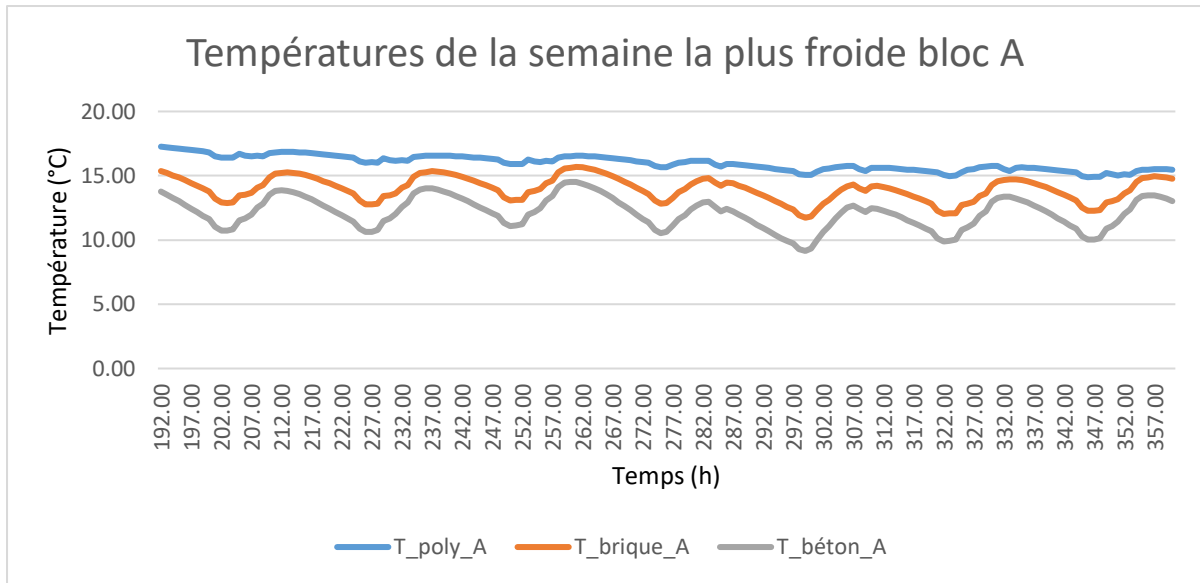


Figure 32: Evolution de la Températures du bloc A en hiver (du 8 au 15 janvier)

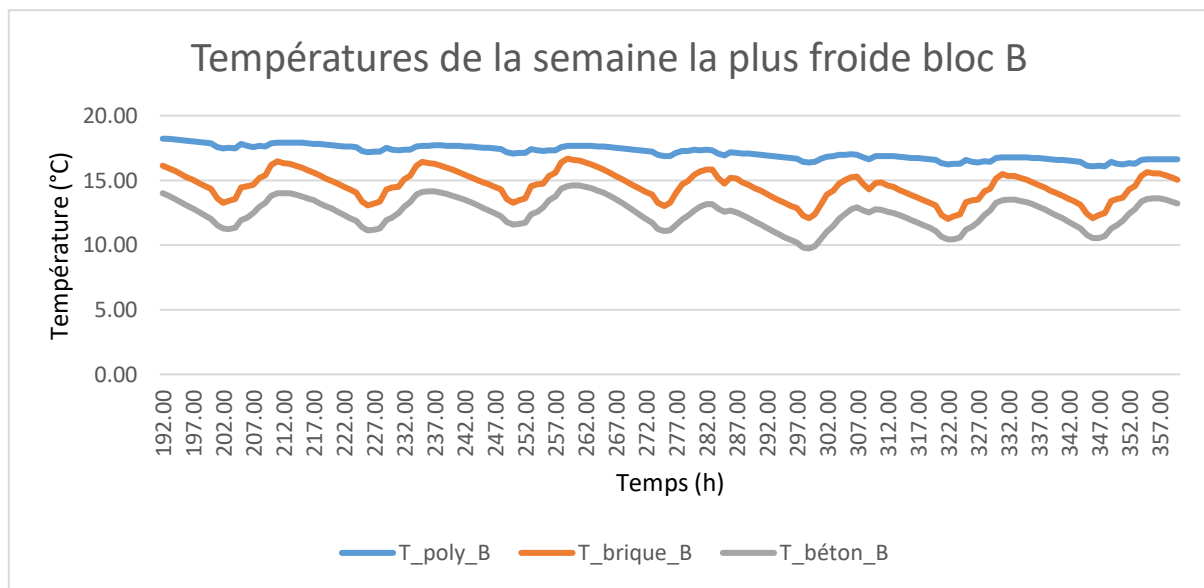


Figure 33: Evolution de la Températures du bloc B en hiver (du 8 au 15 janvier)

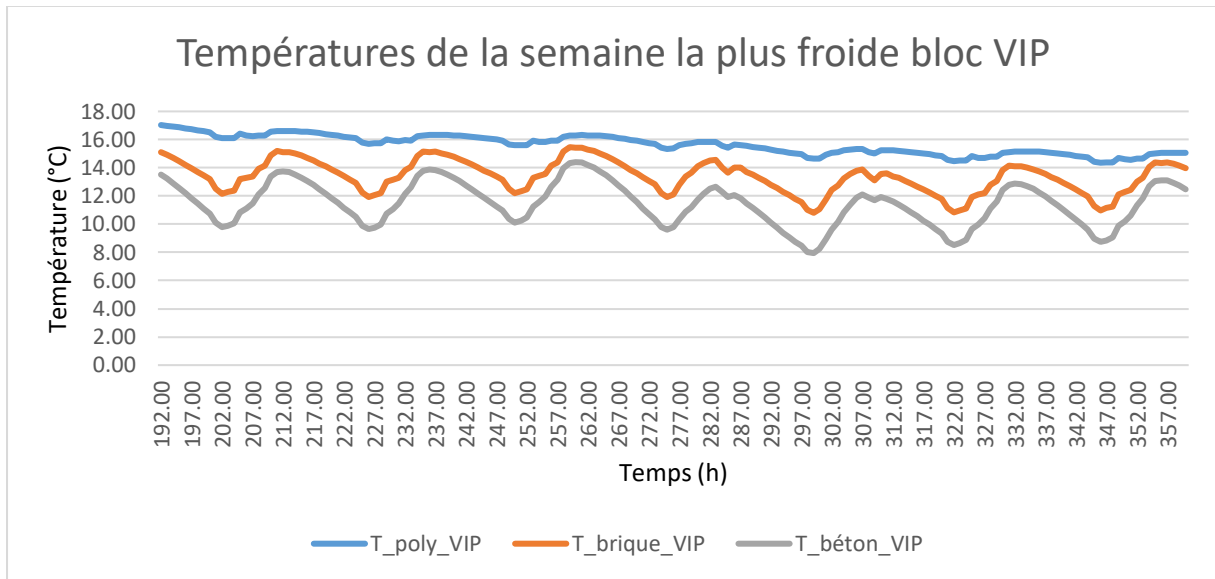


Figure 34: Evolution de la Températures du bloc VIP en hiver (du 8 au 15 janvier)

3.2.2 En été :

Les figures ci-dessous montrent l'évolution de la température moyenne de l'air ambiant interne des blocs (bloc A, bloc B et le bloc VIP) comptant pour une simulation thermique de certains bâtiments à usage résidentiel, en été et durant la semaine la plus chaude (comprise entre le 15 et le 22 juillet) et cela dans la zone de Gassi Touil situé à Hassi Messaoud.

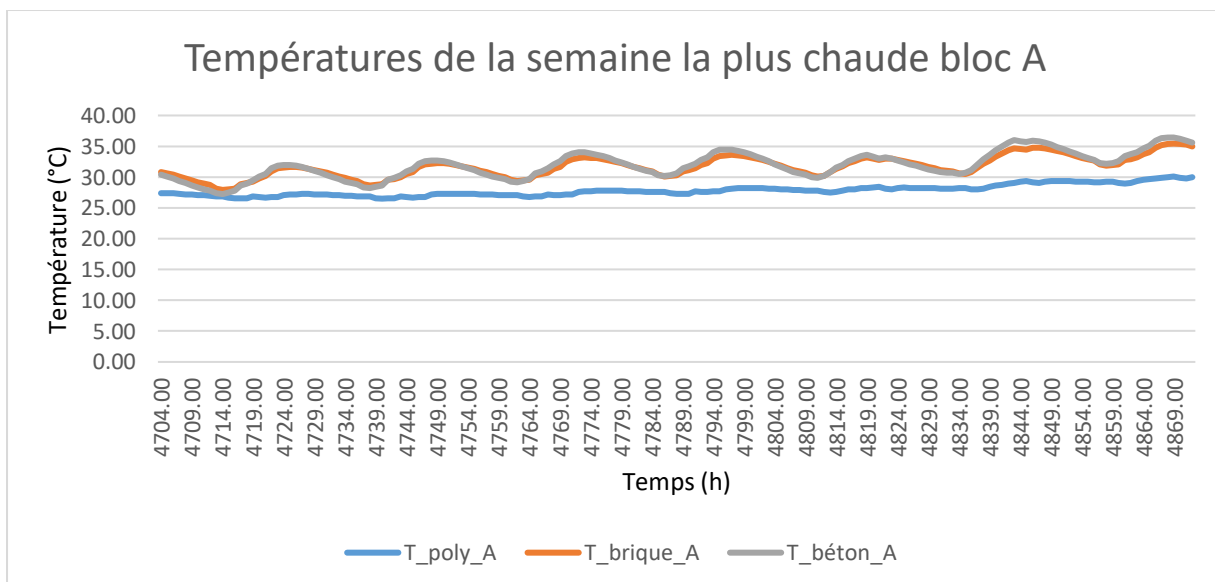


Figure 35: Evolution de la Températures du bloc A en été (du 15 au 22 juillet)

Pour des températures extérieures allant de 30° à 50° annuelle, les températures ambiantes du bloc en brique et celui en béton armé ont la même courbe de variation (pour le bloc A et VIP) avec une différence de presque 10° favorisant la brique, pour une variation allant de 29° à 45°. La même chose concernant le bloc B mais avec un certain écart de 6° entre celui réalisé en brique et celui en béton armé. Tandis que pour celui réalisé en PSCP, cette dernière possède une variation presque constante et continue allant de 27° à 35°.

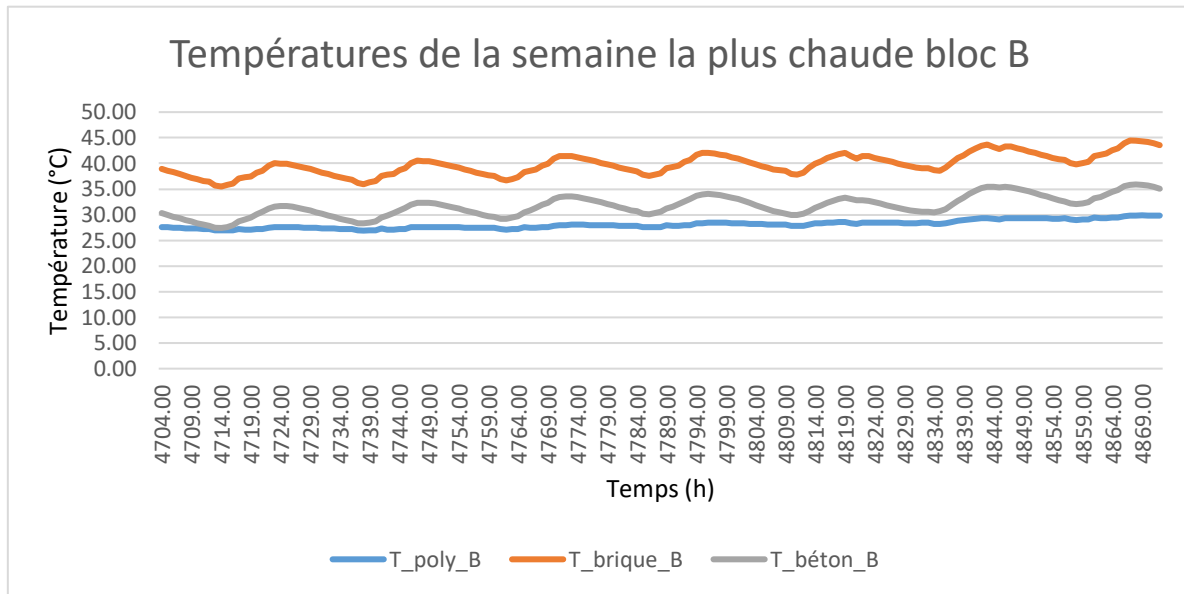


Figure 36: Evolution de la Températures du bloc B en été (du 15 au 22 juillet)

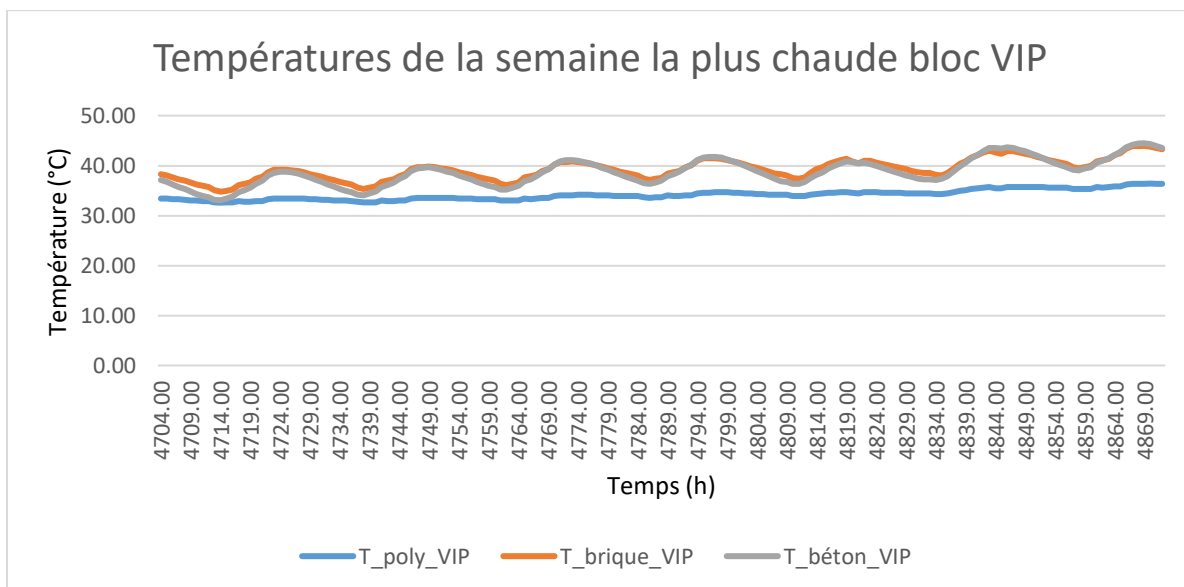


Figure 37: Evolution de la Températures du bloc VIP en été (du 15 au 22 juillet)

3.3 Consommation en chauffage et en climatisations mensuels :

Les figures suivantes représentent la consommation énergétique mensuelle de chauffage et de climatisation pour chacun des blocs étudiés, ainsi que des différents types de parois pris en considération.

En ce qui concerne la consommation en chauffage et climatisation, on constate que les besoins sont très importants quand on parle des blocs réalisés en béton armé, ce qui n'est absolument pas le cas pour celui réalisé en PSCP. Et cela avec une différence de plus de 28% comparé au béton armé dans le cas du bloc VIP (mois le plus défavorable), et plus de 10% dans le cas du bloc B (cas le plus favorable). Une différence vraiment remarquable vis-à-vis des besoins énergétiques annuelle, des différences atteignant les 10000 Kwh en chauffage du mois de janvier (bloc A).

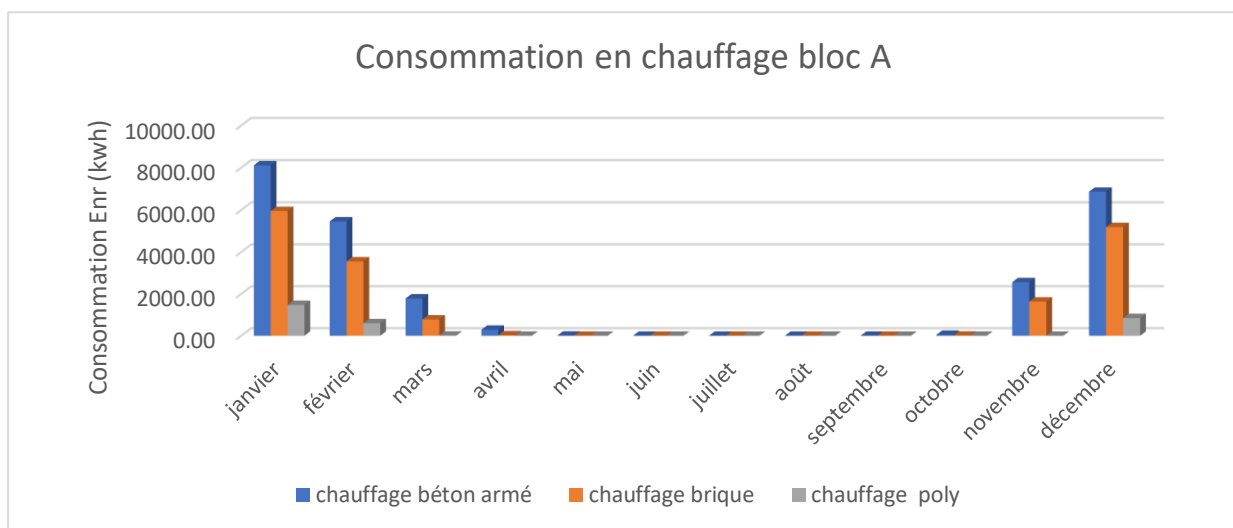


Figure 38: Consommation en chauffage bloc A

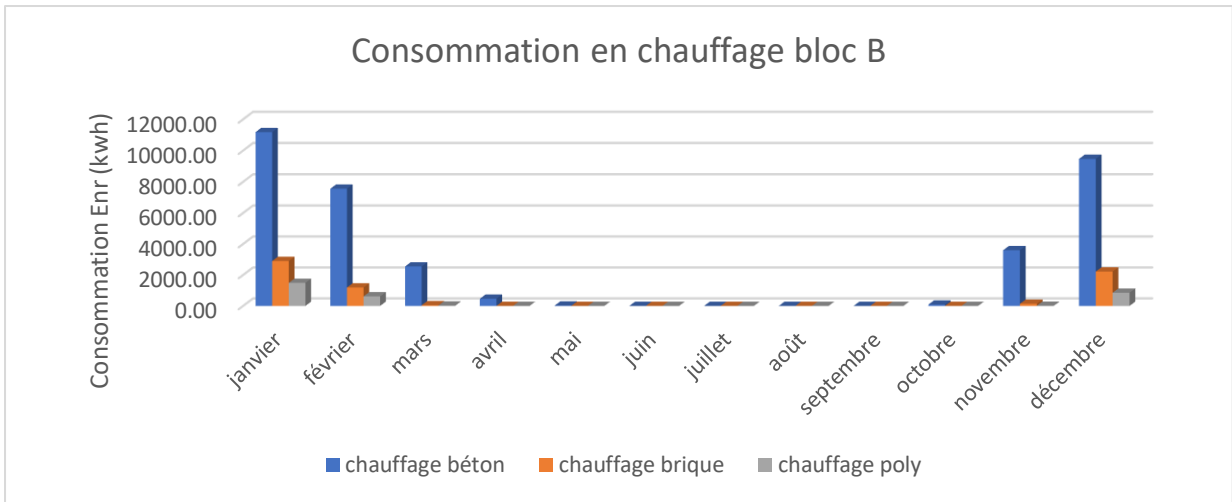


Figure 39: Consommation en chauffage bloc B

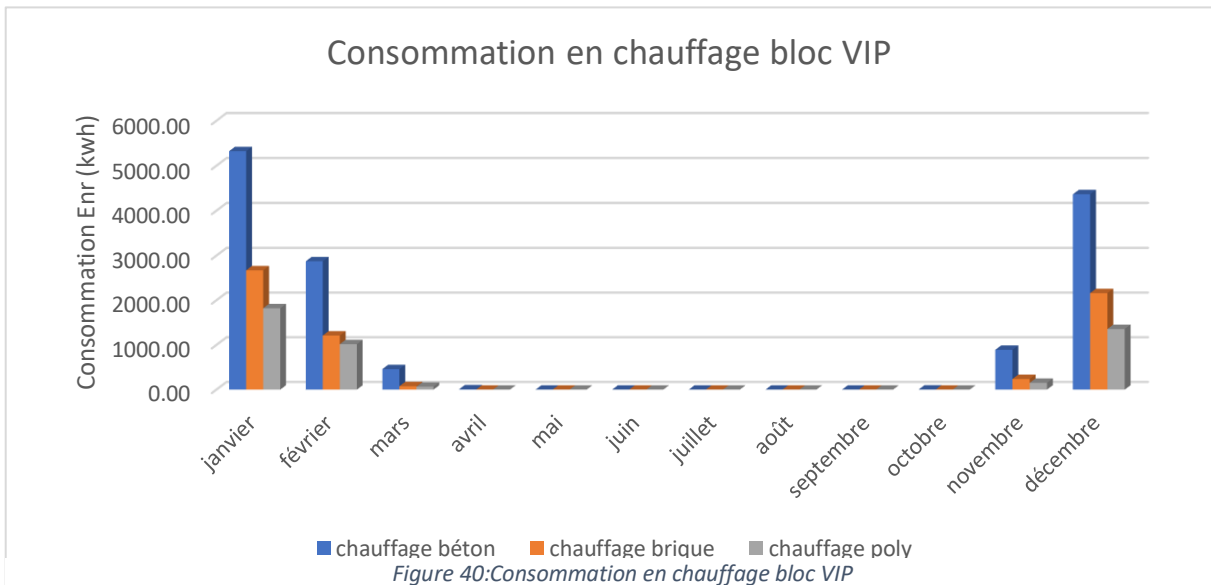


Figure 40: Consommation en chauffage bloc VIP

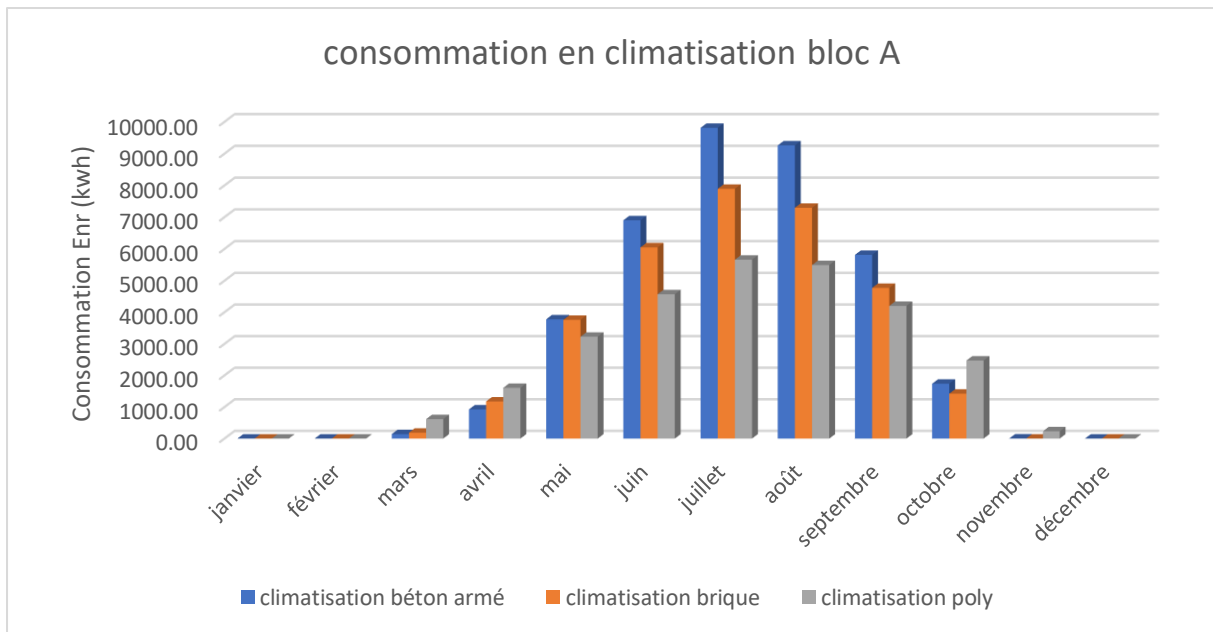


Figure 41: Consommation en climatisation bloc A

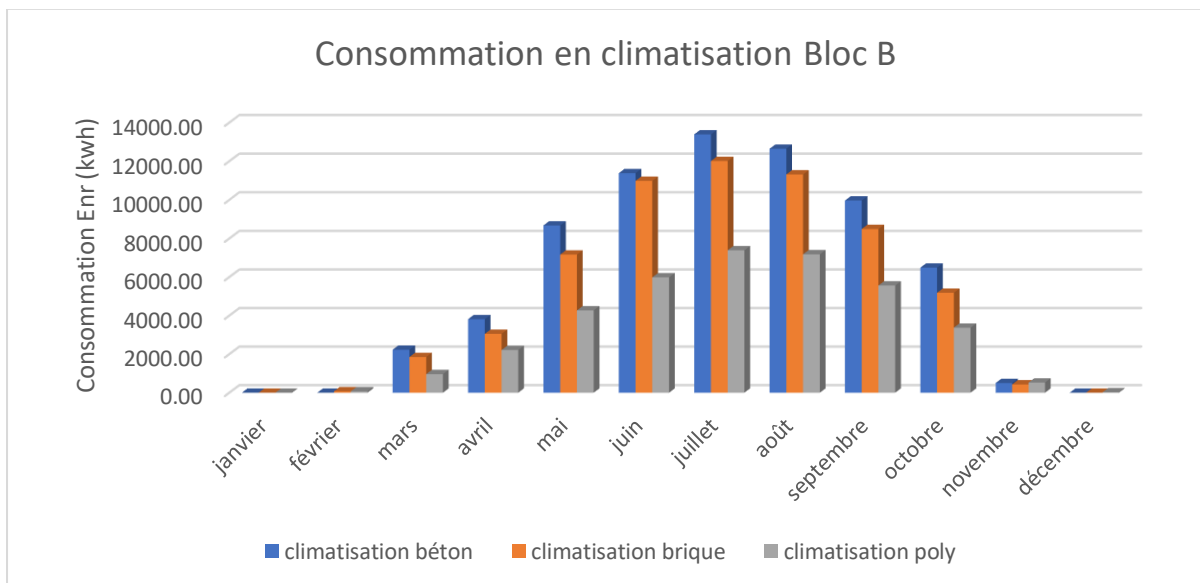


Figure 42: Consommation en climatisation bloc B

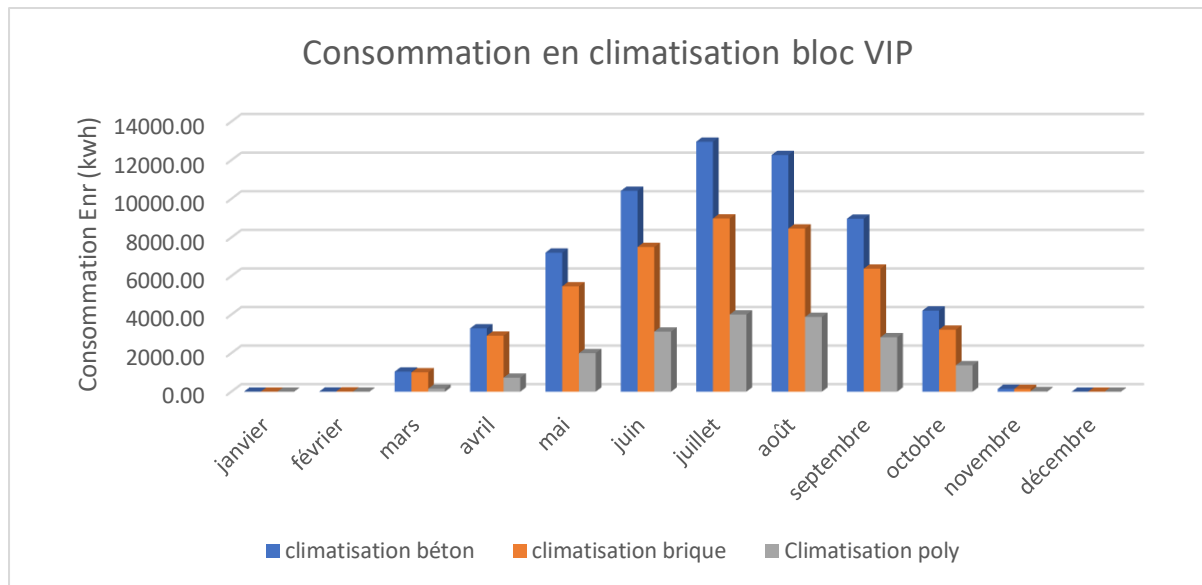


Figure 43: Consommation en climatisation bloc VIP

3.4 Consommation en chauffage et en climatisation annuels :

Les figures suivantes représentent la consommation énergétique annuelle totale du chauffage et de climatisation des trois blocs étudiés ainsi que de ses différentes parois les constituants.

Lors de la comparaison énergétique, il est clair que ceux réalisés en PSCP sont les plus performants et les moins consommateurs en matière d'énergie, tandis que ceux en béton armé représentent les blocs les plus consommateurs, donc les plus déperditifs.

Les résultats nous ont montré que les besoins énergétiques annuels des blocs réalisés en PSCP sont les plus efficaces, que ce soit sur le plan énergétique, et donc économique. Et sans oublier de citer l'impact très important des PSCP sur les besoins en climatisation, où nous remarquons que ce dernier vient réduire la facture énergétique en climatisation de plus de 88% comparé au cas le plus défavorable (le béton armé).

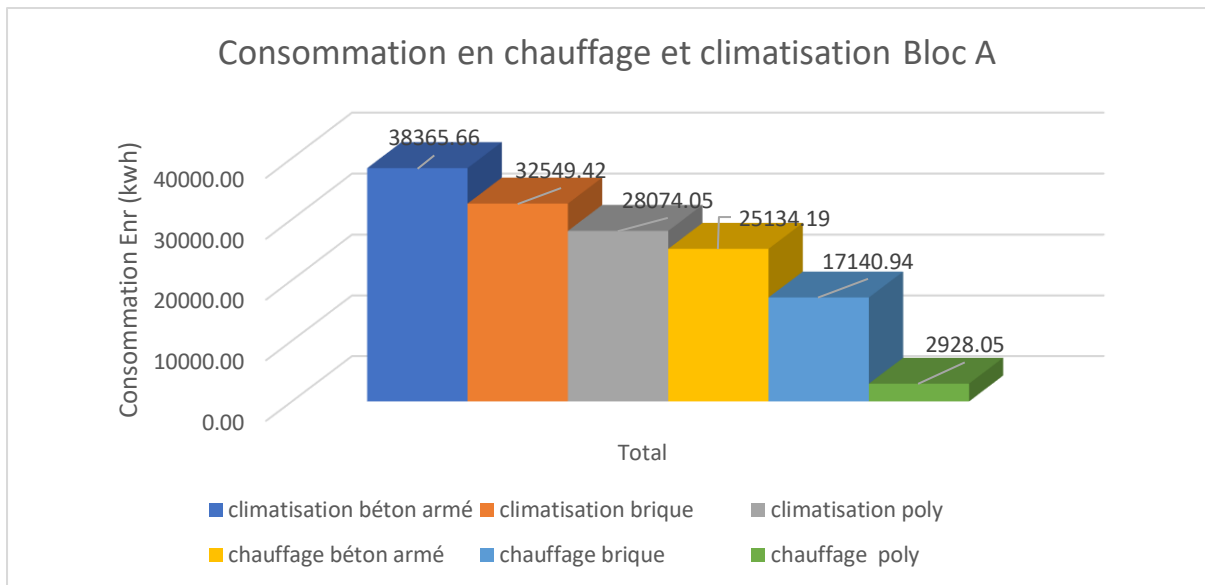


Figure 44: Consommation énergétique annuelle en chauffage et climatisation bloc A

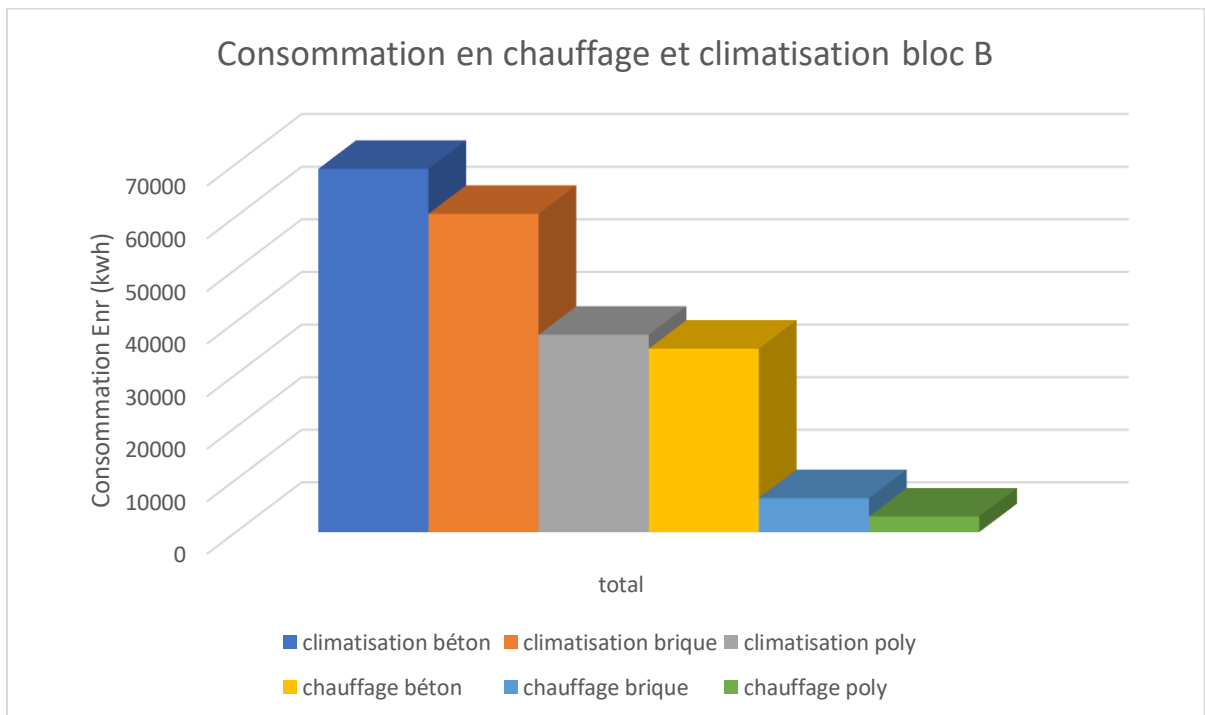


Figure 45: Consommation énergétique annuelle en chauffage et climatisation bloc B

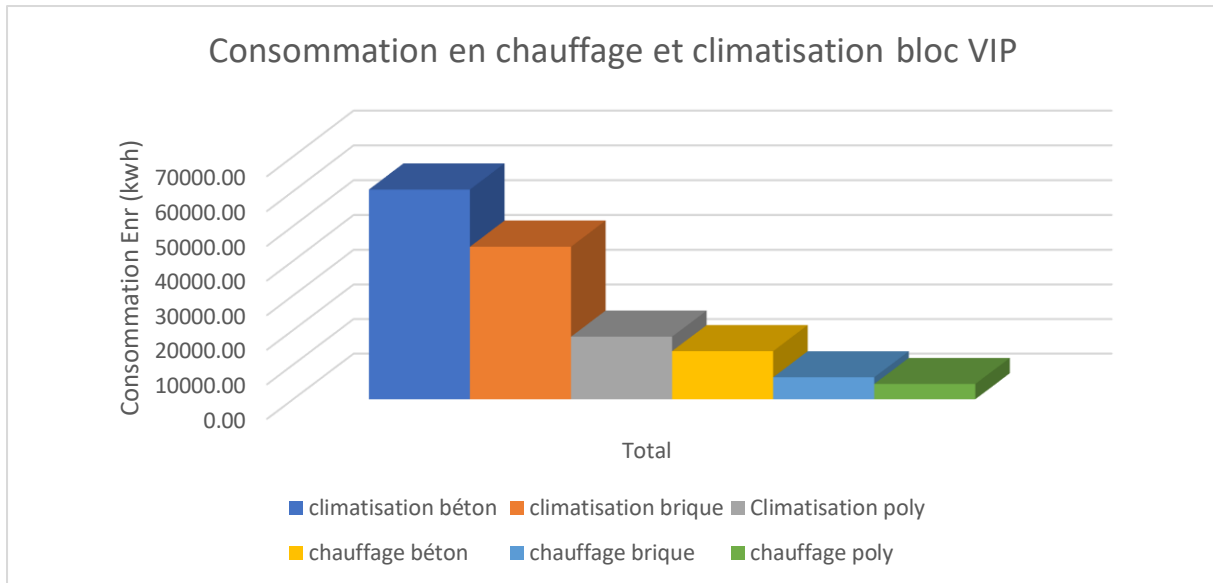


Figure 46: Consommation énergétique annuelle en chauffage et climatisation bloc VIP

3.5 Besoins annuel totaux :

Les figures suivantes mettent en évidence l'ensemble des consommations énergétiques annuelles pour chaque blocs et types de parois que nous avons étudié.

On peut observer que pour chaque type de blocs, ceux réalisé par les PSCP sont les moins consommateurs, et par conséquent les plus efficace, et cela avec une différence moyenne de 40000 KWh, soit plus de 160000 DA d'économie sur la facture énergétique annuelle (en raison de 4.179 DA/kWH HT). Donc soit une réduction de plus de 50% comparé à celle réalisé en béton armé. Et pour ce projet comptant 288 bâtiments, on pourra économiser jusqu'à 47 millions de dinars.

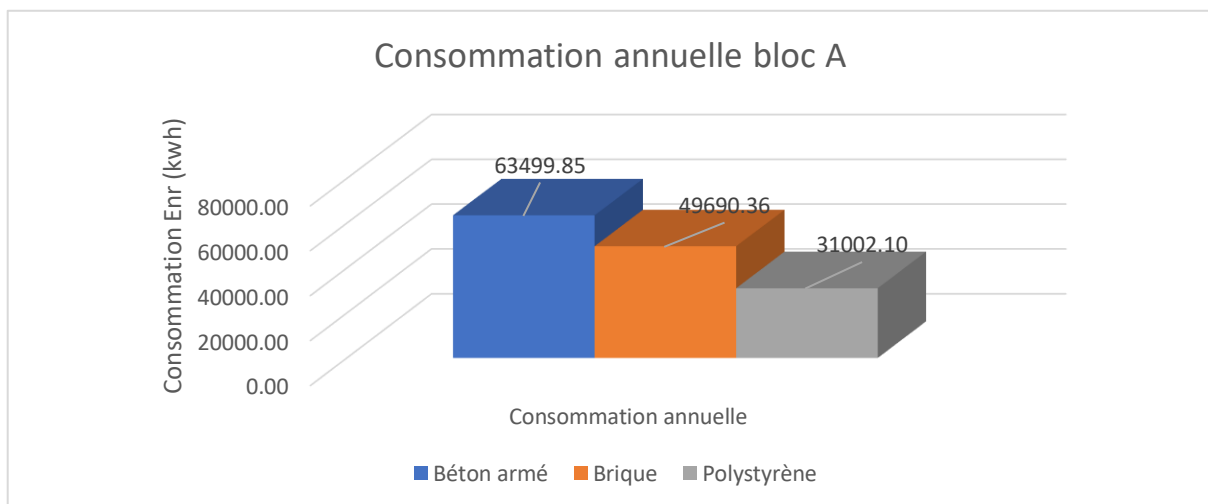


Figure 47: Consommation énergétique annuelle bloc A

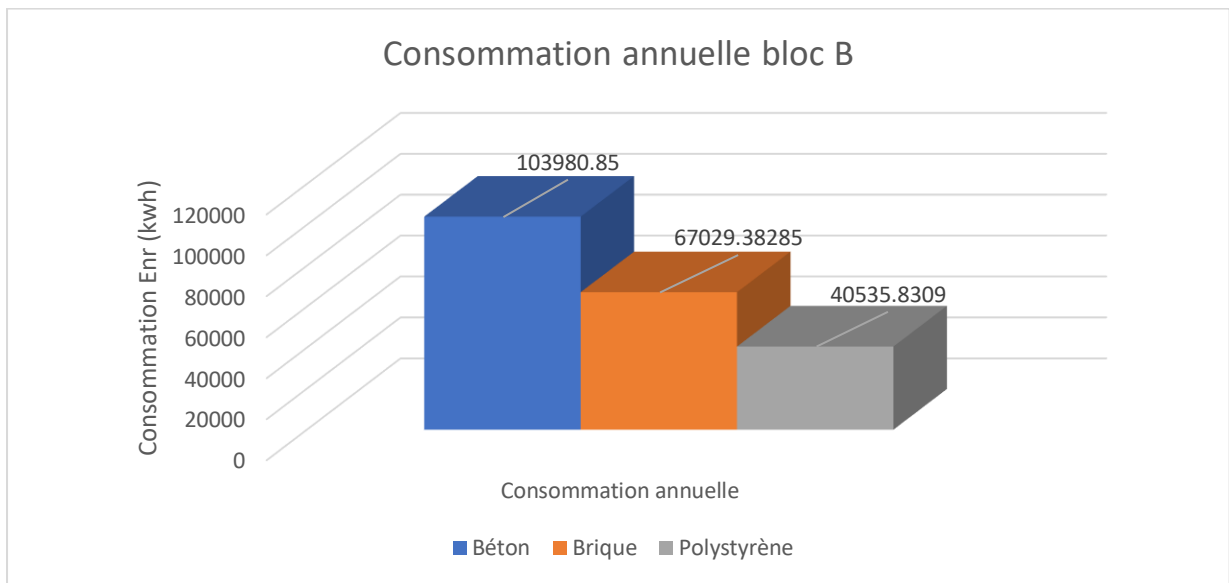


Figure 48: Consommation énergétique annuelle bloc B

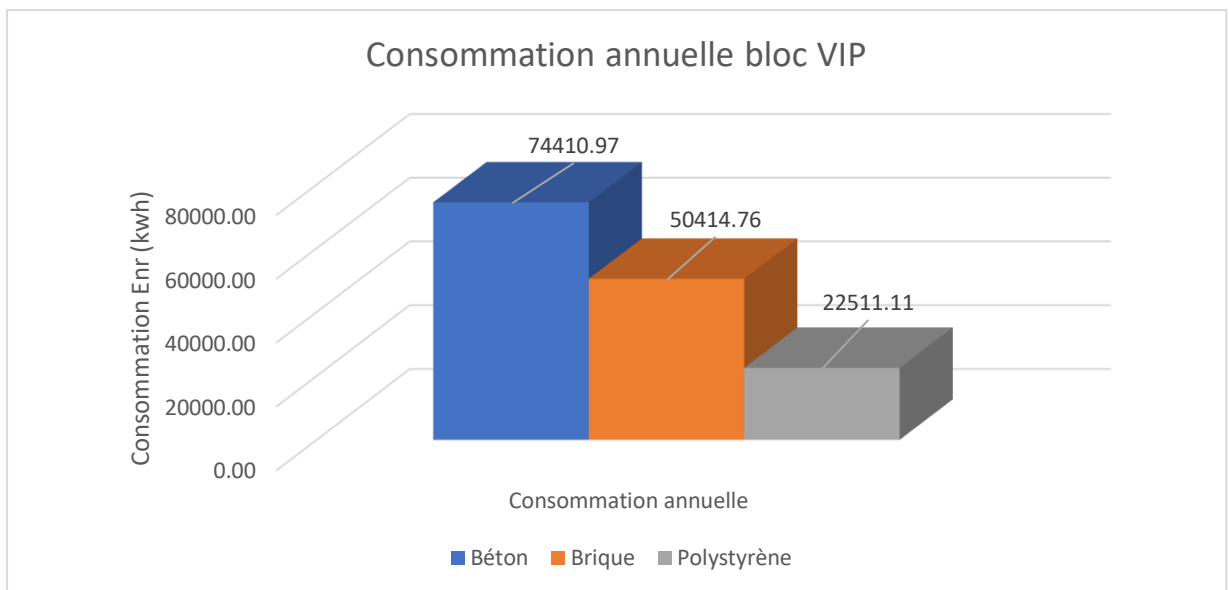


Figure 49: Consommation énergétique annuelle bloc VIP

3.6 Besoins annuels :

La figure ci-dessous représente la consommation énergétique de chaque bloc dans le cas le plus favorable (dans notre cas les blocs réalisés en PSCP), et cette fois en faisant varier un facteur très important, celui des ouvrants. Dans ces graphes nous avons opté pour une

comparaison entre deux types d’ouvrants, ceux en aluminium (double vitrage) ainsi que ceux en PVC (simple vitrage), ce qui nous a apporté à des résultats faisant favoriser les ouvrant en aluminium (avec les caractéristiques suivantes).

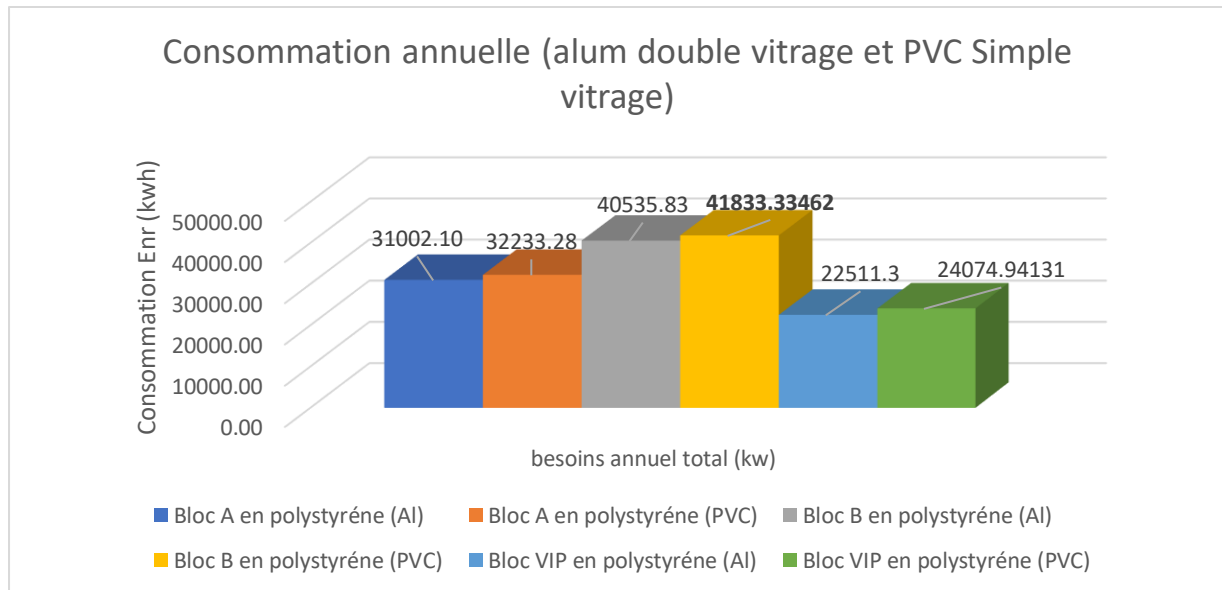


Figure 50: Consommation annuelle par type de vitrage (kwh)

3.7 Consommations annuelles par orientation :

La figures ci-dessous représente la consommation énergétique des divers blocs étudié en PSCP, mais cela en changeant l’orientation à chaque fois, en faisant réorienter à chaque fois chaque façades aux 4 orientations basique (entre autre le nord, sud, est et ouest), et nous nous somme arrivé au résultat favorisant l’orientation sud en première position, puis à l’est comme le graphe suivant le montre. Tandis que pour le bloc VIP, on remarque que les changements ne sont pas de la même importance par rapport aux autres blocs, ce qui revient à sa forme assez spécial ressemblant à un + , ce qui fait que son orientation ne changera rien quant aux parois orienté au sud, vu que toute ses façades se ressemblent l’une à l’autre.

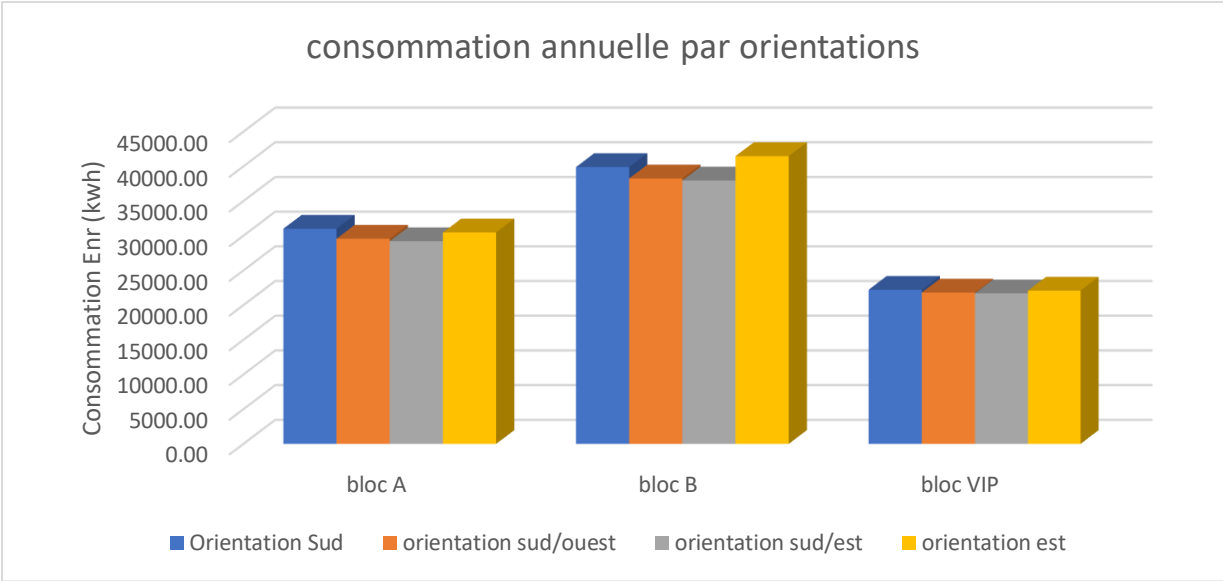


Figure 51 : Consommations annuelles par orientation (kwh)

Conclusion générale :

Notre projet a été basé sur l'étude des performances thermiques de trois différents blocs en cours de réalisations (bloc A, bloc B et bloc VIP) au sud d'Algérie (Hassi Messaoud).

Une étude qui visait à déterminer les différentes consommations annuelles de chauffage et de climatisation du réel projet (réaliser avec des parois en panneaux sandwich en béton préfabriqué), pour ensuite la faire comparer à la facture énergétique des mêmes bâtiments en changeant le type de parois constituants ces derniers (en béton armé et en brique creuse).

Les résultats de la simulation thermique au régime dynamique réalisée avec le logiciel TRNSYS confirme que le système PSCP répond parfaitement à nos attentes, qui étaient de modéliser et réduire au maximum possible les consommations ainsi que la facture énergétique annuelle de ce dernier.

En premier temps, nous avons arrivé à déterminer que les panneaux sandwichs sont plus performants en termes de performances thermique comparé au béton armé et à la brique creuse, arrivant à une différence moyenne dépassant les 40000 KWh en consommation énergétique annuelle comparé au béton armé, soit un rapport de 52% par rapport au béton armé (Bloc A), 61% pour le bloc B et 70% pour le bloc VIP, des chiffres très importants dans le terme d'économie d'énergie, un chiffre qui pourrait être traduit à des centaines de milliers de dinars, entre autre une diminution de plus de 150000 DA, et cela pour un seul blocs de pas moins de 180 m², une réduction énergétique qui ferait bougé la balance à grande échelle.

La simulation nous montrent aussi que la variation de la température de l'air ambiant des blocs en PSCP varient d'une manière presque continue allant de 14° à 18° (semaine la plus froide du 8 au 15 janvier) pour des températures du cas le plus défavorable (le béton armé) avec une variation sinusoïdale croissante comprise entre 8° et 16°. tandis que pour la semaine la plus chaude (du 15 au 22 juillet), la température de l'air ambiant des blocs en PSCP varient aussi d'une manière presque continue allant de 27° à 35°, pour une variation allant de 30° à 45° pour le cas le plus défavorable.

Ensuite, nous avons démontré l'importance de l'orientation des bâtiments, faisant en sorte de changer les directions des diverses façades de chacun des blocs, pour arriver à favoriser l'orientation au sud/est, suivie de l'orientation sud/Ouest, sud, et Est. Avec une différence de presque 2000KWh par rapport au cas le plus défavorable (orientation est).

Puis vient l'apport des ouvrants, portant à croire que les fenêtres en PVC (simple vitrage) sont plus déperditives par rapport à celles en aluminium (double vitrage), avec une légère différence de quelques centaines de kilowatts.

En conclusion, cette étude nous a permis d'obtenir des résultats favorisant le PSCP sur tous les points abordés, son efficacité sur le plan thermique est de loin la plus performante et la mieux appropriée en termes d'efficacité thermique et énergétique.

4 Références Bibliographique :

- [1] [Bertrand CHATEAU & Bruno LAPPILONNE, 1977] : La Prévision à Long Terme De La Demande D'énergie propositions méthodologiques éditions du centre national de la recherche scientifique, Paris 1977 p.90.
- [2] IEA : INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, WORLD ENERGY BALANCES : DATABASE DOCUMENTATION (2020 Edition)
- [3] APRUE : AGENCE NATIONALE POUR LA PROMOTION ET LA RATIONALISATION DE L'ENERGIE (ALGERIE), LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE FINALE Chiffres clés Année 2017 P.3 P.4
- [4] REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE Ministère de l'Energie, Bilan Energétique National 2019 (2020 edition) P.24 P.25
- [5] [APRUE, 2005] « Maitrise d'énergie. Ses principaux acteurs et instruments », La Lettre de l'Aprue, Bulletin trimestriel n° 08 Mai 2005, APRUE, Alger, 11p.
- [6] Sidi Mohamed Karim El Hassar, Madjid Amirat, Kamel Silhadi, Messaoud Souici & Saïd Sakhraoui : Réglementation thermique algérienne des bâtiments, Contribution à la définition de nouveaux coefficients réglementaires
- [7] La lettre de l'APRUE est une publication trimestrielle gratuite - Directeur de la publication : Med. S. Bouzeriba - Chargée de la coordination : M. Harrar - Comité de rédaction : M. Harrar - K. AïtSaïd- A. Laredj - K. Dali - N. Djelouah - F. Soufi - D.E. Bouzera - F. Gherbi - Dépôt légal : 898 2001- ISSN 1112-3419 - Conception : Tifin'Art
- [8] [Yves. Robillard ,2011] Guide vers un bâtiment durable : les équipements et solutions d'efficacité énergétique.
- [9] [Salomon, et al. 2004] La maison des Négawatts : Le guide malin de l'énergie chez soi. Mens : Terre vivante.
- [10] [De Béthencourt, et al, 2013] Efficacité énergétique : un gisement d'économies ; un objectif prioritaire. Paris : Les éditions des journaux officiels.
- [11] [Moncef Krarti, Dominique Marchio, 2016] Guide technique d'audit énergétique, Paris : Presses des MINES, collection Technologies, 2016
- [12] [HESPUL, 2015] [PUBLICATION] Intégrer l'énergie dans les projets d'aménagement – Éditions Le Moniteur
- [13] ECOCONSO. 2009. Les maisons bioclimatiques
- [14] [Claude-Alain Roulet, 2007] Bien être, santé et performance énergétique des bâtiments, January 2007, Conférence : Conseil du Bâtiment durable du Canada, At : Montréal

- [15] WH Ball, « Communication présentée à la réunion générale annuelle, Institut du génie du Canada », publiée à l'origine en septembre (1967).
- [16] Documentation française du bâtiment, « L'isolation thermique par l'extérieur – béton Cellulaire Français », 20, rue Cambon – 75001, Paris.
- [17] [N.Morel et E.Gnansounou . 2008] 'Énergétique du Bâtiment', Cours 4/5ème année, Génie Civil, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL, Septembre 2008.
- [18] [Jürgen Gänßmantel, ABH CONSULT, Ali BEN HMID, Lotfi BEN SLIMANE, Fathi MAKNI,2010] Guide maghrébin des matériaux d'isolation thermique des bâtiments, réseau des entreprises
- [19] La lettre de l'APRUE est une publication trimestrielle gratuite -Conférence nationale sur l'efficacité énergétique dans le collectifités locale.
- [20] HOLLAERT Laurie, Analyse de la rentabilité financière et des avantages liés à l'isolation thermique : étude de cas adaptés au modèle belge, Mémoire de Master, Université libre de Bruxelles 2014.
- [21] Review of precast concrete sandwich panels and their innovations Richard O'Hegarty ↑ , Oliver Kinnane
- [22] Technical Brief : Thermal Efficiency of CarbonCast® Enclosure Systems ,Metromont. Sustainability study, University Commons at Georgia State University, 2009
- [23] 10th CCC Congress LIBEREC 2014 Session T2 : Advanced Structural Systems and Technologies in Buildings, Industrial and Water Construction 1 PRECAST SANDWICH PANEL – INNOVATIVE WAY OF CONSTRUCTION
- [24] School of Architecture, Planning and Environmental Policy, Richview Research, University College Dublin, Ireland : Development of thin precast concrete sandwich panels : Challenges and outcomes
- [25] Department of Architecture, Middle East Technical University, Ankara, Turkey : A Comparative Study of the Thermal Performance of Building Materials
- [26] A. Kemajou et L. Mba, Matériaux de construction et confort thermique en zone chaude Application au cas des régions climatiques camerounaises, Revue des Energies Renouvelables Vol. 14 N°2 (2011) 239 – 248, Camerone.
- [27] document technique réglementaire (D.T.R. C 3-2), réglementation thermique des bâtiments d'habitation
- [28] DERRADJI Lotfi thèse de doctorat soutenue l'an 2015 à l'université Saad DAHLEB BLIDA- « comportement thermique des bâtiments à parois incorporant les matériaux de changement de phase ».