

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

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

N°: Ph/ENR/19/2021



DOMAINE : SCIENCES DE LA MATIERE

FILIERE : PHYSIQUE

OPTION : PHYSIQUE ENERGITIQUE ET
ENERGIES RENOUVELABLES

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Présenté par :

LATERCHI Rahil

LATTRAG Fatima Zahra

Intitulé

Optimisation des performances énergétiques des
bâtiments

Soutenu devant le jury composé de :

Boulechfar Hichem

Université de M'sila

Président

Benmansour Nadia

Université de M'sila

Rapporteur

Tahrour Farouk

Université de M'sila

Examineur

Année universitaire : 2020 /2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

١٤٣٨

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions le Dieu, notre créateur de nous avoir donné les forces, la volonté et le courage afin d'accomplir ce modeste travail. Ce travail du mémoire n'a pu voir le jour sans l'appui et le soutien de nombreuses personnes que nous souhaitons ici vivement remercier :

On tient à remercier et exprimer toute notre reconnaissance et notre respect à notre encadreur madame Nadia BENMANSOUR pour l'aide et l'orientation qu'elle n'a cessé de nous prodiguer aux cours de l'élaboration de cette étude, et pour ses corrections évolutives du travail.

Nous présentons également nos remerciements aux membres du jury Monsieur BOULECHFAR Hichem et Monsieur TAHROUR Farouk qui ont accepté de participer à l'évaluation de notre travail. A toute l'équipe pédagogique qui a participé à notre formation depuis l'école primaire à ce jour, également pour tous ce qui nous ont aidés de près ou de loin lors de l'élaboration de ce travail.

Enfin, ces remerciements ne sauraient être complets si n'y incluons nos familles, pour leur énorme soutien moral et matériel et leurs encouragements pendant toutes ces années.

Un énorme merci à vous tous



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A ma mère Qui a donné sens à ma vie, symbole de tendresse, qui m'a toujours aidé durant tout mon parcours et qui n'a cessé de m'encourager et me soutenir tout au long de mes études

A mon père Qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit, Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

A ma chère sœur et mes frères qui n'ont pas cessé de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

A mon grand-père décédé laissant derrière lui un vide irremplaçable, mais après tout, son image restera toujours gravée dans mon cœur. Que ce travail soit le meilleur cadeau que je puisse t'offrir.

A toute ma famille, ma grand-mère, mes oncles et mes tantes. Que Dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

A tous les cousins, et les amis que j'ai connu jusqu'à maintenant.

Sans oublier mon binôme Fatima Zahra pour son Soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet

LATERCHI Rahil



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À la personne la plus précieuse et la plus précieuse de ma vie ; qui a éclairé mon chemin avec ses conseils et était une mer claire d'abordant d'amour ; qui m'a donné force et d'émersion pour continuer sur le chemin ; Cher sur mon cœur ma mère aimante

À celui dont les mains sont déchirées à cause de mes soins ; À la bougie qui a brûlé pour éclairer le chemin de ma vie ; A celui qui boit une coupe vide pour me donner une goutte d'amour ; A celui qui a récolté les épines de mon chemin, pour m'ouvrir le chemin de la connaissance, à mon cher et patient père

A la vieille femme illettrée qui m'a appris ce que les universités ne m'ont pas appris, ma grand-mère bien-aimée

Pour ma fleur, ma solitude, et le basilic de mon cœur, ma sœur

A mes ailes qui flottent dans mon ciel et me donnent chaleur, lumière et bonheur, mes frères

À mon compagnon et partenaire qui a contribué à faire de ce travail un succès Rahil

À tous mes amis et à ceux qui m'ont soutenu et se sont tenus à mes côtés dans l'adversité

LATTRAG Fatima Zahra

Table des matières

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	11
CHAPITRE I : PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS.....	14
I.1. CONSOMMATION D'ÉNERGIE DANS LE SECTEUR DU BÂTIMENT	15
I.1.1. Contexte énergétique mondial.....	15
I.1.2. Contexte énergétique en Algérie.....	16
I.2. ÉNERGÉTIQUE DU BÂTIMENT.....	17
I.2.1. Bâtiment est un gros consommateur d'énergie.....	17
I.2.2. Applications de l'énergie du bâtiment.....	17
I.3. PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS.....	17
I.3.1. Efficacité énergétique dans les bâtiments.....	18
I.3.2. Démarche d'amélioration de l'efficacité énergétique.....	18
I.3.3. Efficacité énergétique « passive ».....	19
I.3.4. Efficacité énergétique « active ».....	19
I.3.5. Étapes d'amélioration de l'efficacité énergétique.....	19
I.3.6. Leviers de l'efficacité énergétique pour les bâtiments.....	20
I.4. CONFORT THERMIQUE.....	21
I.4.1. FACTEURS AYANT UNE INCIDENCE SUR LE CONFORT THERMIQUE.....	21
I.5. BÂTIMENT DEVRAIT ÊTRE CONFORTABLE	22
I.6. CONCLUSION.....	22
CHAPITRE II : L'ENVELOPPE DU BÂTIMENT ET L'ISOLATION THERMIQUE.....	24
II.1. ENVELOPPE DU BÂTIMENT.....	25
II.1.1. Défis de l'enveloppe thermique.....	25
II.1.2.1. Déperditions thermiques.....	26
II.1.2.2. Ponts thermiques.....	26
II.2. AMÉLIORATION DU CONFORT THERMIQUE.....	27
II.2.1. Ventilation de la maison.....	27
II.2.2. Régulation de chauffage.....	27
II.2.3. Isolation thermique.....	28
II.2.3.1. Comparaison entre une construction bien isolée et non isolée.....	28
II.3. MATÉRIAUX D'ISOLATION THERMIQUE.....	29
II.3.1.1. Sélection de matériau en fonction des caractéristiques thermiques.....	29
II.3.2. Caractéristiques thermiques.....	29
II.3.3. Types matériaux d'isolation.....	30
II.3.3.1. Isolants traditionnels.....	30
II.3.3.2. Nouveaux isolants.....	34
II.4. AMÉLIORATION THERMIQUE DES FAÇADES.....	35
II.4.1. L'isolation des murs par l'extérieur.....	35
II.4.2. Isolation des murs par l'intérieur.....	36
II.4.3. Isolation des murs dans leur épaisseur.....	37
II.4.4. Isolation des toitures.....	38
II.4.4.1. Isolation des charpentes.....	38
II.4.4.3. Isolation sur éanchâté « toiture inversée ».....	38
II.4.4.4. Isolation sous éanchâté.....	39
II.4.5. Isolation des planchers.....	39
II.5. CONCLUSION.....	39
CHAPITRE III : SIMULATION ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS.....	40
III.1. SIMULATION ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS.....	41
III.1.1. Modélisation et/ou simulation.....	41
III.1.2. Principe de simulation énergétique.....	41
III.1.3. Simulation dans les premières étapes de conception.....	42
III.1.4. Atouts de la simulation énergétique.....	43
III.1.5. Processus de simulation énergétique.....	43
III.1.6. Sous-systèmes de la simulation énergétique.....	44
III.1.6.1. Processus météorologiques.....	44
III.1.6.2. Processus bâtiment (type de bâtiment).....	44
III.1.6.3. Processus système climatisation, ventilation et chauffage.....	44
III.1.6.4. Processus éclairage.....	44
III.1.6.5. Processus équipements électriques.....	45

III.1.7.Outils de simulation énergétique	45
III.1.7.1. Outils de simulation dynamique.....	45
III.1.7.2. Outils simplifiés	47
III.2. SIMULATION DES BÂTIMENTS AVEC TRNSYS.....	47
III.2.1.Description du logiciel TRNSYS	47
III.2.2. Environnement TRNSYS	48
III.2.2.1.TRNSYS Simulation Studio.....	48
III.2.2.2.TRNBUILD.....	49
III.2.3. Utilisation du logiciel TRNSYS.....	50
III.2.4.Outils de TRNSYS	51
III.2.5.Avantages du logiciel TRNSYS	52
III.2.6.Inconvénients du logiciel TRNSYS.....	52
III.3.CONCLUSION	52
CHAPITRE IV : SIMULATION, RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	55
IV.1.ETUDE D'UN MODÈLE VIRTUEL À BÉCHAR	56
IV.2. LES ÉTAPES DE SIMULATION.....	57
IV.3.RESULTATS ET DISCUSSION	65
IV.3.1. La variation de la température	65
IV.3.2. L'effet de l'isolation thermique sur la température intérieure.....	70
IV.3.3. L'effet de l'isolation thermique sur la consommation énergétique (cas de chauffage).....	73
IV.4. CONCLUSION.....	75
CONCLUSION GÉNÉRALE	77
ملخص.....	80
RÉSUMÉ.....	80
ABSTRACT.....	80

Liste des figures

CHAPITRE I : PERFORMANCE ENERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS.....	14
FIGURE I.1 : CONSOMMATION MONDIALE TOTALE PAR SECTEUR 2014.....	15
FIGURE I.2: CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE GLOBALE PAR SECTEUR.....	16
FIGURE I.3 : CONSOMMATION FINAL PAR SECTEUR D'ACTIVITÉ EN 2005.....	16
FIGURE I.4: LA DÉMARCHE D'AMÉLIORATION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE [1].....	19
FIGURE I.5 : LES LEVIERS DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE[5].....	20
FIGURE I.6: EVOLUTION DES TEMPÉRATURES DANS DES BÂTIMENTS AU COURS DE L'ANNÉE, SANS EFFET DES INSTALLATIONS TECHNIQUES DE CHAUFFAGE OU CLIMATISATION.....	22
CHAPITRE II : L'ENVELOPPE THERMIQUE ET L'ISOLATION.....	24
FIGURE. II.1 : ENVELOPPE DE BÂTIMENT SIMPLE[13].....	25
FIGURE. II.2 : RÉPARTITION EN % DES DÉPERDITIONS POUR UNE MAISON ET UN IMMEUBLE[15].....	26
FIGURE. II.3: PONT THERMIQUE D'UN PLANCHER[15].....	27
FIGURE. II. 4: LES EFFETS DES PONTS THERMIQUES [16].....	27
FIGURE. II.5: COMPARAISON ENTRE UNE CONSTRUCTION BIEN ISOLÉ ET NON ISOLÉ[21, 22].....	29
FIGURE. II.6: LE LIÈGE[26].....	31
FIGURE. II.7: LES FIBRES DE BOIS[26].....	31
FIGURE. II.8: PLUMES DE CANARD[27].....	32
FIGURE. II.9 : PANNEAU SOUPLE DE LAINE DE MOUTON[24].....	32
FIGURE. II.10: PANNEAUX XPS.....	33
FIGURE. II.11 : LE VERRE CELLULAIRE[16].....	33
FIGURE. II.12: LA LAINE DE VERRE[16].....	34
FIGURE. II.13: LES AÉROGELS[16].....	34
FIGURE. II.14: LES PANNEAUX ISOLANTS SOUS VIDE [16].....	35
FIGURE. II.15 : L'ISOLATION PAR L'EXTÉRIEUR[24].....	36
FIGURE. II.16 : APPLICATION D'UNE ISOLATION INTÉRIEURE[24].....	37
FIGURE. II.17: LA BRIQUE ALVÉOLÉE EN TERRE CUITE (À GAUCHE) ET LE BÉTON CELLULAIRE À (DROITE).....	38
CHAPITRE III : SIMULATION ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS.....	40
FIGURE III.1: SCHÉMATISATION DU FLUX DES DONNÉES DANS UN OUTIL DE SIMULATION ÉNERGÉTIQUE[33].....	42
FIGURE III.2: PRINCIPE DE TRIAS ÉNERGÉTIQUE TIRÉE DE SYNEFFA, 2008[33].....	43
FIGURE.III.3: HISTORIQUE DES ENVIRONNEMENTS DE SIMULATION ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS[35].....	46
FIGURE III.4: INTERFACE DU LOGICIEL TRNYS[38].....	48
FIGURE III.5: ESPACE DE TRAVAIL DE TRNSYS[38].....	49
FIGURE III.6: INTERFACE DU LOGICIEL TRNBUILD[38].....	50
FIGURE III.7: FICHIERS NÉCESSAIRES AU LANCEMENT DE LA SIMULATION ([37].....	51
CHAPITRE IV : SIMULATION, RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	55
FIGURE IV.1: LA FENÊTRE PRINCIPALE D'OÙ IL Y'A LE MENU PRINCIPAL ET LES COMMANDES PRINCIPAUX DU PRÉSENT LOGICIEL.....	57
FIGURE IV.2 : FENÊTRE POUR LA CRÉATION D'UN NOUVEAU PROJET MULTIZONE SOUS TRNSYS.....	57
FIGURE IV.3: REPRÉSENTATION DES ZONES.....	58
FIGURE IV.4: DIMENSIONNEMENT DES ZONES (SUITE).....	58
FIGURE IV.5: ORIENTATION ET LOCALISATION DES ZONES.....	59
FIGURE IV.6: FENÊTRE INFILTRATION ET VENTILATION ET CLIMATISATION.....	60
FIGURE IV.7: FENÊTRE ; GAINS ET ÉCLAIRAGE.....	60
FIGURE IV.8: FENÊTRE DE L'ACHÈVEMENT DE CRÉATION DU PROJET.....	61
FIGURE IV.9 : REPRÉSENTATION VISUEL DU PROJET.....	61
FIGURE IV.10: FENÊTRE POUR TRNBUILD.....	62
FIGURE IV.11: FENÊTRE POUR TRNBUILD (ACTIVER LE CHAUFFAGE).....	62
FIGURE IV.12: FENÊTRE POUR TRNBUILD (ACTIVER LA CLIMATISATION).....	63
FIGURE IV.13: FENÊTRE POUR NOUVEAU TYPE DE CALQUE.....	63
FIGURE IV.14: FENÊTRE GESTIONNAIRE DE TYPE DE MUR.....	64
FIGURE IV.15: LA VARIATION ANNUELLE DE LA TEMPÉRATURE (DE JANVIER À DÉCEMBRE) DANS LA ZONE ÉTUDIÉE (SANS CHAUFFAGE ET CLIMATISATION).....	66
FIGURE IV.16 : VARIATION DE LA TEMPÉRATURE INTÉRIEURE PENDANT UN MOIS DE JANVIER.....	67
FIGURE IV.17 : VARIATION DE LA TEMPÉRATURE INTÉRIEURE POUR LES MOIS DE JANVIER À MAI.....	67
FIGURE IV.18 : VARIATION DE LA TEMPÉRATURE INTÉRIEURE PENDANT LES MOIS « JUIN, JUILLET, AOUT ».....	68
FIGURE IV.19 : VARIATION DE LA TEMPÉRATURE INTÉRIEURE PENDANT LES MOIS DE SEPTEMBRE À DÉCEMBRE.....	69

FIGURE IV.20: LA VARIATION ANNUELLE DE LA TEMPÉRATURE DANS LA ZONE ÉTUDIÉE (AVEC CHAUFFAGE ET CLIMATISATION)	70
.....
FIGURE IV.21: VARIATION DE LA TEMPÉRATURE DE LA ZONE ÉTUDIÉE POUR UN MOIS DE JANVIER (AVEC L' ISOLANT MFPD)..	71
FIGURE IV.22 : VARIATION DE LA TEMPÉRATURE DE LA ZONE ÉTUDIÉE POUR UN MOIS DE JANVIER (AVEC L' ISOLANT BDV).....	72
FIGURE IV.23 : CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ANNUELLE (AVEC ISOLANT (MFPD) ET SANS ISOLANT)	73
FIGURE IV.24 : CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE (AVEC ET SANS ISOLATION) POUR LE MOIS DE JANVIER.....	74

Liste des tableaux

CHAPITRE II : L'ENVELOPPE THERMIQUE ET L'ISOLATION.....	24
TABLEAU. II.1 : AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE L'ISOLATION PAR L'EXTÉRIEUR[31].	36
TABLEAU. II.2: AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE L'ISOLATION PAR L'INTÉRIEUR[31].	37
CHAPITRE IV : SIMULATION, RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	55
TABLEAU IV.1: PROPRIÉTÉS THERMIQUES DES MATÉRIAUX ÉTUDIÉS [1].	56
TABLEAU IV.2 :LOCAUX DISPONIBLES DANS LE LOGICIEL METEONORME (BASE DES DONNÉS MÉTÉOROLOGIQUES MONDIALE),ALGÉRIE	64
TABLEAU IV.3 : LE TEMPS ; DE JANVIER À FÉVRIER ; AVEC TRNSYS.....	65
TABLEAU IV.4 : DIFFÉRENCE LES VALEURS DE CONSOMMATION D'ÉNERGIE ENTRE SANS D'ISOLANT ET AVEC D'ISOLANT	75

Introduction g é n é r a l e

Introduction

L'efficacité énergétique est rapidement devenue l'un des grands enjeux de notre époque et les bâtiments en sont une des composantes majeures. Ils consomment plus d'énergie que tout autre secteur et contribuent donc dans une large mesure au changement climatique ». Il est donc naturel que les gouvernements et les acteurs puissent trouver des solutions pour améliorer la performance et l'efficacité énergétique des bâtiments pour répondre en partie aux enjeux énergétiques actuels (économie des ressources, réduction des gaz à effets de serre, utilisation d'énergies renouvelables, etc.). La notion de performance énergétique vise le confort thermique avec une exploitation annuelle optimisée des énergies consommées.

Les bâtiments consomment plus d'énergies que tout autre secteur sans mesure immédiate des milliers de nouveaux bâtiments qui seront construits sans aucune considération pour l'efficacité énergétique, agir maintenant implique la réduction de la consommation de l'énergie et faire réel progrès dans la lutte contre la dégradation de l'environnement et le changement du climat liée à l'accroissement des gaz à effets de serre.

L'amélioration de l'efficacité énergétique touche tous les secteurs de l'industrie, de la construction et des transports. Dans notre cas, nous serons intéressés dans le résidentiel secteur, qui constitue un gisement considérable en matière d'efficacité énergétique.

Pour agir sur l'énergétique d'un bâtiment il faut améliorer, les propriétés techniques intrinsèques du bâtiment (enveloppe et installation). L'enveloppe d'un bâtiment représente l'élément protecteur de l'espace intérieur des impacts néfastes de l'extérieur. Par sa forme, son épaisseur, sa nature et sa couleur, elle participe à la régularisation du climat intérieur et à l'optimisation énergétique que l'enveloppe d'un bâtiment avait un impact très important sur ce confort puisque les besoins en chauffage et climatisation sont évalués selon les déperditions ou apports par saisons.

La meilleure façon de rendre une enveloppe performante est d'empêcher les conditions extérieures d'influencer l'intérieur en l'isolant le mieux et l'isolation thermique est l'un des points clés pour agir sur d'atteindre l'objectif de réduire la consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment. Pour cela l'isolation se trouve au cœur des bouquets de solutions retenues pour réaliser les futures économies d'énergie [1]. Cela fait intervenir plusieurs matériaux ayant des caractéristiques thermiques intéressantes.

Pour répondre aux exigences en termes de performances énergétiques d'un bâtiment, et en raison du coût et l'expérimentation du temps, la simulation est une efficace méthode pour déterminer et étudier le comportement thermique des bâtiments en régime variable. La simulation thermique dynamique permet la construction de « vivre virtuellement » pour une longue période de temps, et le logiciel TRNSYS a été choisi pour la simulation en raison des nombreux avantages qu'elle offre [1].

Ce travail est scindé en 3 chapitres qui se présentent comme suit :

Le premier chapitre présente une vue générale sur les performances énergétiques et l'efficacité énergétique. Il expose les démarches et les étapes d'amélioration de l'efficacité énergétique, en passant par le confort thermique dans les bâtiments et les facteurs qui l'affectent.

Le deuxième chapitre présente une généralité sur l'enveloppe thermique et l'isolation et de son intérêt grandissant dans la conception des habitations et bâtiments.

Dans le troisième chapitre, nous présentons la simulation énergétique des bâtiments et les outils de simulation et leurs rôles dans l'amélioration des performances énergétiques par la conception des alternatives plus adaptées au projet étudié et présente l'environnement de simulation avec le logiciel TRANSYS.

Le quatrième chapitre est consacré à l'étude d'un modèle virtuel à Béchar à l'aide du logiciel TRNSYS, c'est un modèle simple virtuel choisis pour étudier l'effet de chacun de chauffage, climatisation, et l'isolation thermique sur la variation de la température de l'air à l'intérieur d'une chambre, ainsi que la consommation d'énergie dans cette zone.

Finalement, une conclusion générale synthétise les résultats de cette recherche.

Chapitre I : Performance énergétique des bâtiments

Ce chapitre présente une vue générale sur les performances énergétiques et l'efficacité énergétique en expliquant la corrélation entre les deux. On commence par un contexte de la consommation d'énergie, spécialement dans le secteur du bâtiment. On va présenter aussi les différentes démarches et étapes suivies pour améliorer l'efficacité énergétique. La partie finale est dédiée à la conception du confort thermique dans les bâtiments.

I.1. Consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment

I.1.1. Contexte énergétique mondial

Toutes les activités humaines, et notamment celles qui concourent au développement économique et social, font appel à l'énergie, sauf que, la consommation mondiale d'énergie est restée très longtemps stable lorsque l'homme n'utilisait l'énergie que pour sa survie et ses besoins alimentaires. Néanmoins à partir de 1850, la révolution industrielle a provoqué une augmentation brutale des besoins en énergie [2].

Comme le montre la Figure(I.1) : la consommation énergétique du secteur se répartit comme suit

- Bâtiment résidentiel, tertiaire : 44 %.
- Transports : 32%.
- Industrie : 21%.
- Agriculture : 3%.

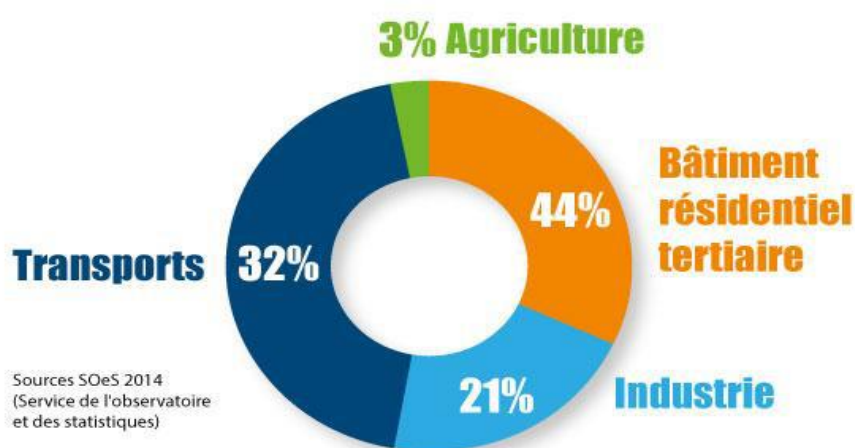


Figure I.1 : Consommation mondiale totale par secteur 2014.

Suivant le rapport de la situation mondiale de 2017, le secteur mondial des bâtiments a consommé près de 30% de la consommation totale d'énergie finale, qui comprend la consommation d'énergie pour le chauffage et le refroidissement des locaux, le chauffage de l'eau, l'éclairage, la cuisson, les appareils ménagers et autres charges. La construction de bâtiments représentait une augmentation de 6% de l'utilisation énergétique finale mondiale estimée (voir figure I.2). Compte tenu de la production d'électricité en amont, les bâtiments représentaient 28% des émissions mondiales de CO₂ liées à l'énergie, les émissions

directes dans les bâtiments provenant de la combustion de combustibles fossiles représentant environ un tiers du total[3].

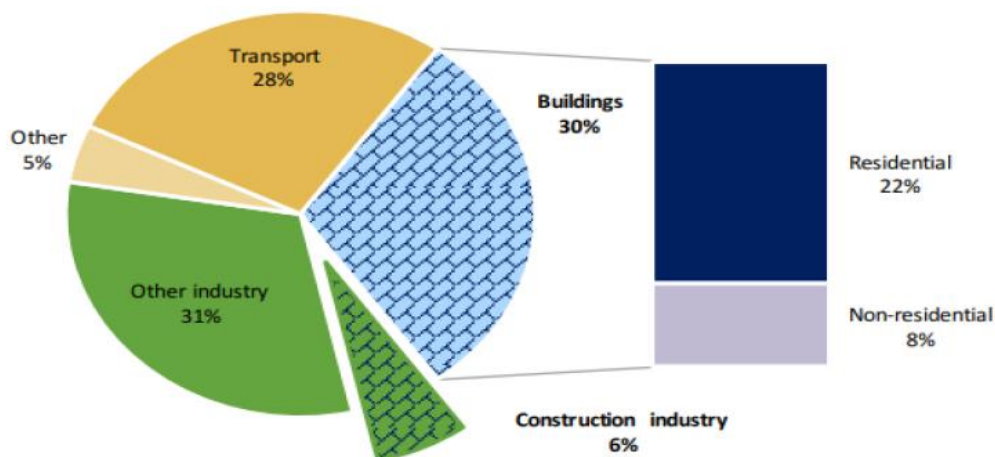


Figure I.2 : Consommation d'énergie finale globale par secteur.

I.1.2. Contexte énergétique en Algérie

La consommation énergétique en Algérie a fortement augmenté ces dernières années et cela est due principalement à l'augmentation du niveau de vie de la population et au développement socio-économique des ménages. L'augmentation du niveau de vie, dus aux besoins de confort toujours grandissant des populations, tels que les climatisations, se développent et masquent les effets de diminution du chauffage.

La surconsommation de l'énergie fossile accentuant les émissions atmosphériques de gaz à effet de serre (GES) mais également le fait que le bâtiment soit le premier poste de consommation de l'énergie.

Le secteur du bâtiment est celui qui consomme le plus en terme de consommation énergétique finale par rapport aux autres secteurs (Figure I.3), cette consommation a triplé durant les trois dernières décennies et il est prévu sa multiplication par le même facteur d'ici les horizons 2025.

Donc, l'investissement la plus important doit être à la conception architecturale performante du bâtiment qui est inscrit harmonieusement dans son environnement (site, climat, matériaux,...)[4]

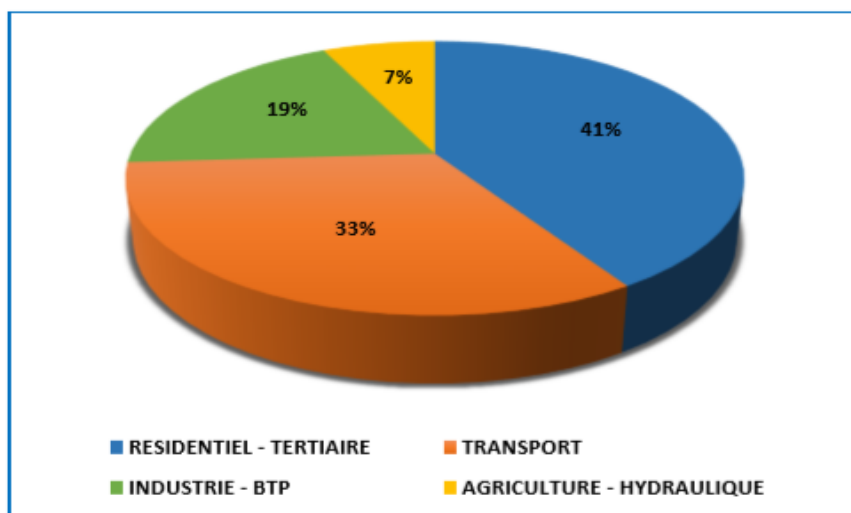


Figure I.3 : Consommation final par secteur d'activité en 2005.

Le directeur général de l'APRUE (en 2017) a relevé l'importance de l'efficacité énergétique, qui constitue, selon lui, « l'un des grands enjeux économiques du pays ». Il a, à ce sujet, fait savoir que le bâtiment est l'un des secteurs dont la consommation d'énergie a un impact significatif sur la consommation globale d'énergie du pays (42% de la consommation globale). De ce fait, l'amélioration de l'efficacité énergétique dans ce secteur en pleine expansion constitue un axe prioritaire [5].

I.2. Énergétique du bâtiment

I.2.1. Bâtiment est un gros consommateur d'énergie

Le secteur des bâtiments est un grand consommateur énergivore et en tant que tel une source majeure de pollution. Cette énergie est l'objet de nombreux usages, notamment :

- Le chauffage et/ou le refroidissement, pour assurer un climat intérieur confortable.
- La circulation de fluides tels que l'air (ventilation), l'eau (eau chaude, chauffage).
- Les transports (ascenseurs).
- L'éclairage.
- Les communications (téléphone, radio, télévision).
- La production de biens (fabriques, cuisines, couture, etc.).

Dans les climats tempérés et froids, il nécessite une augmentation de la température intérieure des bâtiments est nécessaire pour le chauffage. D'autre part, dans les climats plus chauds, il nécessite une réduction de la température intérieure des bâtiments pour refroidir et sécher l'air [6].

I.2.2. Applications de l'énergétique du bâtiment

Pour limiter la consommation d'énergie à des valeurs raisonnables, il est nécessaire de savoir où agir. Il faut donc pouvoir prédire les flux d'énergie dans le bâtiment, afin d'offrir un confort élevé les mesures d'économie d'énergie doivent être plus efficaces.

La connaissance des flux d'énergie au travers d'un bâtiment est nécessaire à la prise de décisions ou à la planification de travaux, notamment pour les tâches suivantes :

- Tous les critères nécessaires doivent être pris en compte dans le choix des stratégies lors de la rénovation ou de la construction des bâtiments, parmi lesquels figurent non seulement le coût, l'esthétique ou l'habitabilité, mais aussi la consommation d'énergie.
- Dimensionner correctement les installations énergétiques, en calculant la puissance de pointe minimum nécessaire
- Diminuer la consommation d'énergie primaire en les faisant passer aux bons endroits et capturer de manière la chaleur de l'environnement (énergie solaire, pompes à chaleur). [6]

I.3. Performance Énergétique des bâtiments

La performance énergétique d'un bâtiment est une donnée généralement corrélée à celle d'efficacité énergétique. Si cette dernière désigne le rapport entre l'énergie absorbée par le bâtiment et l'énergie

consommée à l'intérieur de celui-ci, la performance énergétique sert de point de repère pour connaître la dépense énergétique du bâtiment sur l'année [7].

La notion de performance énergétique des bâtiments est couramment mobilisée dans les sujets relatifs à la transition écologique et énergétique, ou encore dans les secteurs du bâtiment et du logement. Elle permet de formuler des objectifs de réduction des consommations d'énergie et donc d'améliorer l'efficacité énergétique d'un bâtiment. L'optimisation de la performance énergétique est donc un des enjeux majeurs du changement climatique et revient à agir sur l'amélioration de la consommation en énergie sur l'année tout en garantissant un certain niveau de confort thermique. C'est la raison pour laquelle la notion de performance énergétique est liée à celle d'efficacité énergétique. Les deux sont interdépendantes.

I.3.1. Efficacité énergétique dans les bâtiments

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.
- C'est de réduire à la source la quantité d'énergie nécessaire pour un même service, mieux utilisée l'énergie à qualité de vie constante.
- L'augmentation de l'efficacité énergétique permet ainsi de réduire les consommations d'énergie, à service rendu égal.

De ces définitions se dégage un point commun ; l'efficacité énergétique d'un système est le rapport énergétique entre la quantité d'énergie délivrée et la quantité d'énergie absorbée. Moins de perte il y a et meilleure efficacité énergétique, 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. [7]

I.3.2. Démarche d'amélioration de l'efficacité énergétique

En matière d'efficacité énergétique, il faut jouer principalement sur deux leviers :

- Diminuer les besoins qui sont relatifs au bâti proprement dit.
- 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.[8]

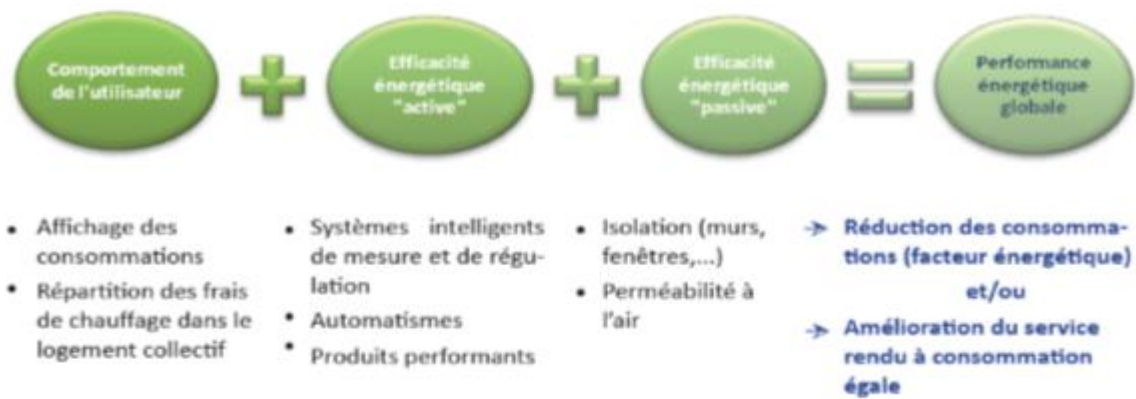


Figure I.4: La démarche d'amélioration de l'efficacité énergétique [8]

I.3.3. 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.

I.3.4. Efficacité énergétique « active »

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.
- Réaliser les deux simultanément.

I.3.5. Étapes d'amélioration de l'efficacité énergétique

L'approche conceptuelle d'amélioration de l'efficacité énergétique est identique pour les secteurs résidentiel et tertiaire. En revanche la mise en pratique sur le terrain sera différente en raison des divergences liées aux:[9]

- Aspects techniques.
- Matériels à mettre en œuvre.
- Coûts d'exploitation et de maintenance.
- Méthodes de financement.
- Temps de retour sur investissement.

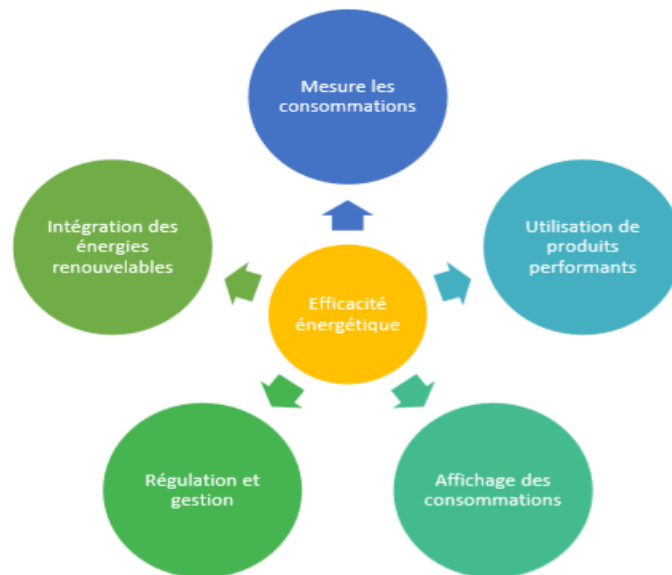


Figure I.5 : Les leviers de l'efficacité énergétique[4].

I.3.6. Leviers de l'efficacité énergétique pour les bâtiments

➤ **Utilisation de produits performants**

Pour réduire les consommations d'énergie, il est indispensable de choisir des équipements possédant le meilleur rendement énergétique possible, c'est-à-dire le meilleur rapport entre l'énergie consommée et le service rendu.

➤ **Intégration des énergies renouvelables**

Le recours aux énergies renouvelables dans une démarche d'amélioration énergétique permet d'obtenir une partie de l'énergie nécessaire au bâtiment (électricité, chauffage, eau chaude sanitaire) de façon renouvelable et donc de diminuer voire supprimer l'apport d'énergie extérieur. Par exemple, l'installation de panneaux solaires photovoltaïques permet de produire de quoi alimenter une entreprise, sans frais d'exploitation. Les énergies renouvelables sont donc un rôle prépondérant afin d'assurer une politique énergétique durable.

➤ **Mesure des consommations**

La gestion de l'énergie d'un bâtiment consiste en premier lieu à compter/mesurer les consommations. Pour contrôler et optimiser le fonctionnement des systèmes des indicateurs permettront de savoir si les objectifs d'amélioration de la performance énergétique ont été atteints ou non. Par exemple, concernant l'énergie électrique, le recueil des informations pourra se faire via des compteurs divisionnaires permanents permettant de fournir la répartition des consommations par poste (chauffage, eau chaude sanitaire, ventilation ...), le comptage ou la mesure des consommations permet la réalisation du bilan énergétique, la prise de conscience par l'utilisateur.

➤ **Affichage des consommations**

Après avoir collecté et traité les informations mesurées par les différents systèmes de mesure, il est important de les afficher en temps réel dans les lieux de vie (via des écrans muraux, etc.).

Un afficheur permet une visualisation pour les différents usages de la consommation ou des coûts instantanés, horaires, journaliers, ou mensuels, l'historique des consommations voire les économies réalisées. Le simple fait de mesurer et d'afficher les consommations d'énergie permet de sensibiliser les usagers sur leur empreinte écologique et d'un suivi dans le temps de la performance énergétique.

➤ **Systèmes intelligents de Régulation et Gestion**

La régulation est gérée par des automates qui sont plus au moins complexes selon les exigences du cahier des charges initial et selon le type de bâtiment : habitat individuel, collectif ou tertiaire, la mise en place de systèmes intelligents de régulation et de gestion, est un excellent moyen d'améliorer la performance.

Energétique. Par exemple, les systèmes de gestion technique du bâtiment (GTB) permettent de centraliser les informations des équipements électriques, de climatisation, de chauffages afin de les optimiser, les sécuriser et contrôler l'énergie consommée.

Ces systèmes s'installent sur des sites neufs, mais également sur des sites existants.

Ils permettent ainsi de :

- Consommer ce qui est nécessaire pour maintenir ou améliorer la qualité de vie dans le bâtiment (notion de confort) tout en contribuant à économiser l'énergie.
- Fournir un outil de pilotage de l'installation à l'utilisateur.
- Aider à modifier le comportement humain afin d'adopter de bon réflexe (comme par exemple éteindre le chauffage lorsqu'une fenêtre est ouverte).[10]

I.4. Confort thermique

Défini par la norme internationale ISO 7730 considération étant la satisfaction exprimée en relation avec l'ambiance thermique. Il est tout ce qui contribue à la création d'une ambiance thermique rassurant le bien-être, et c'est exprimé par une sensation agréable procurée par la satisfaction de besoins physiologiques (l'assurance d'un bilan équilibré entre les échanges thermiques du corps humain et de l'ambiance environnante).

Le confort thermique concerne principalement la température intérieure des pièces, sa répartition harmonieuse dans l'espace et la qualité de l'air ambiant.[11]

I.4.1. Facteurs ayant une incidence sur le confort thermique

• **Température de l'air**

Une température idéale de chaque espace dépend de l'activité qu'on y pratique, du moment de la journée et des préférences de chacun. L'idéal est d'éviter les grands écarts de température dans le temps entre le jour et la nuit ou entre les saisons.

• **Humidité de l'air**

L'humidité relative de l'air influence aussi la sensation de confort thermique. Idéalement, vous devez être entre 30 % et 70 % en hiver.

En été, il est préférable que l'air soit sec pour favoriser la transpiration du corps.

- **Courants d'air**

Courant d'air ou courants d'air sont des phénomènes de mouvements naturel d'air, sont très pénibles en hiver, car ils facilitent les échanges thermiques entre le corps et l'air, Le courant d'air provoque une sensation d'inconfort surtout en période d'hiver car le jet d'air froid incommode. Très agréables en été. Puisqu'ils favorisent la transpiration, le courant d'air crée par un climatiseur peut être ressenti comme une recherche de confort[4].

I.5. Bâtiment devrait être confortable

Si un bâtiment est bien conçu et construit, il peut fournir un confort nettement supérieur (courbe de la Figure I.6). Un tel bâtiment ne surchauffe pas ou peu en été et profite des gains solaires pendant les périodes froides.

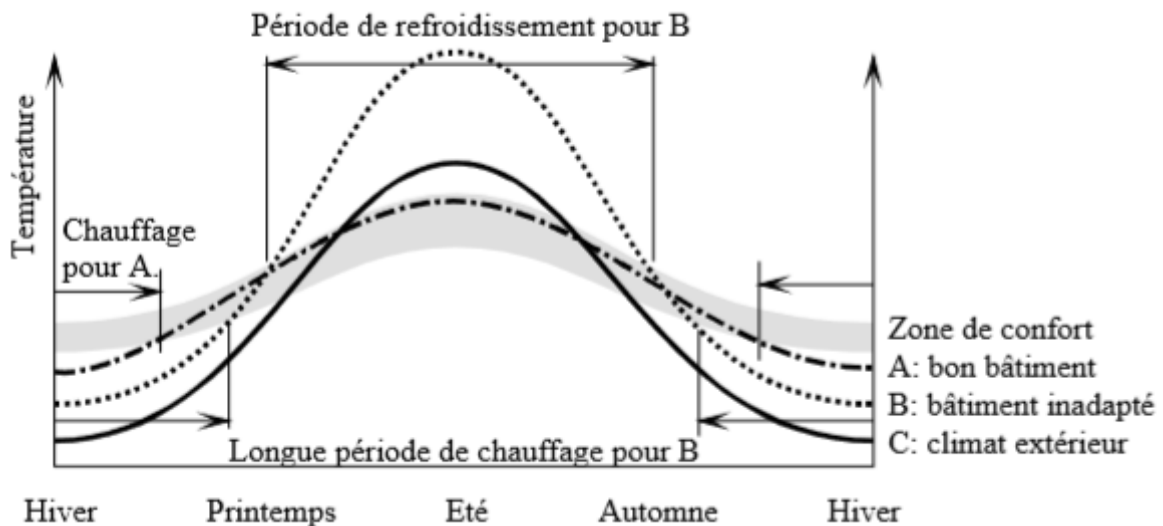


Figure I.6: Evolution des températures dans des bâtiments au cours de l'année, sans effet des installations techniques de chauffage ou climatisation

La bande grisée représente les exigences de confort. C représente la température extérieure, A un bâtiment bien conçu et B un bâtiment inadapté à son climat.

Un bâtiment inadapté à son climat, a tendance à surchauffer en saison chaude et à être glacial en saison froide. Ces bâtiments consomment de grandes quantités d'énergie pour assurer un confort acceptable[6].

I.6. Conclusion

Pour une bonne efficacité énergétique, nous devons prendre en considération une conception efficace du bâtiment et une performance des équipements de chauffage, ventilation et climatisation. Une conception efficace de l'habitat revient à bien choisir l'orientation, l'isolation thermique et le type de vitrages ainsi que les matériaux de l'enveloppe.

L'efficacité énergétique à travers les mesures soulignées dans ce chapitre, est bénéfique autant pour le consommateur à travers son confort et l'allègement de ces factures énergétiques, que pour l'environnement, car la maîtrise de l'énergie atténue la pression sur l'impact environnemental.

Référence

- [1] S. Kawther, "Pour une démarche Haute Performance Énergétique des équipements sanitaires à Guelma," Mémoire de Master, Université 08 Mai 1945 de Guelma, 2018, pp. 126.
- [2] Lekhal Mohammed Cherif, "Modélisation du comportement thermique d'un bâtiment équipé de système combiné capteur solaire et puits canadien," Thèse de Doctorat, Université de Sidi Bel Abbés, pp. 181.
- [3] Djerroufi Mohammed El Amin, "Management de l'efficacité énergétique dans le bâtiment," Mémoire de Master, Université Abou-Bekr Belkaid - Tlemcen, juin 2014, pp. 99.
- [4] APRUE, "Le Ministre de l'Energie procède à l'ouverture d'un séminaire sur l'efficacité énergétique dans le secteur de l'industrie," lundi 27 novembre 2017.
- [5] Nicolas Morel and Edgard Gnansounou, "Énergétique du bâtiment," Ecole polytechnique, Fédérale De Lausanne, Septembre 2008, pp. 217.
- [6] <https://www.oze-energies.com/pourquoi-realiser-un-audit-energetique/performance-energetique-des-batiments/>.
- [7] H. M. Chaima Sellama, Idhir Boukaraa, "La rénovation énergétique dans l'habitat collectif en algérie: vers une stratégie d'efficacité," mémoire de master, Université Mohamed Seddik benyahia – Jijel, 11/07/2019, pp. 73.
- [8] M. S. Touil Abdessalam, "Au sujet de l'efficacité énergétique - vers des bâtiments moins énergivores -," mémoire de master, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, juin 2017, pp. 90.
- [9] "Guide relatif à l'efficacité énergétique dans les bâtiments : Application à un établissement scolaire," MARS 2013, pp. 67.
- [10] E. Gallay, "5 Leviers de l'efficacité énergétique pour le bâtiment," 10 août 2017.
- [11] M. C. Djahida Boudehane, Nor-elhouda Ziada, "Étude des paramètres de construction pour le confort hygrothermique dans le bâtiment à zéro consommation d'énergie (BZE). Cas des établissements d'enseignement supérieur dans un climat humide." Mémoire de Master, Université Mohamed Seddik Benyahia – Jijel, : 10-07-2019, pp. 82.

Chapitre II : L'enveloppe du bâtiment et l'isolation thermique

Ce chapitre est dédié à l'enveloppe du bâtiment et l'importance de l'isolation thermique. La première partie est consacrée à défauts de l'enveloppe thermique et méthodes d'amélioration du confort thermique dans le bâtiment. Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous allons présenter le rôle des matériaux d'isolation thermique dans une enveloppe d'un bâtiment et la grande variété des types d'isolants et comment améliorer thermiquement les façades.

II.1. Enveloppe du bâtiment

L'enveloppe du bâtiment comprend le toit, le sol, les murs, les fenêtres et les portes, c'est-à-dire tout ce qui sépare l'intérieur du bâtiment de l'extérieur. La qualité de l'enveloppe d'un bâtiment est un facteur déterminant qui peut influencer sur la quantité d'énergie que vous utilisez pour le chauffage, la climatisation et la ventilation [12].



Figure. II.1 : Enveloppe de bâtiment simple [13].

L'enveloppe des bâtiments est l'interface physique séparant l'intérieur d'un bâtiment de son environnement extérieur. Il offre aux occupants, un confort thermique, acoustique, un éclairage naturel mais aussi tout en assurant de performances environnementales.

L'enveloppe des bâtiments constitue un système global complexe, dont les niveaux de performances attendus (thermiques, acoustiques, confort aérodynamique,...) doivent répondre aux exigences sociétales constamment croissantes de réduction des consommations énergétiques.

La création et la rénovation de l'enveloppe des bâtiments fait appel à des produits technologiques industrialisés et innovants, ainsi qu'à des moyens modernes de conception et réalisation.

Compte-tenu des problématiques croissantes d'impact environnemental et de recherche de haute performance énergétique, l'enveloppe des bâtiments est un domaine professionnel en veille constante et en évolution technologique permanente.[14]

II.1.1. Défauts de l'enveloppe thermique

La composition de l'enveloppe thermique, des différents matériaux et assemblages séparant l'intérieur de l'extérieur, risque d'avoir des défauts de réalisation qui peuvent provoquer des pertes calorifiques.

II.1.2.1.D déperditions thermiques

Les déperditions thermiques signifient la perte de chaleur qui subit l'enveloppe du bâtiment. Ces déperditions sont fonction des caractéristiques de la structure, des matériaux, de l'environnement du bâtiment (climat, effet de masque, orientation, ...). Ces déperditions sont importantes dans les bâtiments non ou mal isolés. Les déperditions thermiques possibles pour une structure passent [15].

- Par la toiture en contact avec l'extérieur.
- À travers les murs.
- Par le plancher bas.
- À travers les portes et les fenêtres.
- Par renouvellement d'air et les fuites.
- Au niveau des ponts thermiques.

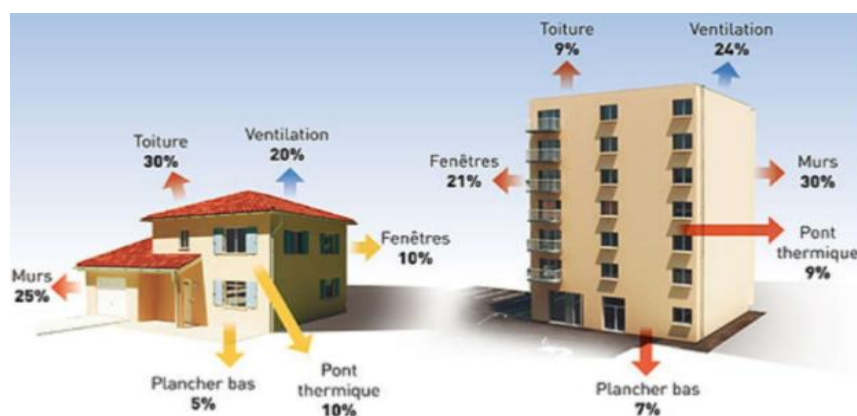


Figure. II.2 : Répartition en % des déperditions pour une maison et un immeuble[15].

II.1.2.2. Ponts thermiques

Dans le bâtiment, un pont thermique, est une surface en contact direct entre l'intérieur et l'extérieur.

Les ponts thermiques expriment les parties de l'enveloppe représentant des défauts d'isolation. La résistance thermique est affaiblie de façon sensible au niveau de ces endroits.

Généralement, les ponts thermiques sont disposés au niveau des points où l'isolation est absente ou présente des faiblesses.

Les principaux ponts thermiques d'un bâtiment se situent aux jonctions des façades et planchers, façades et refends, façades et toitures, façades et planchers bas.

Il existe deux types de ponts thermiques, les ponts thermiques linéaires et les ponts thermiques ponctuels. Les effets néfastes des ponts thermiques sont sur plus d'un niveau. Ils provoquent des pertes de chaleur et des fuites calorifiques, donc des surconsommations énergétiques afin d'améliorer le niveau du confort thermique. Le risque de condensation et des moisissures peut entraîner la pollution de l'espace intérieur et une dégradation prématurée du bâtiment.

L'augmentation de la sensation d'inconfort est suite aux parois froides.

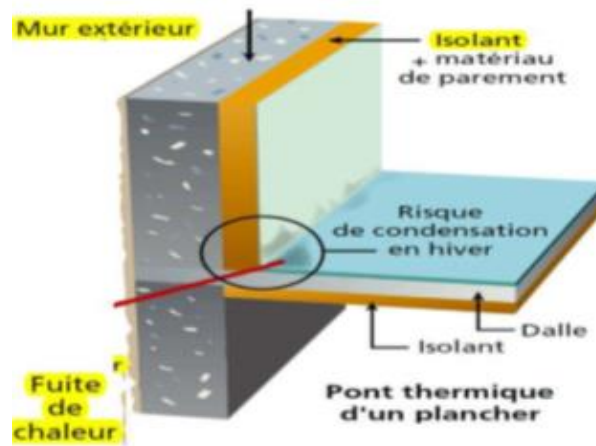


Figure. II.3 : Pont thermique d'un plancher[15].

La thermographie à infrarouge permet de visualiser les ponts thermiques en connaissant la température des parois [16].

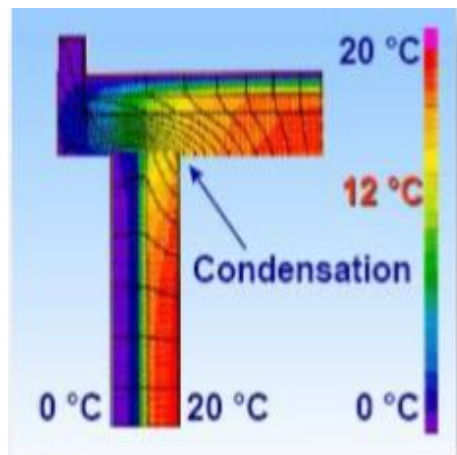


Figure. II. 4: les effets des ponts thermiques [16].

II.2. Amélioration du confort thermique

II.2.1. Ventilation de la maison

La ventilation naturelle est l'un des moyens les plus simples de contribuer au confort thermique des usagers d'un bâtiment et l'amélioration la performance des bâtiments.

Dans un bâtiment fermé, renouveler l'air intérieur est indispensable pour préserver la qualité de l'air ambiant. Une bonne ventilation permet d'assainir l'air, en évacuant les odeurs de fumées et les polluants. Un apport d'air extérieur chargé d'oxygène préserve la santé des habitants de la maison et améliore la combustion des appareils de chauffage. Dans les pièces humides (cuisine, buanderie, salle de bains,) une ventilation efficace évite la formation de moisissures et limite la condensation due à l'humidité qui peut sur le long terme dégrader les peintures, les murs et les plafonds [17].

II.2.2. Régulation de chauffage

La régulation de chauffage est l'action de régler et de rendre régulier la température ambiante d'une pièce ou d'un logement. Le maintien d'une température constante est d'éviter autant que possible les grandes

variations de températures c'est sa régulation et programmation qui offrent des avantages économiques considérable.

En effet aujourd'hui, grâce à des systèmes de gestion de l'énergie et leur précision et à la possibilité de paramétrer des réglages de température, il est possible de tout contrôler chez soi [18]

- La température de chaque pièce.
- L'enclenchement et l'arrêt de ses chauffages.
- La programmation du chauffage, sur place.

II.2.3. Isolation thermique

L'isolation thermique désigne l'ensemble des techniques mises en œuvre pour limiter les transferts de chaleur entre un milieu chaud et un milieu froid. est utilisé dans nombreux domaines incluant notamment : le bâtiment, l'industrie, l'automobile, etc. [19].

L'isolation thermique d'un bâtiment est la conception et l'exécution de sa structure et de tous les éléments de l'enveloppe extérieure, Les isolants thermiques sont essentiellement caractérisés par leur résistance thermique et leur inertie thermique. Ils permettent d'éviter les déperditions ainsi que le phénomène de pont thermique.

L'isolation thermique à trois fonctions principales dans un logement [16] :

- Augmenter le confort thermique en hiver comme en été
- Minimiser la consommation énergétique pour le chauffage et / ou la climatisation.
- Diminuant les pollutions liées au rejet des gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

II.2.3.1. Comparaison entre une construction bien isolée et non isolée

- *Construction non isolée:*

En hiver, les pertes sont les plus importantes sur tous les murs opaques et vitrés et les connexions structurelles. La ventilation naturelle est incontrôlée et augmente la consommation d'énergie, et en été, le soleil chauffe l'atmosphère interne du bâtiment.

- *Construction bien isolée:*

En hiver comme en été les transferts de chaleur sont réduits sur l'ensemble des parois. La ventilation mécanique contrôlée, optimise le renouvellement d'air pour le moins de déperditions possibles. Il réduit également les besoins énergétiques [20].

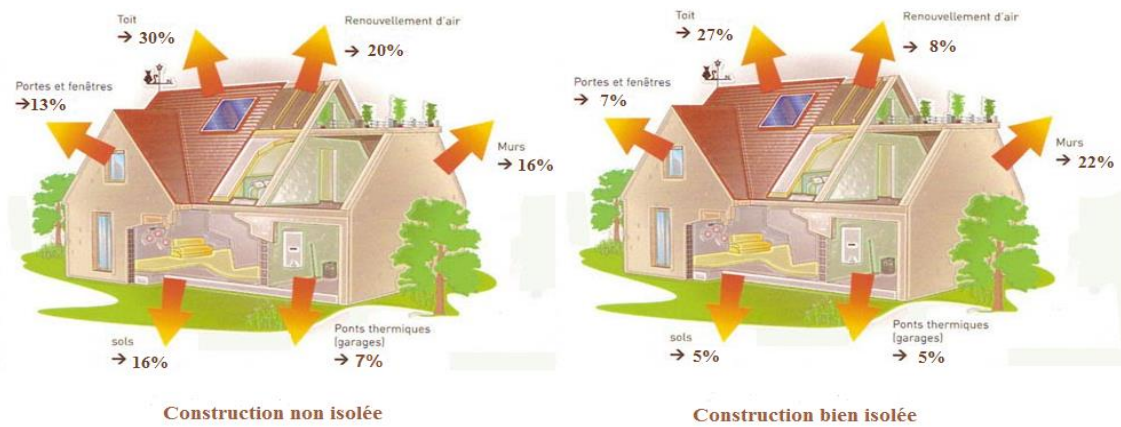


Figure. II.5: Comparaison entre une construction bien isolée et non isolée [21, 22]

II.3. Matériaux d'isolation thermique

II.3.1. Sélection de matériau en fonction des caractéristiques thermiques

La connaissance de tous les matériaux n'est pas possible, mais le choix ne doit pas, pour autant, être le fait du hasard, celui d'une croyance injustifiée, elle doit simplement prendre en compte des caractéristiques qui doivent être contrôlées et de préférence certifiées, afin de vérifier si les matériaux retenus sont en mesure de remplir le rôle qui leur est dévolu ou non. Pour être en mesure de juger de leur utilité réelle d'un point de vue thermique, il n'y a pas d'autre solution que de connaître les caractéristiques physiques qui influencent principalement leur qualité d'isolation mais aussi d'inerties par transmission et par absorption, [23] parce que les matériaux reçoivent différemment les rayons solaires selon leur degré de transparence ou d'opacité leur couleur et leur texture de surface. Et pour cela qu'ils ont des caractéristiques thermiques particulières tenant à leur structure et à leur masse.

II.3.2. Caractéristiques thermiques

➤ **Caractéristiques statiques** : Ce sont la conductivité et la capacité thermique

- *La conductivité thermique (λ)* :

C'est la capacité d'un matériau de ralentir les échanges calorifiques entre l'intérieur et l'extérieur. Plus la conductivité est faible, plus le matériau est isolant.

Le matériau isolant thermique est un matériau à faible conductivité thermique externe. C'est donc un matériau qui ne transfère pas bien la chaleur, que ce soit par conduction, convection ou rayonnement [21].

- Pour diminuer la conduction, doit être diminué la matière. Le vide ne conduit pas la chaleur.
- Pour diminuer la convection, il faut immobiliser ou supprimer les fluides.
- Pour diminuer le rayonnement, il faut des écrans opaques au rayonnement, ou des surfaces non émissives être réfléchissantes au rayonnement thermique.
- Pour diminuer l'évaporation - condensation, il faut utiliser des matériaux secs.

- *La capacité thermique (ρ, c)* :

C'est la capacité d'un matériau d'emmagasiner la chaleur par rapport à son volume.

Elle dépend de trois paramètres :

- La conductivité thermique du matériau (λ).
- La chaleur spécifique du matériau.
- La densité ou masse volumique du matériau.
- **Caractéristiques dynamiques** : ce sont la diffusivité et l'effusivité
- *La diffusivité thermique (a) :*

La diffusivité thermique est la capacité d'un matériau à transférer un changement de température, elle augmente avec la conductivité thermique et décroît avec l'augmentation de sa chaleur volumique. C'est aussi la vitesse de diffusion de la chaleur à l'intérieur d'un matériau.

- *L'effusivité thermique (b) :*

Il s'agit de la capacité d'un matériau d'absorber ou de restituer une puissance thermique. Plus l'effusivité est élevée, plus le matériau absorbe l'énergie sans se réchauffer.

Pour réduire l'effet du flux thermique, il faut augmenter l'effusivité des parois et diminuer la diffusivité [16].

II.3.3. Types d'isolants thermiques

Les matériaux utilisés pour isoler les bâtiments peuvent être classés selon leur nature :

II.3.3.1. Isolants traditionnels

L'isolation thermique existe depuis longtemps, dès que l'homme a constaté que certains matériaux aident à assurer un confort intérieur à l'époque où les appareils de chauffage et climatisation n'existaient pas encore, de parmi ces isolateurs [24].

➤ **Isolants d'origine végétale**

Ces isolants sont les plus couramment employés en construction écologique et leur utilisation est en croissance rapide vu les avantages qu'ils présentent : ce sont des matériaux renouvelables et à faible impact environnemental pouvant être produits localement à partir de matière première peu chère et ne présentent pas de dangers sanitaires pour les habitants [25].

- *Liège :*

Le liège est par essence une matière renouvelable : l'écorce prélevée sur le chêne-liège se régénère naturellement. Le liège est un matériau écologique, renouvelable et noble. En effet, C'est un matériau étanche, régulateur d'humidité imputrescible et stable dans le temps, bon isolant thermique, acoustique isolation en liège peut être réalisé pour des projets de rénovation ou de construction. La plaque de liège peut servir à isoler les sols, les murs, les plafonds, avec des produits plus adaptés en fonction d'une isolation en intérieur ou en extérieur.



Figure.II.6 : le liège [26]

➤ **Isolation en fibre de bois**

La fibre de bois est un matériau isolant, naturel et écologique. En effet, les panneaux de fibre de bois sont écologiques et entièrement recyclables, ce qui contribuera à rendre votre intérieur plus sain et confortable. Une isolation en fibre de bois offre aussi l'avantage d'avoir une bonne régulation hygrométrique des pièces, les panneaux de fibre de bois vont aider à réguler la vapeur d'eau et permettent d'avoir une bonne "respiration" des murs existants grâce à sa très bonne perspirance[26].



Figure. II.7 : les fibres de bois [26].

➤ **Isolants d'origine animale**

En théorie, tous les poils et plumes des animaux pourraient être utilisés comme isolants. Cependant, dans le contexte économique, la ressource doit être suffisamment abondante, et organisée. C'est le cas de laine de mouton et des plumes de canards

• *Plumes de canard :*

Cet isolant se compose de 70% de plumes, 10% de laine de mouton et 20% de fibres thermo-fusibles, entièrement recyclable et renouvelable, il est issu d'un produit non valorisé et consomme très peu d'énergie lors de sa fabrication.



Figure.II.8 : Plumes de canard [27].

- *Laine de mouton* :

Laine de mouton est un isolant à faible empreinte environnementale. Elle peut absorber 33% de son poids de vapeur d'eau ce qui fait d'elle un excellent régulateur hygroscopique, elle est sensible au feu et l'isolation acoustique du bâtiment, ils sont disponibles en rouleaux ou panneaux semi-rigides.[25]



Figure. II.9 : Panneau souple de laine de mouton[24].

➤ **Isolants synthétiques**

Les isolants synthétiques sont des produits dérivés de l'industrie pétrolière et issus de transformations chimiques. Par exemple le polystyrène extrudé est fabriqué à partir de billes de monomère styrène mélangés et extrudés avec un agent gonflant (CO₂ ou HFC) suivant les besoins. La Figure 11 montre les formes les plus courantes d'isolants synthétiques que nous rencontrons sur les chantiers de bâtiment

Les classes d'isolants synthétiques sont [28] :

- La gamme de polystyrènes expansés PSE ou extrudés XPS.
- Le polyuréthane PIR.
- Le polyisocyanurate PIR.
- Les phénolique.

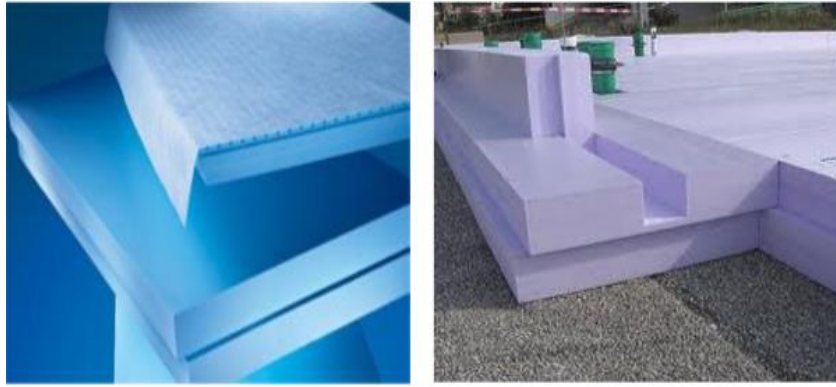


Figure. II.10 : Panneaux XPS

➤ **Isolants minéraux**

Ces isolants sont issus de matières premières minérales (silice, argile, roches, Volcaniques...) qui sont généralement transformées en fibres fines, rouleaux, panneaux ou granules en leur incorporant des additifs. Les caractéristiques des matériaux dépendent de leur texturation et leur densité Le recyclage des matériaux dépend de la Nature des produits et des additifs utilisés.

- *Verre cellulaire :*

Il est obtenu à partir des matières premières de verre fondues à haute température auxquelles est ajoutée de la poudre de carbone. Ce matériau est résistant au feu et à l'humidité et est incompressible Compte tenu de sa haute qualité technique, il peut parfois apporter des solutions ponctuelles en éco construction



Figure. II.11 : le verre cellulaire[16].

- *Laine de verre :*

Les laines de verre et de roche sont les plus utilisées dans le bâtiment ; les laines de verres sont obtenues à partir de la fusion de sable siliceux et/ou de verre recyclé tandis que les laines de roche sont obtenues à partir de roches volcaniques (basalte). , ils sont disponibles en panneaux, rouleaux [25].



Figure .II.12: la laine de verre[16].

II.3.3.2. Nouveaux isolants

Les avancées technologiques sont mises au service des performances thermiques et phoniques des habitations. Entre le PIV et les aérogels, et sont des isolants possédant d'excellentes propriétés thermiques très à une performance bien meilleure que celle classique :

- **Aérogels**

Les aérogels sont un matériau d'une légèreté incomparable. Composés de 99,8% d'air, ils sont dix fois plus légers que le polystyrène expansé. Complètement transparents, leurs performances thermiques et phoniques sont exceptionnelles. Néanmoins, c'est un matériau extrêmement cher et difficile à produire, donc peu accessible pour les particuliers.

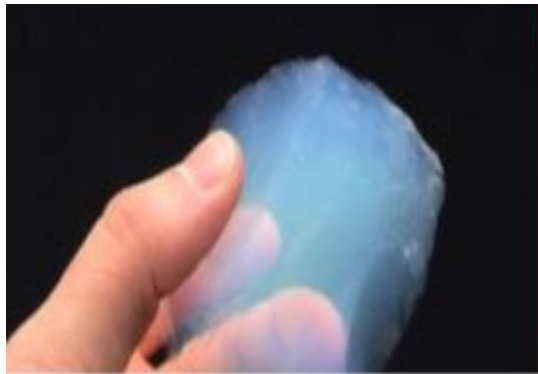


Figure. II.13: les aérogels[16].

- **Panneaux isolant sous vide (PIV)**

Le panneau d'isolants sous vide est un isolant nouvelle génération, qui présente d'excellentes propriétés thermiques. Il est néanmoins très fragile. D'une épaisseur très fine, c'est un matériau "âme", c'est-à-dire qu'il est destiné à être emprisonné par d'autres matériaux. Dans ce cas, il est emprisonné dans un film étanche, puis mis en dépression. S'il est percé, il perd ses propriétés thermiques [29].



Figure. II.14: les panneaux isolants sous vide [16].

II.4. Amélioration thermique des façades

Les murs de façade sont soumis aux intempéries et aux aléas du temps. Ce phénomène est causé par une mauvaise isolation des parois qui vont s'imprégner de la température extérieure et entraîner une baisse de température à l'intérieur. Pour y remédier, une seule solution : l'isolation thermique des murs de façade.

II.4.1. L'isolation des murs par l'extérieur

Isolation thermique par l'extérieur, ou isolation de façade, consiste à poser la couche d'isolation et un nouveau revêtement de façade sur les murs extérieurs, afin de créer une enveloppe thermique qui protégera le bâtiment.

Cette technique est particulièrement intéressante pour isoler les murs en rénovation, ou quand l'isolation des murs par le creux est impossible ou insuffisante.

On choisit généralement l'isolation thermique par l'extérieur lorsque l'on souhaite rénover complètement la façade d'un bâtiment et améliorer sa performance énergétique. C'est donc une solution idéale pour la rénovation d'anciennes habitations non isolées et dont la façade doit être remise en état.

En bref, l'isolation thermique par l'extérieur est un bon choix si [30] :

- Vous souhaitez rénover complètement votre façade (nouveau revêtement ou bardage).
- La maison n'a pas de murs creux ou il est impossible de les isoler.
- La façade actuelle est en mauvais état et a éventuellement des problèmes d'étanchéité.

Les avantages et les inconvénients de cette technique d'isolation se résument dans le tableau suivant (tableau. II.1).



Figure. II.15 : l'isolation par l'extérieur[24].

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Traite un plus grand nombre de ponts thermiques en les recouvrant efficacement. • Ne modifie pas les surfaces habitables et ne nécessite pas la reprise de la décoration. • Protège les murs des intempéries et des variations climatiques. 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmente le coefficient d'occupation au sol sur le terrain. • Modifie l'aspect global de la maison. • Réduit la grandeur des ouvertures et donc de l'apport lumineux en procédant à l'isolation des tableaux et des appuis de fenêtres.

Tableau. II.1 : Avantages et inconvénients de l'isolation par l'extérieur[31].

II.4.2. Isolation des murs par l'intérieur

L'isolation thermique par l'intérieur est une technique utilisée pour renforcer la performance énergétique des murs.

L'isolant est installé sous forme de plaques posé du côté intérieur du mur. L'isolation par l'intérieur est facile à placer, moins chère que l'isolation par l'extérieur. On peut faire cette technique par plusieurs isolants comme la laine minérale qui est une solution performante et économique. Cette technique est utilisée pour des travaux de rénovation, renforcement de l'isolation[24].

Pour envisager l'isolation par l'intérieur, il faut absolument s'assurer que :

- Le mur de parement extérieur doit être en bon état et capable de supporter les intempéries puisqu'il n'y a plus l'influence du climat interne.
- Le mur porteur intérieur est sec et protégé des infiltrations.
- Une inertie suffisante L'isolation intérieure réduit l'inertie thermique, c'est pourquoi l'inertie thermique doit être reconstituée.

Les avantages et les inconvénients de cette technique d'isolation se résument dans le tableau suivant (tableau. II.2) [31].

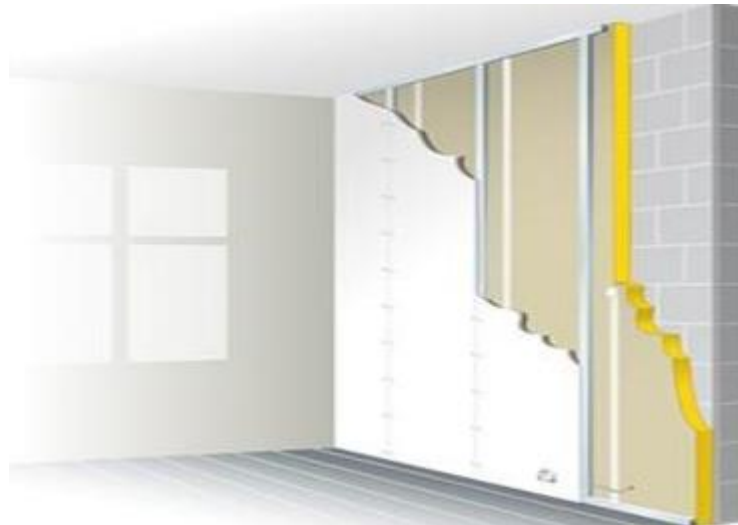


Figure. II.16 : application d'une isolation intérieure[24].

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Ne modifie pas l'espace extérieur. • Augmente la performance thermique globale du bâtiment. • Supprime les condensations sur parois froides. • Supprime l'effet parois froides. • Améliore le confort acoustique intérieur • Coût d'exécution moins onéreux qu'une solution d'isolation par l'extérieur. • Systèmes d'isolation faciles et rapides à mettre en œuvre. 	<ul style="list-style-type: none"> • Réduit l'espace habitable. • Révision du plan électrique. • Embrasure des portes et des fenêtres à prévoir pour réduire au minimum les déperditions lumineuses. • Décoration intérieure à refaire

Tableau. II.2: Avantages et inconvénients de l'isolation par l'intérieur[31].

II.4.3. Isolation des murs dans leur épaisseur

Cette technique appelée aussi « l'isolation répartie »

L'isolation thermique répartie (ITR) se distingue des deux autres techniques, car elle consiste à utiliser un matériau aux propriétés isolantes pour construire le mur. Il ne s'agit donc plus d'habiller le mur d'un matériau isolant, mais de faire en sorte que le mur soit lui-même isolant, Elle est caractérisée par l'utilisation de l'isolation en tant que matériau de construction, Il peut s'agir de briques isolantes ou de blocs de parpaings isolants Deux grandes familles sont proposées sur le marché[31] :

- La brique alvéolée en terre cuite ou mono mur.

- les blocs et panneaux hauteur d'étage en béton cellulaire (figure. II.17).

➤ **Béton cellulaire**

C'est un matériau fabriqué à partir des ressources naturelles, 64% de sable blanc très pure, 15% de chaux, 20% de ciment, 1% de gypse et 1% - 0.05% des agents d'expansion comme la poudre d'aluminium [16].



Figure. II.17 : La brique alvéolaire en terre cuite (à gauche) et le béton cellulaire à (droite).

Les avantages de cette technique sont :

- Un gain de temps pour la mise en œuvre : structure porteuse et isolation thermique en un seul produit.
- Une facilité dans la mise en œuvre des menuiseries, plomberies et réseau électrique.
- Une réduction des ponts thermiques.
- Une amélioration du confort thermique de par le bon compromis entre l'inertie thermique et l'isolation.

II.4.4. Isolation des toitures

L'isolation des toitures est très rentable car le potentiel d'économies d'énergie est important. Sachant que la toiture transmet jusqu'aux 2/3 des transferts de chaleur de l'enveloppe vers l'intérieur du bâtiment, la réflectivité et l'isolation de la toiture limitent ces apports thermiques.

II.4.4.1. Isolation des charpentes

Elle est réalisée au moyen de panneaux de toiture porteurs qui comprennent le support ventilé de couverture, l'isolation et un parement du côté intérieur. Cette technique préserve la charpente des variations de température et d'humidité et garantit la ventilation de la couverture.

II.4.4.2. Toitures terrasse

Ce genre de toitures subit des contraintes climatiques très rigoureuses ce qui entraîne des dilatations et des rétractions de la couverture et de l'étanchéité. L'isolation thermique doit donc respecter ces contraintes et l'isolant doit être choisi en fonction des charges qu'il pourra supporter.

II.4.4.3. Isolation sur étanchéité « toiture inversée »

Dans ce cas, l'isolant est disposé sur une étanchéité existante. Selon l'accessibilité cette couche d'isolant est recouverte d'une couche de gravier ou d'un dallage sur sable. Son avantage réside dans la protection de

l'étanchéité des intempéries. Son inconvénient est que l'isolant chargé de protection lourde, subit le ruissellement des eaux pluviales.

II.4.4.4.Isolation sous étanchéité

L'isolant est installé au-dessus de la dalle puis recouvert par l'étanchéité et par une protection lourde en gravillons pour les toitures non accessibles ou en dallage lorsqu'une circulation est prévue. Son avantage est la protection plus efficace de la maçonnerie des variations de température et de ce fait elle limite les mouvements de dilatation et de réfraction.

II.4.5.Isolation des planchers

L'appréciation de la qualité thermique d'un plancher, pour aider à déterminer le choix en termes d'isolation, se fonde sur des critères indissociables :

- La constitution du plancher.
- La nature des liaisons entre plancher et parois verticales adjacentes.
- La présence et la nature d'un éventuel volume d'air sous le plancher. En rénovation, il est souvent difficile d'isoler le sol d'un logement, la présence d'un vide sanitaire ou d'une cave peut cependant permettre la mise en place en dessous de la dalle d'une isolation [31].

II.5.Conclusion

La conception de l'enveloppe thermique est une phase très importante pour assurer la sensation de confort en économisant la consommation énergétique. Alors que l'ignorance de cette phase peut favoriser l'inconfort intérieur, lorsque l'enveloppe thermique ne répond pas aux exigences du confort, l'introduction d'une isolation permet corriger les défauts d'étanchéité d'une enveloppe thermique. L'isolation va créer une barrière contre les fuites de la chaleur ou de la fraîcheur

Le rôle des matériaux de construction dans une enveloppe d'un bâtiment est primordial. Elle ne nécessite que le choix judicieux des matériaux, c'est la solution essentielle en construction passive. Le choix des matériaux a un impact direct sur la qualité de l'air intérieur et le respect des conditions de confort des usagers, Les caractéristiques thermiques des matériaux de construction vont permettre d'augmenter ou de diminuer la performance énergétique.

La grande variété des types d'isolants donne à l'utilisateur à choisir selon certains critères. Le respect de la santé de l'occupant, le coût convenable et l'efficacité sont des éléments à prendre en considération lors du choix.

Chapitre III : Simulation énergétique des bâtiments

L'objectif de ce chapitre est de donner un aperçu de la simulation énergétique pour les bâtiments, la première partie est consacrée au principe et aux points forts de la simulation énergétique, les outils et sous-systèmes de simulation énergétique. Dans la deuxième partie, on présente la simulation des bâtiments à l'aide de TRNSYS et la description environnement de ce logiciel avec ses avantages et inconvénients.

III.1.Simulation énergétique des bâtiments

III.1.1.Modélisation et/ou simulation

L'objectif de la construction de la modélisation énergétique est de développer des outils pour représenter la réalité dans le but de mieux comprendre des phénomènes de transfert d'énergie à l'intérieur des bâtiments, tels que :Le rayonnement entre les parois ou avec l'extérieur (soleil, voûte céleste, albédo, etc.) les flux d'air entre zones d'un bâtiment, le développement et la distribution de chaleur pour maintenir le bâtiment dans une gamme de confort thermique.

La simulation est la précision du modèle, ce qui est obtenu en divisant en six abstraction niveaux basés sur l'objectif de modélisation et de l'environnement de simulation: niveau technique, physique, mathématique, algorithmique, numérique, et informatique. Chaque niveau est limité à la suivante. Ce résultat dans une forte interaction entre le modèle et la simulation numérique, avec le résultat final étant la création des outils de simulation dans le seul domaine de simulation énergétique pour les bâtiments [32].

III.1.2.Principe de simulation énergétique

Une simulation (ou modélisation) énergétique d'un bâtiment est une analyse assistée par ordinateur des effets d'éclairage naturel, de la consommation d'énergie du bâtiment et cela est généralement fait avec l'aide d'un spécialiste du logiciel qui permet vous d'entrer des données spécifiques à la construction que nous sommes la modélisation, telles que la surface, la composition et l'orientation des murs, du toit et du plancher, le type d'occupation, les équipements, l'éclairage utilisé ainsi que les systèmes mécaniques. Ces données sont associées à un fichier météorologique choisi selon la position géographique du bâtiment, sont traitées dans un moteur de calcul permettant d'évaluer ces interactions et fournissant, par la suite, des estimations quantitatives (Voir Figure III.1) [33].

En général, la simulation nous permet de comparer les effets de diverses mesures d'efficacité énergétique sur un bâtiment neuf ou existant [32].

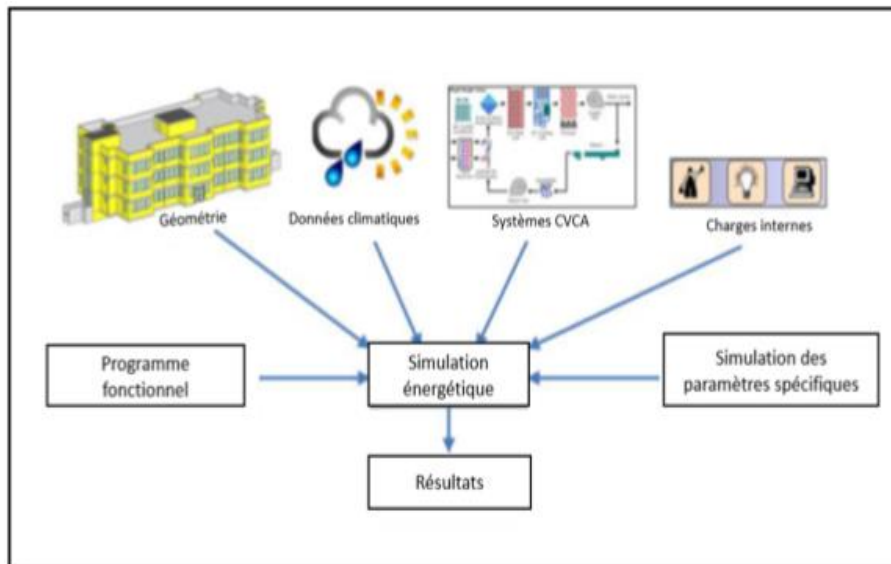


Figure III.1: Schématisation du flux des données dans un outil de simulation énergétique[33].

III.1.3.Simulation dans les premières étapes de conception

Selon d'une étude menée par Augenbroe (1992), ayant accès à l'outil de simulations à offre la meilleure occasion d'adopter des solutions à haute énergie efficacité.

Affirmant que les décisions prises avant de le début d'un projet ont un 60-70 pour cent d'effet sur du bâtiment d'exploitation des coûts sur la vie du cycle.

Pour illustrer ce dernier point, l'approche 'Trias Energetica' développée dans l'étude de Syneffa (2008) qui implique, les étapes suivantes est considéré Figure III.2 :

- Réduire les coûts du bâtiment en mettant en place des dispositifs d'économie d'énergie.
- Utiliser des méthodes qui fonctionnent avec des sources d'énergie durables au lieu de combustibles fossiles.
- Utiliser l'énergie fossile le plus efficacement possible.

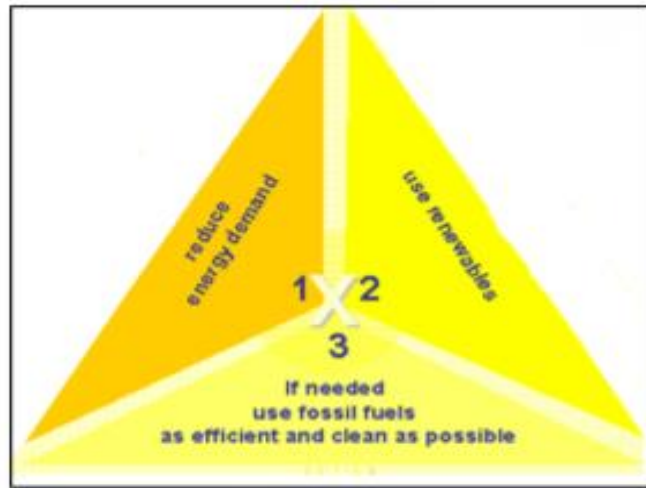


Figure III.2: Principe de Trias Énergétique Tiré de Syneffa, 2008[33].

Démonstré à partir d'une étude sur les bâtiments à consommation énergétique quasi nulle, l'intérêt des outils de simulation pour aboutir à des résultats réussis. Selon les auteurs, la simulation énergétique permet d'examiner, au tout début du processus, les points d'incertitude attribués aux stratégies passives et d'informer, par conséquent, le concepteur sur les choix les plus performants. De plus, à l'aide des outils au début de la conception processus permet architectes de mieux comprendre les agents climatiques agissant sur les choix architecturaux. L'utilisation de la simulation dans les premières étapes de la conception est extrêmement bénéfique car elle vous permet de comparer des alternatives et de visualiser l'impact des options, et ainsi d'éviter des actions correctives pendant toute la conception et la construction [33].

III.1.4. Atouts de la simulation énergétique

- La modélisation est un outil de conception qui aide à la prise de décision lorsque diverses mesures d'efficacité énergétique sont envisagées et qui valide la conformité aux exigences de la réglementation.
- La simulation offre la possibilité de comparer les différentes alternatives, leur faisabilité, leur pertinence et leur rentabilité à court ou à long terme.
- Aider l'ingénieur dans la conception de systèmes qui sont adaptés aux besoins du bâtiment.
- La simulation aide à évaluer les effets du surdimensionnement des systèmes mécaniques en rapport à la de construction interne des besoins en afin d'éviter trop grand équipement, ce qui pourrait entraîner à long terme économiques et énergétiques pertes [32].

III.1.5. Processus de simulation énergétique

Plusieurs caractéristiques du projet sont à définir dans le but de réaliser une modélisation énergétique de l'immeuble et pour déterminer la consommation énergétique du bâtiment, le logiciel serait simuler une année d'occupation en utilisant les informations récupérés [32].

- Une description géométrique du bâtiment par saisie de plans, où l'on spécifie les dimensions et orientations des pièces, parois, vitrages, ouvrants...

- Une description de l'environnement proche du bâtiment (bâtiments et végétation à proximité pouvant faire de l'ombrage, ...) ainsi que les données de localisation correspondantes (latitude, longitude et altitude).
- Une description de l'enveloppe du bâtiment, avec indication de la composition des parois, des vitrages, des portes... et des propriétés physiques (thermiques et optiques) des matériaux qui les constituent.
- Une description des équipements (chauffage, ventilation, eau chaude sanitaire, éclairage...) à travers les paramètres qui décrivent leur fonctionnement.

III.1.6. Sous-systèmes de la simulation énergétique

Conception des bâtiments on utilisant la simulation nécessite une approche intégrée des sous-systèmes qui les compose

III.1.6.1. Processus météorologiques

La météorologie donnée se rapporte à la température, l'humidité, et solaires rayonnement conditions d'une structure. Ce terme est souvent utilisé pour décrire l'emplacement géographique d'un bâtiment. En un résultat, il joue un important rôle clé dans les calculs de charge et de performance du système.

III.1.6.2. Processus bâtiment (type de bâtiment)

Un bâtiment est le conteneur contenant tous les systèmes CVC et non CVC (C.V.C : Climatisation, ventilation et chauffage), pour un scénario de conception étudié dans une analyse énergétique. Les structures, systèmes et équipements non CVC qui sont utilisés dans l'analyse énergétique sont décrits par la forme du bâtiment.

Lors de l'analyse du comportement thermique d'un bâtiment, celui-ci est divisé en unités appelées «espaces». Un espace est fait jusqu'à des une variété d'éléments tels que des murs, des plafonds, des fenêtres, et internes chaleur gains, les deux de qui influent sur le transfert de chaleur à l'intérieur et à l'extérieur de l'espace. Tous les espaces de la partie du bâtiment à analyser doivent être définis pour permettre d'effectuer des calculs de conception du système ou des simulations d'énergie.

III.1.6.3. Processus système climatisation, ventilation et chauffage

Le besoin de confort thermique dans l'environnement intérieur est satisfait par des systèmes de refroidissement ou de chauffage selon des critères. Un système d'air est l'équipement et les commandes qui fournissent le refroidissement et le chauffage à une région d'un bâtiment. La présence d'un thermostat dans chaque zone permet un contrôle spécifique de la température de l'aire dans chaque zone. Les composants d'un système pneumatique comprennent les ventilateurs et les serpentins, ainsi que les gaines, les bornes d'alimentation et les commandes associées lors de l'analyse énergétique.

III.1.6.4. Processus éclairage

Description des caractéristiques des appareils d'éclairage. Étant donné que les appareils d'éclairage génèrent un gain de chaleur au moyen de la convection et du rayonnement. Il est nécessaire de connaître la

puissance totale et le type d'appareil pour calculer les charges d'éclairage. Le programme d'éclairage est utilisé pour décrire les différences quotidiennes et horaires d'utilisation de la lumière.

III.1.6.5. Processus équipements électriques

Les types d'équipement couramment modélisés de cette manière comprennent les photocopieurs, les ordinateurs de bureau, les imprimantes, les équipements de cuisine, etc.

La puissance en watts définit la consommation maximale d'équipement, tandis que le calendrier décrit comment cette consommation varie chaque heure et chaque jour [32].

III.1.7. Outils de simulation énergétique

Les outils de simulation énergétique peuvent être utilisés pour simuler le comportement thermique d'un bâtiment. Ces outils calculent la quantité d'énergie utilisée pour maintenir le confort thermique (chauffage et refroidissement).

Certains programmes évaluent les impacts environnementaux associés à un bâtiment tout au long de son cycle de vie. La plupart des outils de simulation énergétique des bâtiments utilisés aujourd'hui ont été identifiés et décrits par l'Office of Energy Efficiency and Renewable Energy du Département de l'énergie des États-Unis [34].

En un résultat, le nombre de logiciels développés pour thermique et l'énergie modélisation des bâtiments a monté en flèche. Ces programmes ne pas utiliser les mêmes modèles, sont plus ou moins précis, et ont différentes sorties.

Chacun de ces programmes est assez adapté au type d'étude que nous souhaitons entreprendre. Certains sont mieux adaptés à la recherche scientifique, d'autres à la conception de bureaux ou même aux architectes, en fonction des objectifs individuels. Certains outils sont destinés à donner des directions, d'autres sont destinés à améliorer l'enveloppe ou à déterminer la taille de l'équipement. Ces outils se présentent sous diverses formes, parfois sous forme de tableurs ou de programmes d'interface graphique ... [35].

Deux types d'outils se distinguent par leur niveau de complexité :

III.1.7.1. Outils de simulation dynamique

Ce logiciel calcule les différentes températures, chauffage et refroidissement exigences, comme ainsi que l'ensemble de l'énergie la consommation d'un bâtiment. Le bâtiment y est géré sur une base multizone.

Outre les échanges thermiques conducteurs, convectifs et radiatifs avec l'environnement [34].

Le diagramme de la figure III.3 montre l'évolution des environnements de modélisation énergétique pour les bâtiments qui présentent une variété de phénomènes qui sont progressivement pris en compte.

Nous présenterons quelques outils de 3^{ème} et 4^{ème} génération : PLEIADES COMFIE qui sont largement utilisés en France, EnergyPlus, TRNSYS et ESP-r les plus utilisés à l'international ainsi que Dymola qui est actuellement en fort développement.

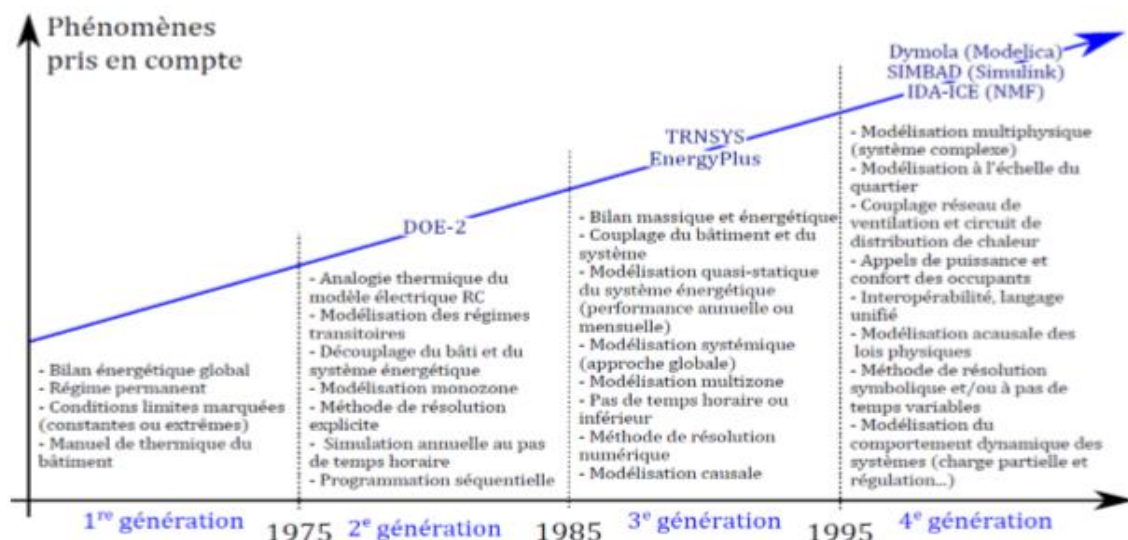


Figure.III.3: Historique des environnements de simulation énergétique des bâtiments[35].

➤ TRNSYS

TRNSYS, pour Transient System Simulation Tool, a été développé dans le cadre d'une collaboration entre l'Université du Wisconsin, le Groupe TransSolar en Allemagne et le CSTB en France depuis 1975. C'est un environnement de simulation dynamique capable de simuler des complexes les systèmes thermiques de tout type, tels que les bâtiments.

➤ PLEIADES COMFIE

PLEIADES COMFIE a été développé pour modéliser le comportement énergétique des bâtiments. PLEIADES est compatible avec l'interface utilisateur et COMFIE est un moteur de simulation thermodynamique en développement depuis 1990. Ce logiciel peut être couplé avec ALCYONE pour implémenter la saisie 3D et la visualisation du bâtiment, cet outil se caractérise par sa facilité d'utilisation en main et sa rapidité à réaliser des simulations.

➤ Energy Plus

Energy Plus est un logiciel open source d'analyse de la performance énergétique des bâtiments financé par le département de l'Energie des Etats-Unis. Il présente un certain nombre d'avantages, notamment la possibilité d'utiliser des intervalles de temps inférieurs à une heure. Des modules spécifiques à l'introduction des équipements dans le bilan énergétique sont intégrés. De plus, Il peut également être utilisé en conjonction avec d'autres outils, tels que des modèles géométriques.

➤ ESP-r

ESP-r, développé par l'Université de Strathclyde à Glasgow depuis 1974. En plus d'utiliser sa vaste bibliothèque pour la modélisation de l'enveloppe du bâtiment ainsi que son équipement électrique et son système de gestion. C'est donc un programme flexible pour simuler de nombreuses technologies innovantes. Les processus de transfert de chaleur, d'air et d'humidité peuvent être modélisés et les performances thermiques, optiques et acoustiques peuvent être évalués.

➤ **Dymola**

Dymola, pour Dynamic Modeling Laboratory, est un environnement dédié à la modélisation et à la simulation de systèmes complexes. Développé par Dassault Systèmes et basé sur le langage libre Modelica®, il permet de modéliser de manière pratique des systèmes dynamiques complexes multiphysiques. Historiquement utilisé pour les constructions aéronautiques et automobiles, ce logiciel dispose maintenant de bibliothèques dans de nombreux domaines avec notamment des composants pour la mécanique, l'hydraulique, l'électricité, la robotique ou encore la thermique du bâtiment.

Cet outil peut également être couplé à d'autres outils comme Energy Plus, Matlab ou GenOpt.[35]

III.1.7.2. Outils simplifiés

Ils s'appuient sur une description sommaire du bâtiment et sur des bilans énergétiques annuels ou mensuels. Par exemple, au dimensionnement de certains équipements .C'est le cas de la méthode 3CL-DPE utilisée en France pour l'établissement des diagnostics de performance énergétique (DPE) dans l'existant et PHPP utilisé pour la conception. Ces outils négligent un certain nombre de phénomènes tels que la variation horaire de divers paramètres (consignes de température, occupation des bâtiments, gains solaires) ou la description précise de l'enveloppe du bâtiment [34].

III.2. Simulation des bâtiments avec TRNSYS

La simulation thermique dynamique permet de faire « vivre virtuellement » en direct au sein d'un bâtiment pour une longue durée dans le but d'étudier son comportement et obtenir des résultats qui sont proches de la réalité Pour valider les solutions retenues , TRNSYS a été choisi pour la simulation en raison de ses nombreux avantages [1]

III.2.1.Description du logiciel TRNSYS

'TRaNsient System Simulation Program' est un environnement de simulation thermique pour des systèmes évoluant dans le temps, développé par le laboratoire de «solar Energy» de l'Université du Wisconsin Madison (USA), en collaboration avec le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) de Sophia Antipolis (France) et avec TRANSSOLAR .TRNSYS constitue une référence mondiale dans le domaine de la simulation dynamique de la thermique et de l'aérodynamique des bâtiments. Il est composé d'une liste de sous - programmes écrits en Fortran[36].

Ce logiciel est fait en de nombreux composants qui travaillent ensemble pour faciliter l'insertion des sous-programmes tout aussi permettant l'utilisateur de créer leurs propres composants.

TRNSYS ou tout autre logiciel se caractérise par fonctions qui peuvent se regrouper en trois domaines :

➤ **Entrées**

Concernant toutes les informations à introduire et à stocker dans des bibliothèques que le concepteur peut les utiliser. Ces entrées concernent (l'environnement physique «climat, site », le bâtiment «l'enveloppe», les apports internes (occupants, éclairage, ..)Les équipements «ventilation, chauffage, climatisation.. »).

➤ **Traitement des données**

Le travail du logiciel consiste à structurer les données en fonction d'un « modèle de représentation du bâtiment » et de « modèles physico-mathématiques » des phénomènes physiques retenus.

➤ **Sorties**

Sont les ensembles des résultats qui peuvent être fournis par le logiciel à l'issue d'une exécution [37]. Les phénomènes que le modèle de simulation thermique doit prendre en compte : [37]

- Le transfert de chaleur par conduction à travers l'enveloppe et les effets de stockages calorifiques dans la masse de bâtiment.
- Les gains dus aux occupants, aux appareils, à la lumière électrique.
- L'ombrage des parois opaques et transparentes.
- Les effets des radiations solaires de courte longueur d'onde et les radiations reçues par les surfaces exposées et internes.
- Les radiations de longueur d'ondes échangées entre les surfaces externes, la voûte céleste et l'environnement.
- Les effets de l'humidité

III.2.2. Environnement TRNSYS

III.2.2.1. TRNSYS Simulation Studio

« TRNSYS Simulation Studio » est l'interface d'accueil de TRNSYS permettant de développer des applications de simulation. Un projet de simulation consiste à choisir un ensemble de modules et à décrire ensuite les interactions entre ceux-ci. Chaque module représente un sous-programme. On introduit pour chaque sous-programme les différents paramètres les variables d'entrée et de sortie.

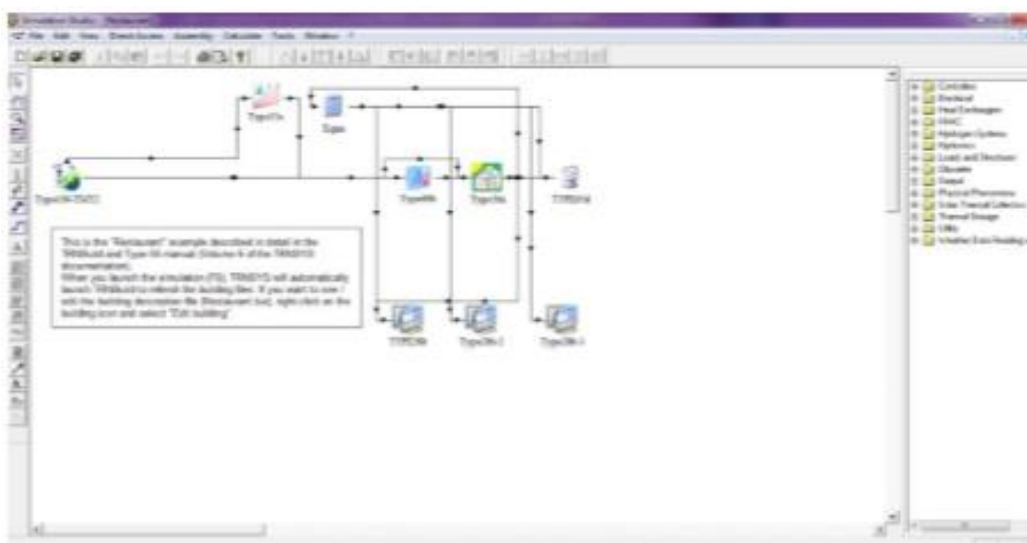


Figure III.4 : **Interface du logiciel TRNYS [38]**

Le TRNSYS simulateur est basé sur le principe de la simulation dynamique, et son environnement se compose d'un espace de travail, les barres d'outils, et une bibliothèque de modèles dans la forme des icônes stockées dans des fichiers dans l'onglet Bibliothèque. Les modèles sont insérés dans l'espace de travail en les faisant glisser avec le curseur.[38]

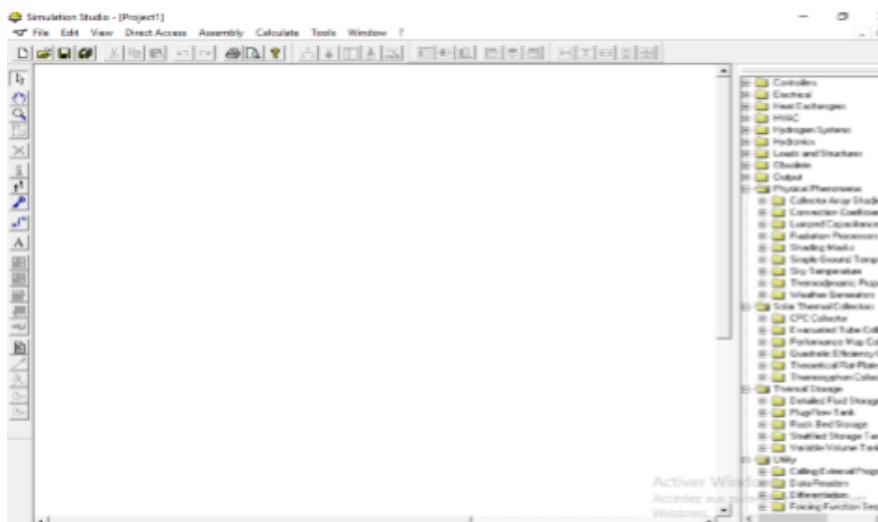


Figure III.5: Espace de travail de TRNSYS[38].

III.2.2.2. TRNBUILD

TRNBuid est un outil permettant d'introduire les caractéristiques d'un bâtiment multizone nécessaire à la simulation thermique de celui-ci. Ses propriétés sont introduites dans « TRNSYS Simulation Studio ». Cette interface permet de décrire tous les composants d'un bâtiment multizones utilisant le Type 56. En fait, nous spécifions la composition des murs, leurs orientations respectives, les surfaces vitrées et les types de vitrages utilisés. Il est nécessaire aussi de définir les conditions initiales de la zone étudiée (la température intérieure et l'humidité relative). Les caractéristiques des murs, fenêtres, portes, planchers et plafonds (dimensions, matériaux, orientation, etc.) dans chaque zone ont été obtenues à partir des dessins d'architecture. Le modèle de bâtiments multizones par le logiciel TRNSYS permet à l'utilisateur de construire des types de murs à partir de couches, les propriétés thermo physiques de chaque couche (conductivité thermique, densité, chaleur spécifique, épaisseur, etc.) sont entrées par l'utilisateur ou choisies à partir d'une bibliothèque existante [36].



Figure III.6: Interface du logiciel TRNBuild[38].

III.2.3. Utilisation du logiciel TRNSYS

Au moins trois composants sont nécessaires pour simuler le comportement thermique d'un bâtiment. Le premier concerne les données météorologiques, le second le calcul de l'ensoleillement du mur et le troisième les échanges thermiques à l'intérieur du bâtiment.

Ces trois composants nécessaires au lancement de la simulation sont identifiés dans TRNSYS par TRNWIN fichier météo, le fichier DECK (programme propre à la simulation) et le fichier BUI (description du bâtiment) par BUI Figure III.2.

Les composants sont identifiés par leur type et le numéro d'unité

➤ Type

(TYPE) définit le modèle utilisé exemple le type 56 est le modèle du bâtiment Multi zones.

➤ Unité

(UNIT) désigne le numéro du composant. Chaque composant est défini par des paramètres, des données et des sorties [37].

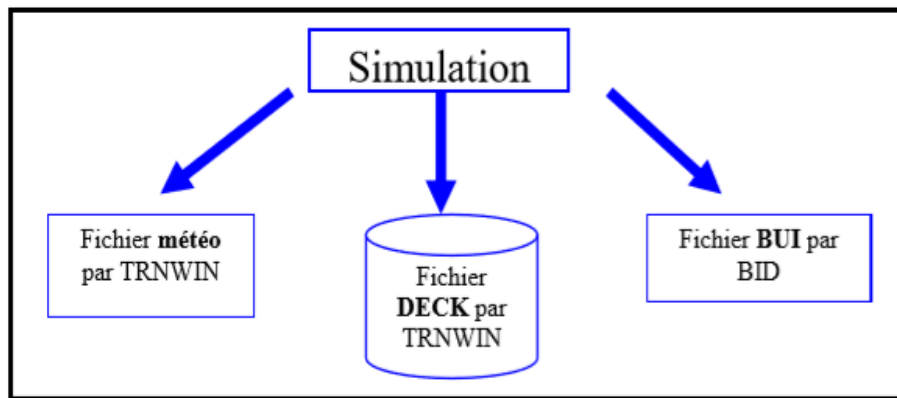


Figure III.7: Fichiers nécessaires au lancement de la simulation ([37]).

Ce logiciel multi zones permet de valider plusieurs options architecturales. Les types (model utiliser) les plus utilisés pour la simulation dans le bâtiment sont [39] :

- **Type9** : Lecture de données.
- **Type54**: Générateur des données météo.
- **Type33**: Diagramme psychométrique.
- **Type16**: Processeur d'ensoleillement.
- **Type56**: Bâtiment multi zone.
- **Type25**: Impression des données.
- **Type65**: Affichage des résultats.

III.2.4.Outils de TRNSYS

De nombreux logiciels ont été perfectionnés de telle sorte à ce qu'ils puissent être couplés à TRNSYS et ainsi disposer de fonctionnalités ou de données complémentaires.

➤ **MÉTÉONORM**

Un logiciel permet de disposer pour TRNSYS, des données climatiques fiables chaque heure et durant une année. Si on ne dispose pas d'une station météorologique, METENORM peut calculer par interpolation entre différentes stations les conditions climatiques d'un lieu [1].

➤ **SIMCAD**

Un logiciel de CAO permettant la saisie de structure de bâtiment et de matériaux utilisés pour la construction, il permet de créer des objets en apportant ses attributs propres (épaisseur, matériaux utilisés,...). Le projet terminé il peut être exporté sous forme de fichier de description de bâtiment qui peut être lu par TRNSYS.

➤ **EES**

(Engineering Equation Solver) est un logiciel permettant de résoudre des équations à l'aide de différents modules. Il peut être utilisé en complément de TRNSYS, Il est utilisé principalement dans les disciplines suivantes : thermodynamique, mécanique des fluides, transfert de chaleur et chimie [40].

III.2.5. Avantages du logiciel TRNSYS

TRNSYS ne se contente pas d'étudier le comportement thermique du bâtiment, il permet également de résoudre de nombreux systèmes d'équations, réalise des simulations dynamiques et permet la possibilité de créer de nouveaux modèles et de les intégrer à la bibliothèque existante. Nombreux avantages y sont associés [40] :

- Résolution multizone, couplage de systèmes.
- Utilisant l'utilitaire TRANbuild la définition du bâtiment est devenue de plus en plus facile et permet de faire changer les différents paramètres très facilement.
- TRNSYS se trouve à être un logiciel modulaire auquel on peut y ajouter des modules écrits soit en fortran ou sous Matlab ou EES ce qui laisse la possibilité d'amélioration du modèle.
- TRNSYS est plus rapide dans les simulations. Dans notre cas on a besoin de trouver les charges thermiques d'un aéra ce que TRNSYS peut à première vue déterminer.
- L'accès au code source permet aux utilisateurs de modifier ou d'ajouter des composants qui ne figurent pas dans la librairie d'origine.
- Cette modification permet de le dimensionnement et l'analyse des CVC systèmes, la simulation de multizones courants d'air, la simulation d'électricité énergie, solaire conception, et l'analyse de thermique efficacité des bâtiments et de contrôle des systèmes.[1]

III.2.6. Inconvénients du logiciel TRNSYS

- TRNSYS ne dispose pas de valeurs ou de systèmes par défaut, l'utilisateur doit posséder et introduire l'ensemble exhaustif de ses données définissant le bâtiment et le système.
- Modèle initial de bâtiment proposé dans le logiciel TRNSYS, le TYPE 56 'Multizone Building'. BAHRI. S en 1994 a mis en évidence que cette méthode pose des problèmes pour des bâtiments à forte inertie. Gilles FRAISSE en 1997 ajoute que ce modèle (Type 56) ne fonctionne pas avec un pas de temps quelconque [37].
- TRNSYS ne calcule pas de champ de vitesse d'air entre les différentes zones thermiques ce qui nous oblige à spécifier les débits d'air échangés entre les zones.
- TRNSYS considère les surfaces internes comme étant des surfaces noires et ne nous permet pas de changer l'émissivité des surfaces internes de l'enveloppe du bâtiment [1]

III.3. Conclusion

La simulation est importante pour le développement et l'adaptation des bâtiments face aux enjeux énergétiques et aux changements climatiques. L'intégration d'outils de modélisation énergétique dans le processus de conception présente plusieurs avantages, mais elle présente également des inconvénients et des défis importants, tels que l'absence de valeur par défaut et la variation de précision.

TRNSYS n'a jamais cessé d'améliorer, et il est maintenant largement considéré comme une fiable outils d'analyse pour systèmes énergétiques complexes.

Références (chapitre II, chapitre III)

- [1] B. RACHID, "Conception et régulation des systèmes fermés de distribution et de circulation de chauffage/climatisation," Mémoire de Master, Université Aboubekr Belkaide Tlemcen, 17 avril 2013, pp. 71.
- [2] S. Kawther, "Pour une démarche Haute Performance Énergétique des équipements sanitaires à Guelma," Mémoire de Master, Université 08 Mai 1945 de Guelma, 2018, pp. 126.
- [3] Lekhal Mohammed Cherif, "Modélisation du comportement thermique d'un bâtiment équipé de système combiné capteur solaire et puits canadien," Thèse de Doctorat, Université de Sidi Bel Abbés, pp. 181.
- [4] Djerroufi Mohammed El Amin, "Management de l'efficacité énergétique dans le bâtiment," Mémoire de Master, Université Abou-Bekr Belkaid - Tlemcen, juin 2014, pp. 99.
- [5] APRUE, "Le Ministre de l'Energie procède à l'ouverture d'un séminaire sur l'efficacité énergétique dans le secteur de l'industrie," lundi 27 novembre 2017.
- [6] Nicolas Morel and Edgard Gnansounou, "Énergétique du bâtiment," Ecole polytechnique, Fédérale De Lausanne, Septembre 2008, pp. 217.
- [7] F. L. h. Julien Bigorgne, "Amélioration des performances énergétique du bâtiment ancien de la Région Bruxelles-capitale," 2013.
- [8] M. S. Touil Abdessalam, "Au sujet de l'efficacité énergétique - vers des bâtiments moins énergivores -," mémoire de master, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, juin 2017, pp. 90.
- [9] "Guide relatif à l'efficacité énergétique dans les bâtiments : Application à un établissement scolaire," MARS 2013, pp. 67.
- [10] E. Gallay, "5 Leviers de l'efficacité énergétique pour les bâtiments," 10 août 2017.
- [11] M. C. Djahida Boudehane, Nor-elhouda Ziada, "Étude des paramètres de construction pour le confort hygrothermique dans les bâtiments à zéro consommation d'énergie (BZE). cas des établissements d'enseignement supérieur dans un climat humide.," Mémoire de Master, Université Mohamed Seddik Benyahia – Jijel, : 10-07-2019, pp. 82.
- [12] "<https://www.energir.com/fr/affaires/espace-client/reduire-votre-consommation/trucs-et-conseils/>."
- [13] "<https://www.iko.com/comm/fr/blog/quest-ce-que-lenveloppe-du-batiment/>."
- [14] "<https://eduscol.education.fr/sti/formations/bts/bts-enveloppe-du-batiment-conception-et-realisation-partir-de-2018>."
- [15] K. A. ZAIM Mounia, "Bilan thermique de construction: étude d'un cas et présentation de solutions," Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 22/06/2019, pp. 161.
- [16] M. F. Kenza, "Evaluation des performances énergétique et du confort thermique dans l'habitat: Cas des logements HPE de l'OPGI de Blida," Thèse de Magister, Université Mohamed Khider – Biskra, 18. 06. 2017, pp. 177.
- [17] "<https://www.laprimeenergie.fr/les-travaux/la-ventilation>."
- [18] "<https://blog.solorea.com/confort-thermique-comment-ameliorer>."
- [19] Soudani Widad Khirouni Aicha, "Une étude bibliographique sur optimisation thermique cas : un bâtiment réhabiliter R+2," Mémoire de Master, Université de Guelma, Juin 2015, pp. 122.
- [20] T. Abdessalam and M. Souad, "Au sujet de l'efficacité énergétique- vers des bâtiments moins énergivores-," Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, juin 2017, pp. 86.
- [21] "<http://maison-passion.fr/focus/focus-isolation/>."
- [22] M. S. TOUIL Abdessalam, "AU SUJET DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE -VERS DES BÂTIMENTS MOINS NERGIVORES-," Mémoire de master, UNIVERSITÉ ABOU BEKR BELKAID TLEMCEN, juin 2017, pp. UNIVERSITÉ ABOU BEKR BELKAID TLEMCEN.
- [23] "<https://passivact.fr/Concepts/files/QualiteThermique-CharacteristiquesPhysiques.html>."

- [24] M. Z. Eddine, "Etude Numérique des performances des matériaux isolants dans le bâtiment (régime permanent) sous conditions de températures réelles de Constantine," Mémoire de Master, Université Larbi Ben M'hidi Oum -El -Bouaghi, 2 juillet 2018, pp. 74.
- [25] Emilio SASSINE, "Analyse Typologique et thermique des maison anciennes de lille. Etude experimental et numerique des parois verticales.," Thèse de Doctorat, Université d'Artois, pp. 216.
- [26] "[https://www.alsabrico.fr/isoler/materiaux-d-isolation-ecologique/.](https://www.alsabrico.fr/isoler/materiaux-d-isolation-ecologique/)"
- [27] "[http://www.guide-isolation-combles.com/isolation-plumes-canard/.](http://www.guide-isolation-combles.com/isolation-plumes-canard/)"
- [28] Erik Chisholm, "Optimisation de l'enveloppe d'un bâtiment passif à l'aide de la simulation thermique dynamique," 19 Septembre 2013.
- [29] "[https://www.lamy-expertise.fr/actualites/conseil-immobilier-maison-appartement-construction/isolants-dits-nouvelle-generation,352.htm.](https://www.lamy-expertise.fr/actualites/conseil-immobilier-maison-appartement-construction/isolants-dits-nouvelle-generation,352.htm)"
- [30] "<https://www.isolation-info.fr/isolation-thermique-par-exterieur#:~:text=L'isolation%20thermique%20par%20l,thermique%20qui%20prot%C3%A8gera%20le%20b%C3%A2timent..>"
- [31] C. S. H. M. I. BOULKARAA, "La Renovation energetique dans l'habitat collectif en algerie: vers une strategie d'efficacite," Mémoire de Master, Université Mohamed Seddik BENYAHIA – Jijel, 11 /07/2019, pp. 73.
- [32] S. RAHMOUNI, "Evaluation et Amélioration Energétiques de Bâtiments dans le cadre du Programme National d'Efficacité Energétique," Thèse de Doctorat, Université Mostepha Ben Boulaid- Batna 2, 29 /01/2020, pp. 120.
- [33] M. B. HASSINE, "Développement d'une approche pour l'utilisation optimale de simulation énergétique en amont du processus de conception," Thèse de Magister, École de technologie supérieure université du Québec, 18/08/2015, pp. 93.
- [34] M. E. A. B. HACENE, "Aspects Energétiques, Economiques et Environnementaux d'une Habitation Ecologique," Thèse de Doctorat, Université Abou Bekr Belkaid - Tlemcen, 08 Mai 2013, pp. 140.
- [35] S. BONTEMPS, "Validation expérimentale de modèles: application aux bâtiments basse consommation," Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux, 2 Décembre 2015, pp. 206.
- [36] M. A. M. R. Guechhati, Ahm. Mezrhab et Abd. Mezrhab, "Simulation de l'effet de l'isolation thermique des bâtiments Cas du centre psychopédagogique SAFAA à Oujda," Université Mohammed 1er, 60000 Oujda, Maroc, 25 Mai 2010.
- [37] M. M. DALEL, "Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment," Thèse de Magister, Université Mentouri de Constantine, 06./11/.2006, pp. 303.
- [38] A. m. s. A. karim, "Etude et Simulation de la Climatisation sous TRANSYS," Mémoire de Master, Université Akli Mohand Oulhadj-Bouira-, 2017 /2018, pp. 60.
- [39] B. Samira, "Impact de l'orientation sur le confort thermique intérieur dans l'habitation collective. Cas de la nouvelle ville Ali Mendjeli Constantine," Thèse de Magister, Université Mentouri Constantine, 2004-2005, pp. 247.
- [40] T. MARCHAL, "Modélisation en régime dynamique d'une maison basse énergie Etude de cas « Maison Politechnica »," Mémoire de Master, Université de Lorraine, 3 septembre 2014, pp. 52.

Chapitre IV : Simulation, résultats et discussion

L'objectif de ce chapitre est d'étudier l'évolution de la température de l'air et la consommation énergétique dans une zone située dans la Wilaya de Bechar à l'aide du programme TRANSYS. La première partie est consacrée aux étapes de simulation. Dans la deuxième partie de ce chapitre, les résultats obtenues au cours de ce travail sont présentés et discutés.

IV.1. Etude d'un modèle virtuel à Béchar

La wilaya de Béchar est une wilaya algérienne située dans l'ouest du Sahara algérien à une latitude de 31.6563 ° nord et longitude -2,367 ° ouest, et caractérisé par un climat désertique sec et chaud.

Cette étude porte sur le cadre bâti résidentiel autoproduite à Béchar. Les tests de simulation ont été effectués pour l'année (soient de janvier à décembre). L'investigation a porté sur les principaux composants de l'enveloppe : les parois verticales (les murs) et horizontales (les toitures), considérant que ces éléments ont un impact effectif sur le confort thermique et la consommation énergétique. L'étude paramétrique s'est basée sur un modèle virtuel, le modèle correspond à une chambre d'une hauteur sous plafond de 3 m, de longueur de 5m, et de largeur de 4m.

Les tests visent à évaluer la performance énergétique, en calculant les besoins énergétiques à l'intérieur d'une chambre (modèle virtuel) qui sera simulée, à l'aide du logiciel TRNSYS 16, sous les conditions climatiques de Béchar. Nous avons étudié les points suivants :

- La variation annuelle de la température intérieure à l'absence de chauffage et de climatisation.
- La variation annuelle de la température intérieure avec le chauffage et la climatisation.
- L'effet de l'isolation thermique sur la température intérieure pour un mois de janvier.
- L'effet de l'isolation thermique sur la consommation énergétique de chauffage.

Le tableau IV.1 suivant montre les propriétés thermo physiques des matériaux choisis pour l'isolation thermique.

Matériaux	K (W/ m. K)	Cp (J./Kg. K)	ρ (Kg/m ³)	Epaisseur (m)
MFPD (Mortier de Fibres de Palmier Dattier)	0.083	1485.26003	983.72	0.15
BDV (Béton de chanvre)	0.1	1530	440	0.1

Tableau IV.1: Propriétés thermiques des matériaux étudiés[1].

IV.2. Les étapes de simulation

Nous allons d'écrire dans ce qui suit les différentes étapes de simulation :

1ère étape : Lancement du programme et création d'un projet



Figure IV.1 : La fenêtre principale d'où il y'a le menu principal et les commandes principaux du présent logiciel.

La simulation de bâtiments multizone sous TRNSYS commence par le choix de « Building Project » pour créer un nouveau projet. Il est présent édans la figure IV.2.

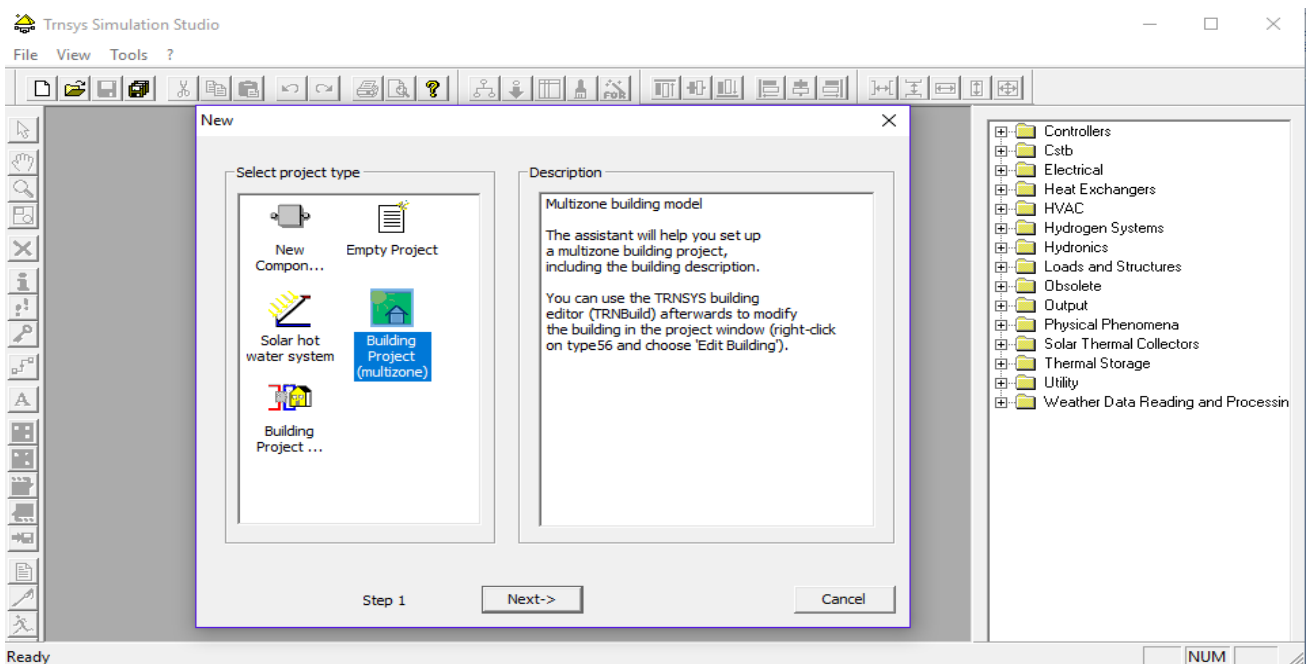


Figure IV.2 : Fenêtre pour la création d'un nouveau projet multizone sous TRNSYS

✓ Nous S électionnons de la zone à étudier

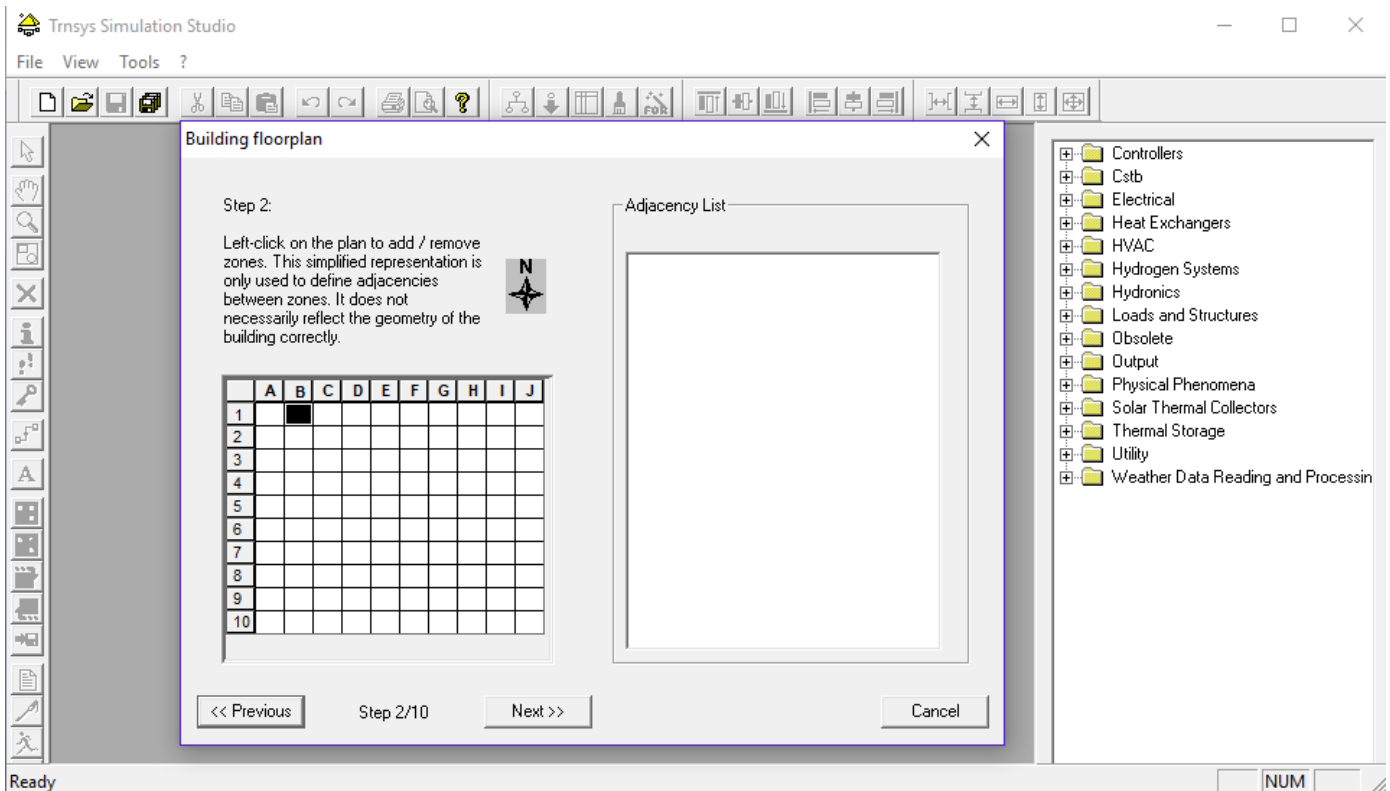


Figure IV.3 : représentation des zones

✓ Dimensionnement de la zone

Cette fenêtr est pour défini les dimensions des zones tout en sélection la zone à dimensionner, nous entrons (hauteur, largeur et profondeur)de la chambre et le volume sa sera calcul éautomatiquement.

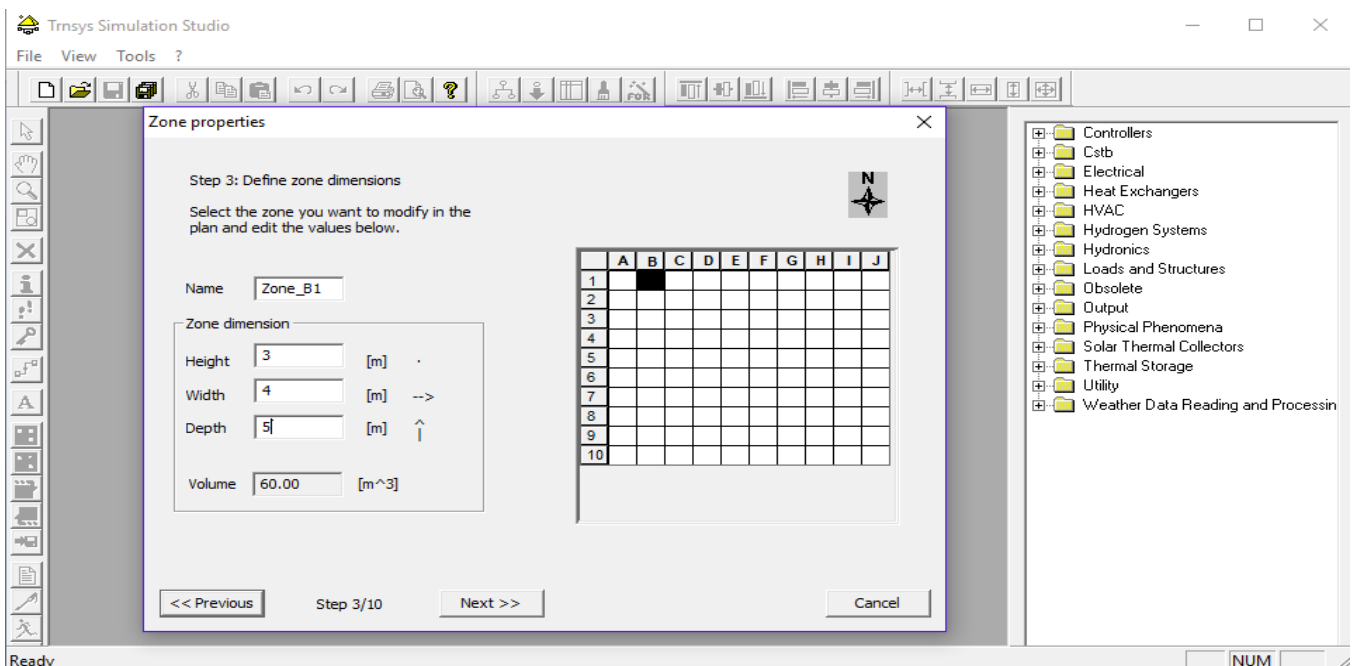


Figure IV.4: dimensionnement des zones (suite).

✓ Introduction des données climatiques

La fenêtre est consacrée à l'orientation de la zone, et pour choisir la localité à étudier en cliquant sur bouton Browse....

Nous choisissons location et les données climatiques de la ville «Bechar », la figure IV.5 montre une interface graphique de la modélisation réalisée sous TRNSYS 16.

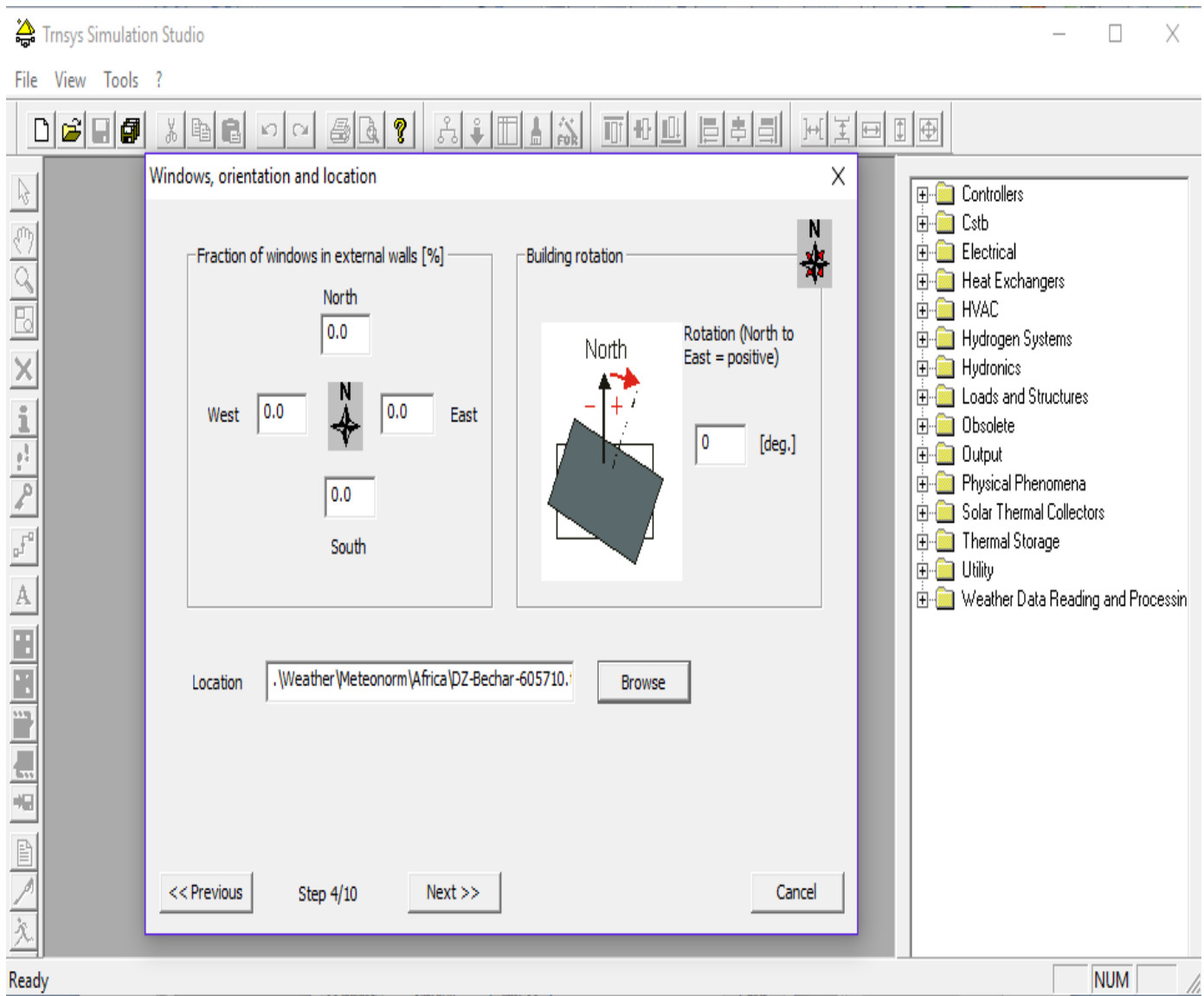


Figure IV.5: orientation et localisation des zones.

✓ **Chauffage et Climatisation.**

On spécifie le taux de renouvellement d'air puis on clique sur «next »

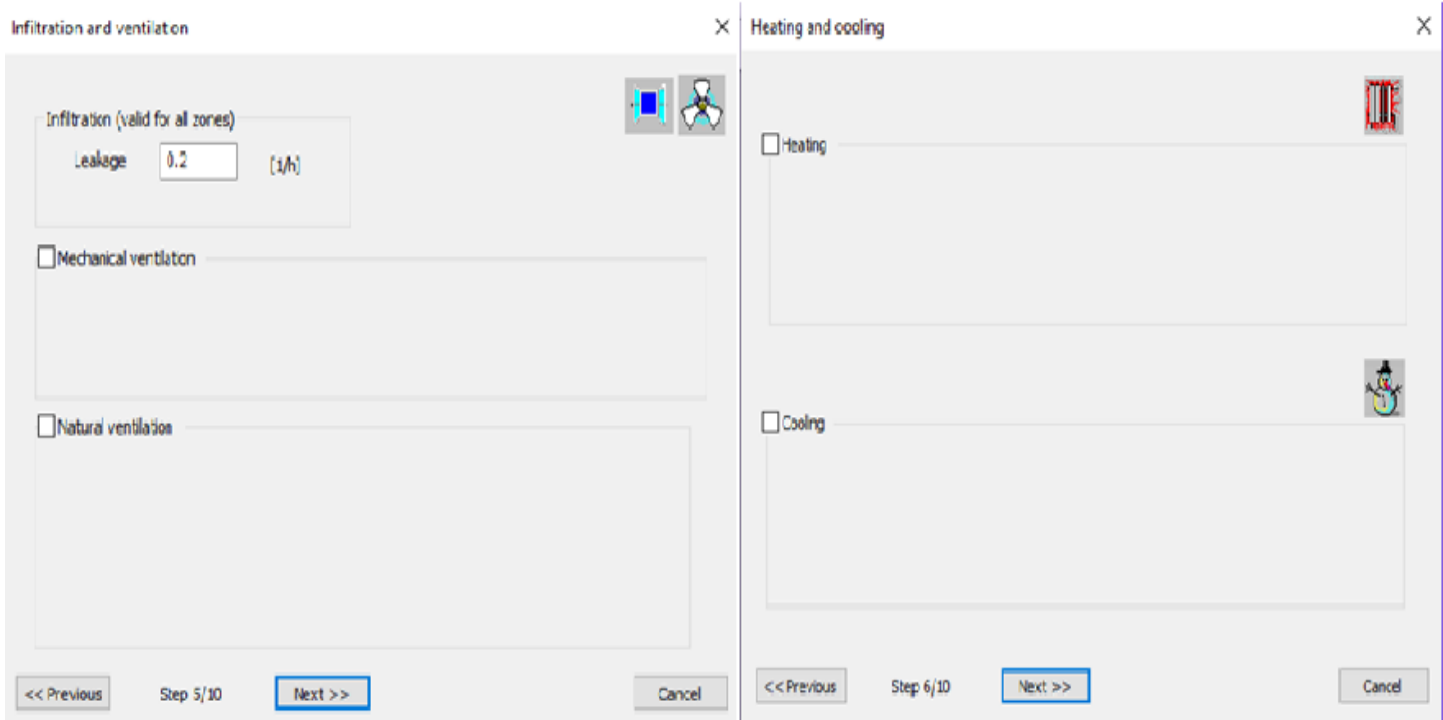


Figure IV.6:Fen être infiltration et ventilation et climatisation

✓ **Gains et Eclairage**

On spécifie les différents apports intérieurs et on clique sur «next »

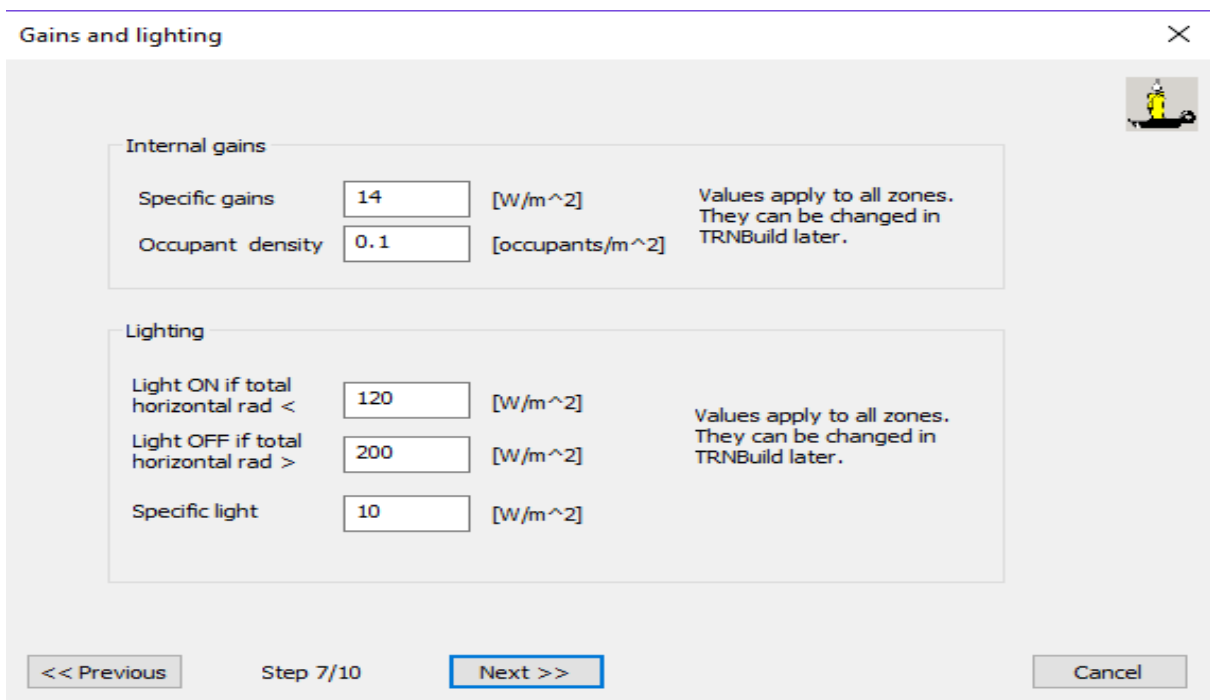


Figure IV.7:Fen être ; Gains et Eclairage.

✓ Génération du projet

On clique sur « Create project ». A ce niveau du logiciel, le projet est généré

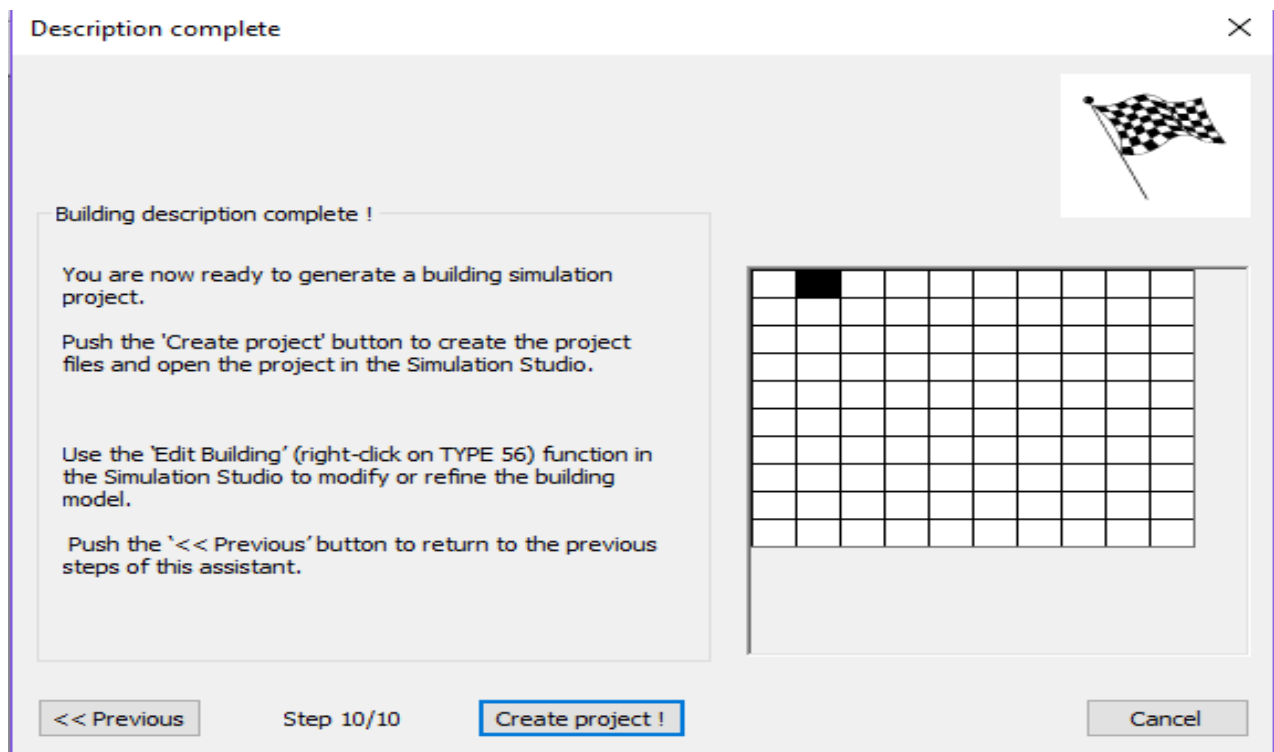


Figure IV.8: Fenêtre de l'achèvement de création du projet

2ème étape: TRNbuild

La représentation de notre projet s'affiche sous forme d'icônes reliés entre eux par des liens, les icônes représentent le bâtiment et les autres facteurs intervenants et qu'on effectue sur notre système construit.

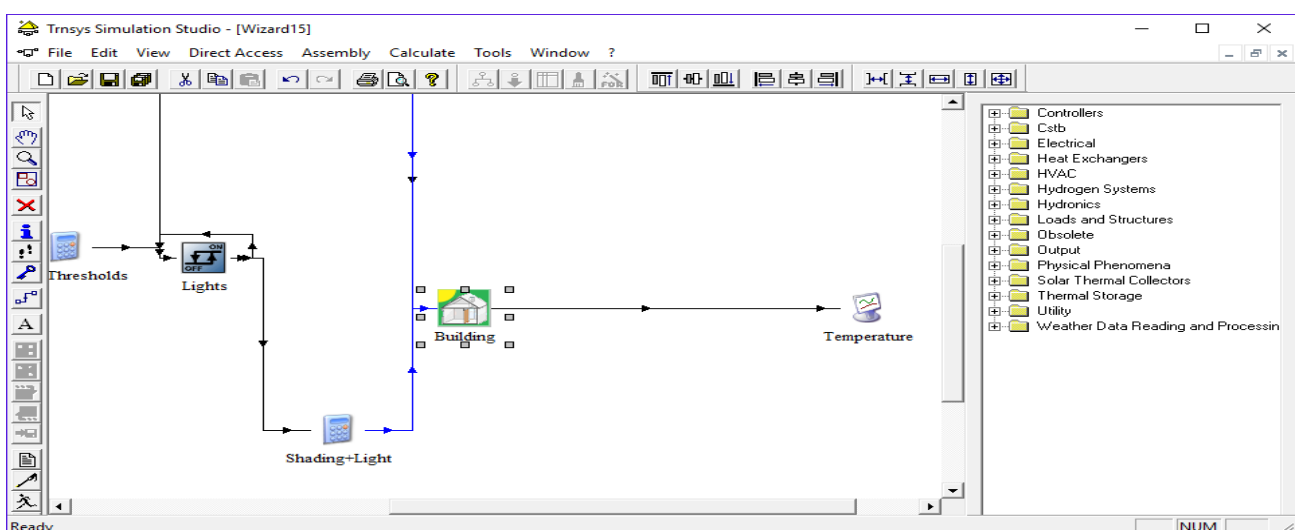


Figure IV.9 : représentation visuelle du projet.

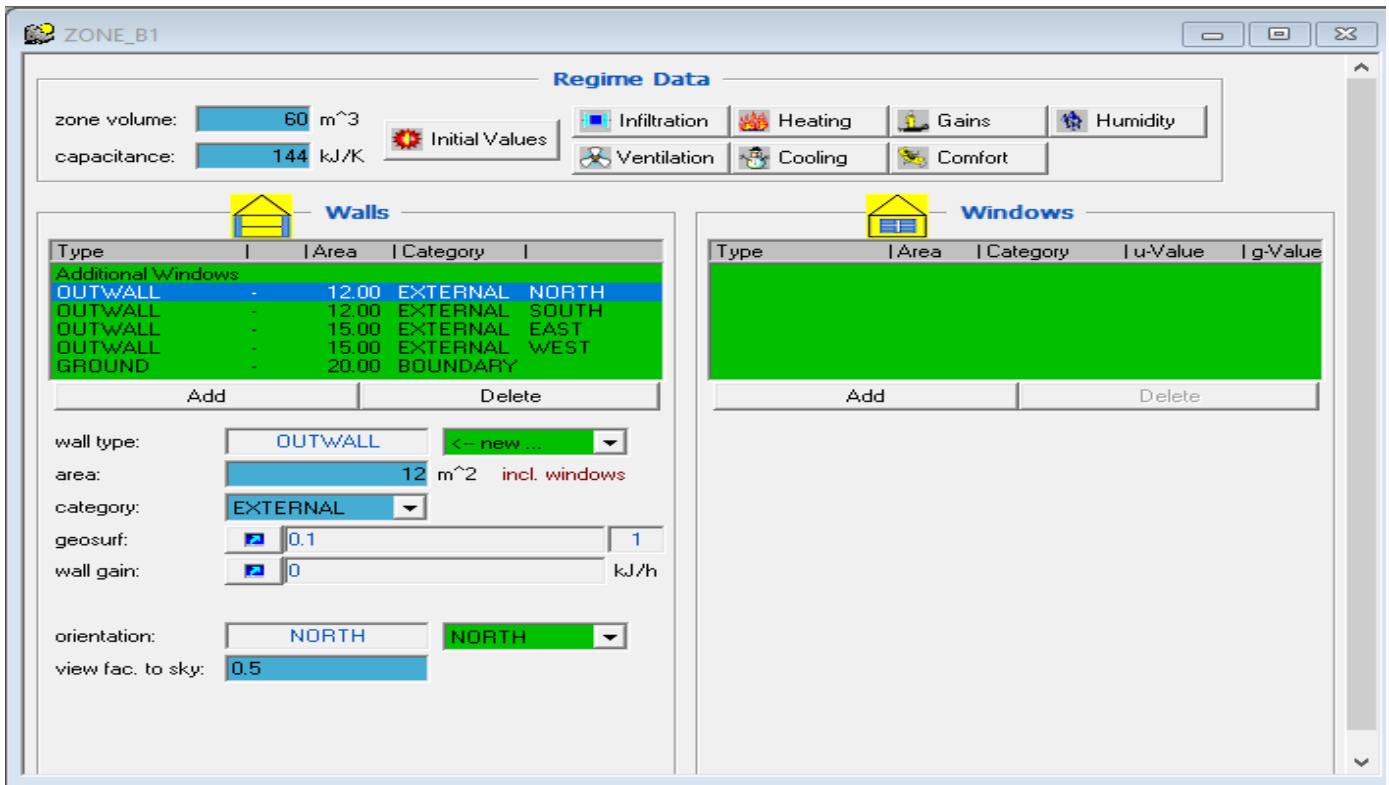


Figure IV.10: Fen être pour TRNbuild

✓ Activer le chauffage

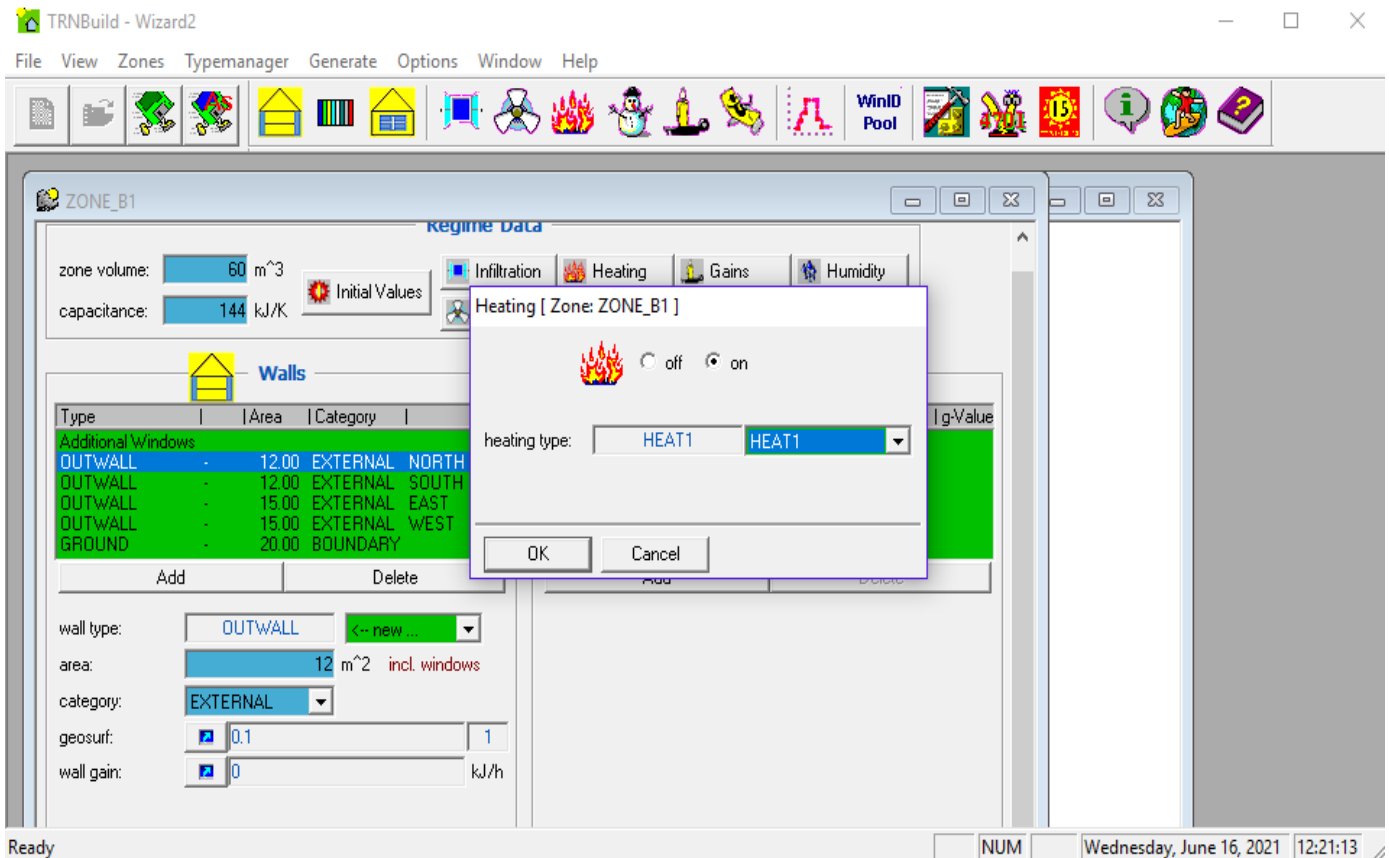


Figure IV.11: Fen être pour TRNbuild (Activer le chauffage).

✓ Activer la climatisation

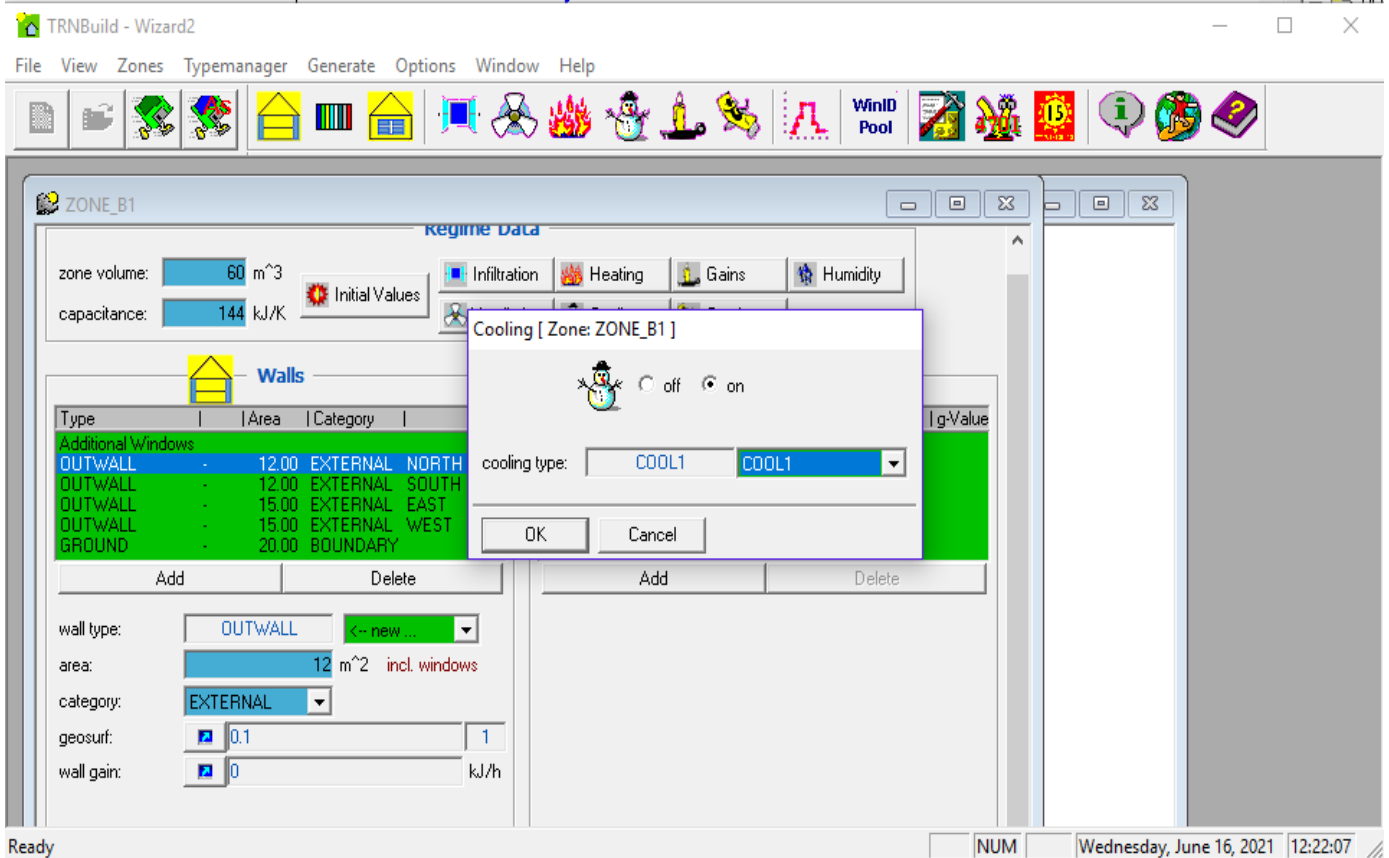


Figure IV.12: Fen être pour TRNbuild (Activer la climatisation).

✓ Ajouter un isolant

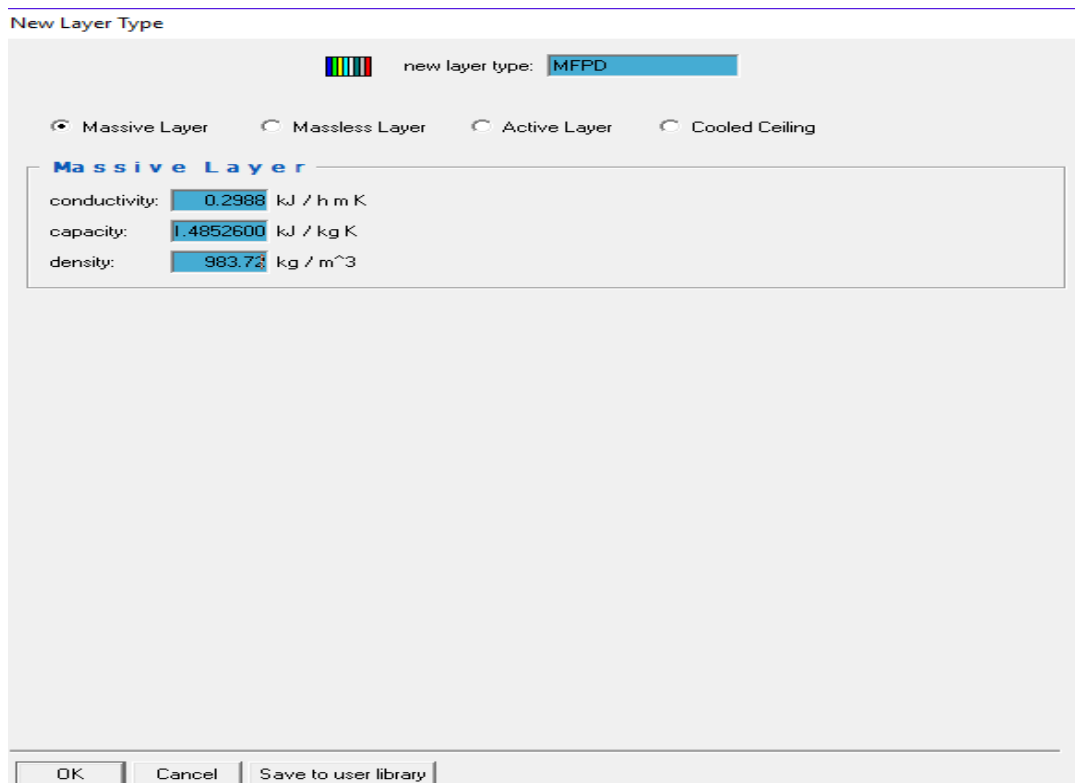


Figure IV.13: Fen être pour nouveau type de calque

✓ Isolation ext érieur

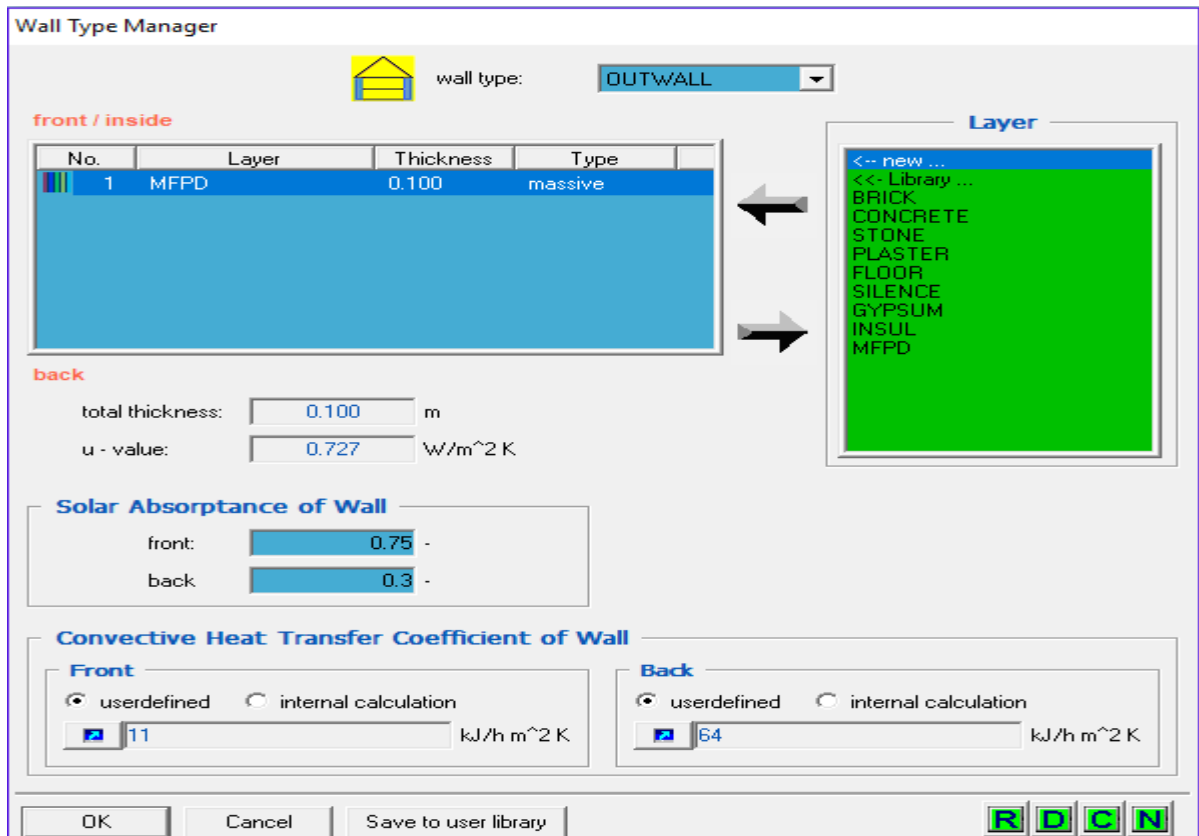


Figure IV.14: Fen  tre gestionnaire de type de mur.

Apr  s enregistrement du projet dans TRNBUILD, on revient sur TRNSYS pour lancer la simulation.

Les donn  es climatiques sont trouvees dans la base des donn  es m  t  orologiques mondiale «meteonorme »qui facilite les exports vers TRNSYS.

Le tableau IV.3 pr  sente une liste des locaux en alg  rie, avec la longitude, la latitude et l'altitude de l'emplacement. Les stations primaires pour lesquelles des donn  es de rayonnement solaire ont  t   enregistr  es sont identifi  es par un "1" dans la colonne "SR".

No	Location	Lat [°N]	Lon [°E]	Elev [m]	SR	FileName
Algeria (DZ)						
1	Bechar	31.62	-2.23	772	1	DZ-Bechar-805710.tm2
2	Darel Beida	36.72	3.25	25	1	DZ-Darel-Beida-803900.tm2
3	Tamanrasset	22.78	5.52	1377	1	DZ-Tamanrasset-806800.tm2

Tableau IV.2 :locaux disponibles dans le logiciel meteonorme (base des donn  es m  t  orologiques mondiale),Alg  rie

Le tableau ci-dessous montre comment calculer le temps dans TRNSYS :

Mois	Jour	heure	heure
JAN	1	0	774
FEB	32	774	1416
MAR	60	1416	2160
ABR	91	2160	2880
MAY	121	2880	3624
JUN	152	3624	4344
JUL	182	4344	5088
AUG	213	5088	5832
SEP	244	5832	6552
OCT	274	6553	7296
NOV	305	7296	8016
DEC	335	8016	8760

Tableau IV.3 : Le temps ; de janvier à février ; avec TRNSYS

IV.3.Resultats et discussion

IV.3.1. La variation de la température

Cas 1: Sans chauffage et climatisation

La figure IV.15 montre la variation de la température dans la zone étudiée pour une année (de janvier jusqu'à décembre), sous conditions climatiques de béchar.

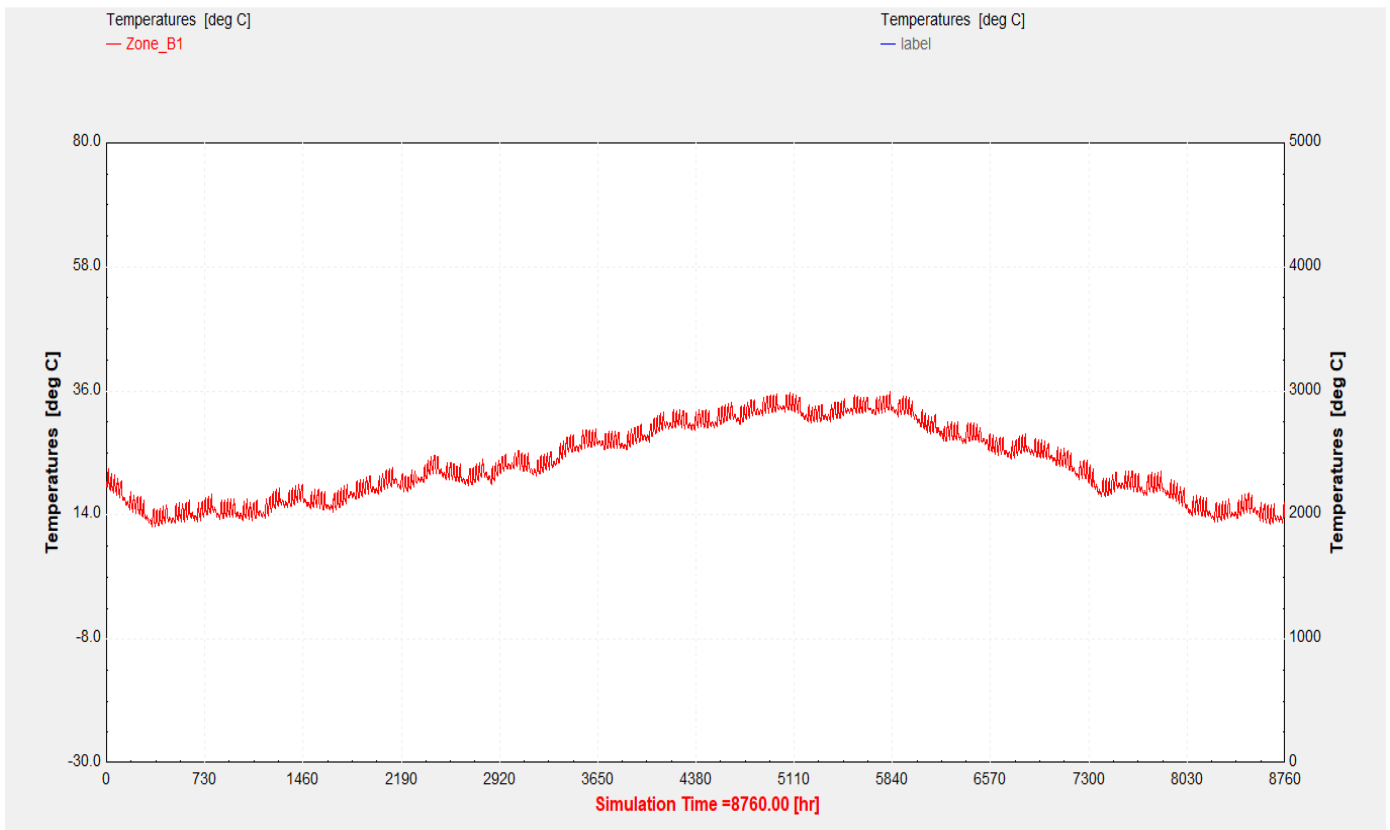


Figure IV.15: La variation annuelle de la température (de janvier à décembre) dans la zone étudiée (Sans chauffage et climatisation)

L'année passe par quatre saisons, dont chacune s'étend sur une certaine période de temps, et chaque saison se distingue des autres par des conditions climatiques, telles que : sa température.

D'après la figure IV.16, on remarque que la température au mois de janvier varie de 12 °C pour la nuit à 17 °C pour la journée.

Généralement, on remarque dans les mois de janvier et février (Semestre Hiver) une baisse de la température, il est la saison la plus froide de l'année.

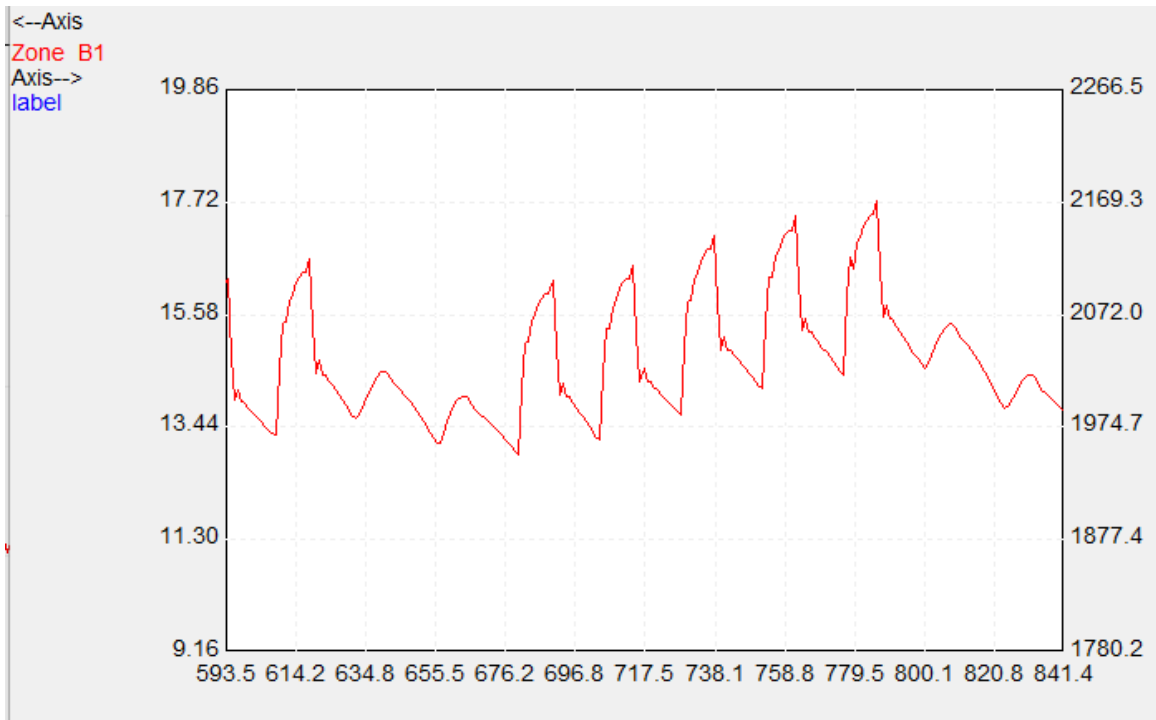


Figure IV.16 : Variation de la température intérieure pendant un mois de janvier

Quant aux mois de mars, avril et mai, (Semestre Spring) on constate une légère augmentation de la température jusqu'à atteindre des valeurs de 24 à 28 degrés Celsius, au printemps, le temps devient plus chaud et plus humide.

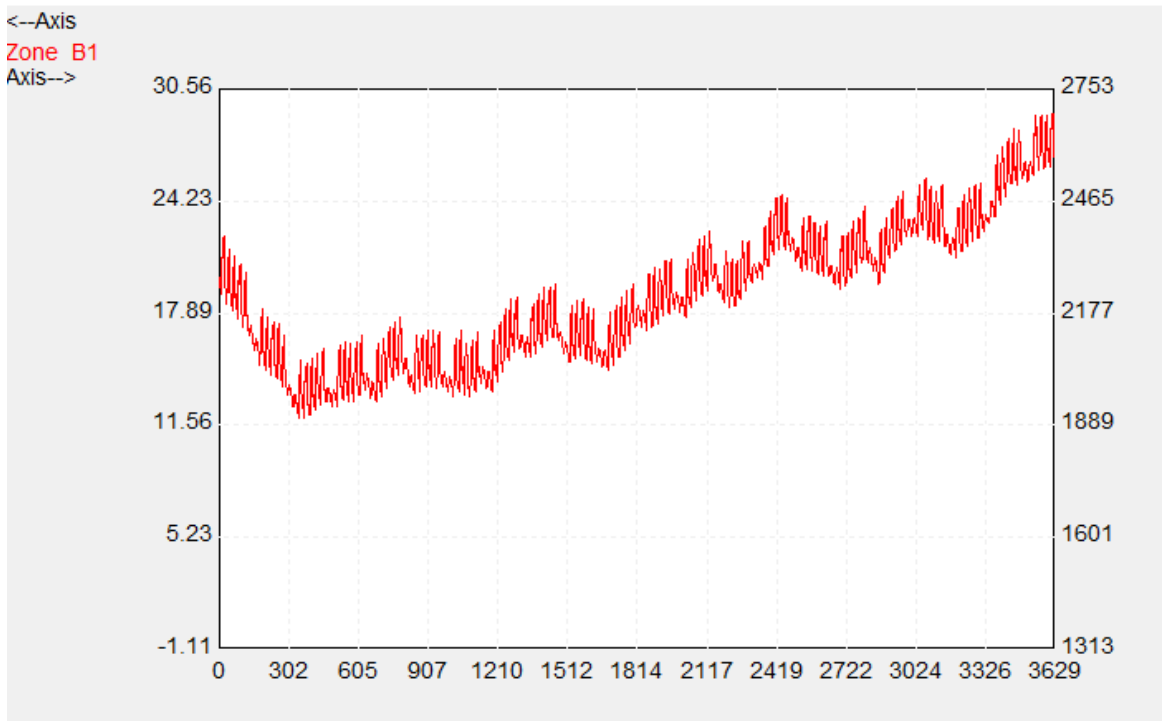


Figure IV.17 : Variation de la température intérieure pour les mois de janvier à mai

Aux mois de juin, juillet et août, (Semestre d'été) la température augmente rapidement jusqu'à atteindre une valeur de 35 degrés Celsius, c'est la saison la plus chaude lorsque les températures atteignent leur maximum au cours de l'année.

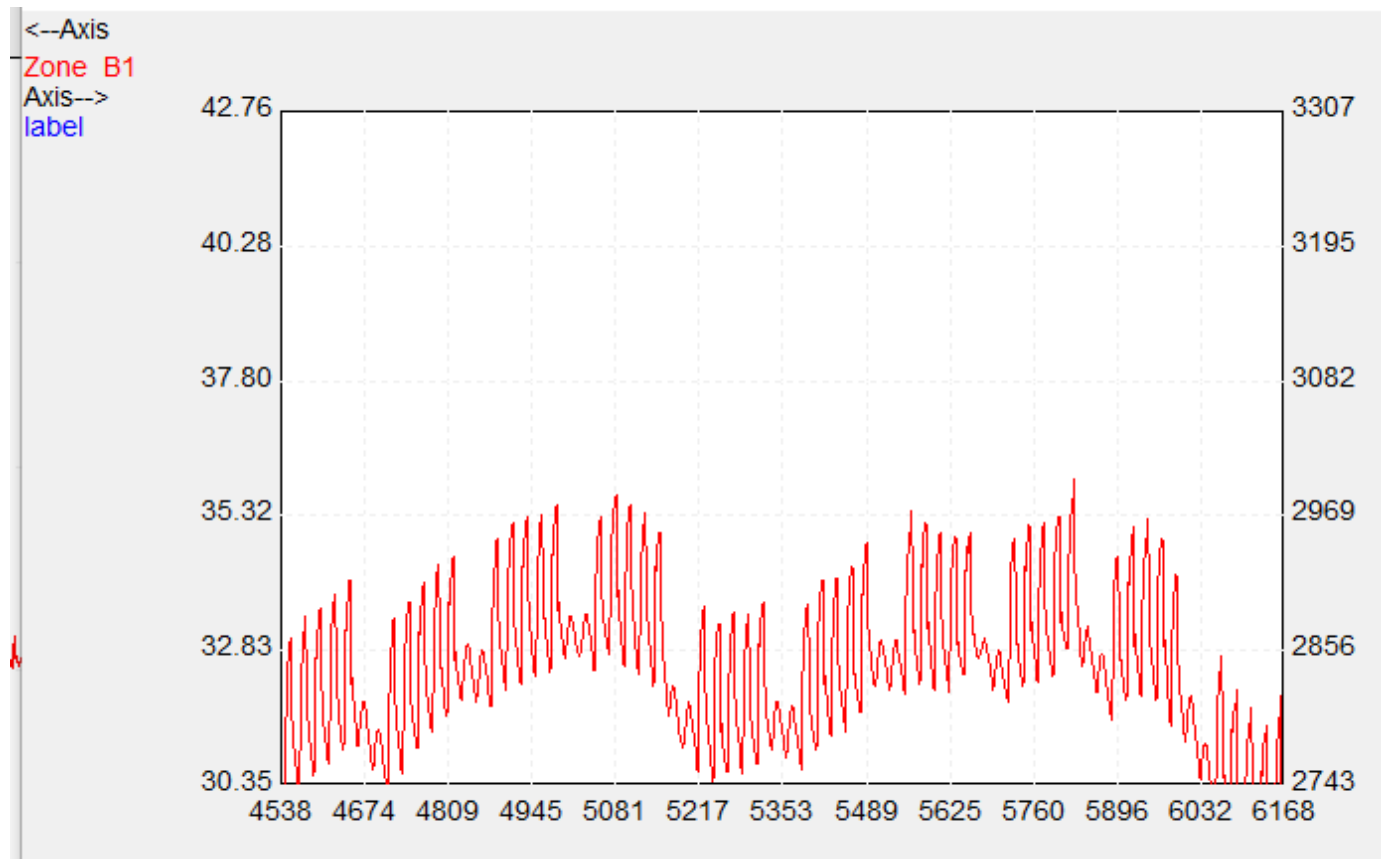


Figure IV.18 : Variation de la température intérieure pendant les mois « Juin, juillet, août »

Jusqu'à ce qu'il diminue aux mois de septembre, octobre et novembre (Semestre d'automne) à une valeur de 25 degrés Celsius, c'est la saison où les températures redescendent se préparent à recevoir le froid, et continue de diminuer continuellement au mois de décembre à une valeur de 14 °C (Figure IV.19).

La raison de ces changements est due au manque de climatisation et de chauffage, comme la figure montre, les besoins de climatisation et de chauffage où le climat de l'état de Bechar est caractérisé par des températures basses élevées en hiver et des températures très élevées en l'été, et cette spécificité climatique conduit à nécessiter une climatisation douce et continue tout l'été et un chauffage l'hiver.

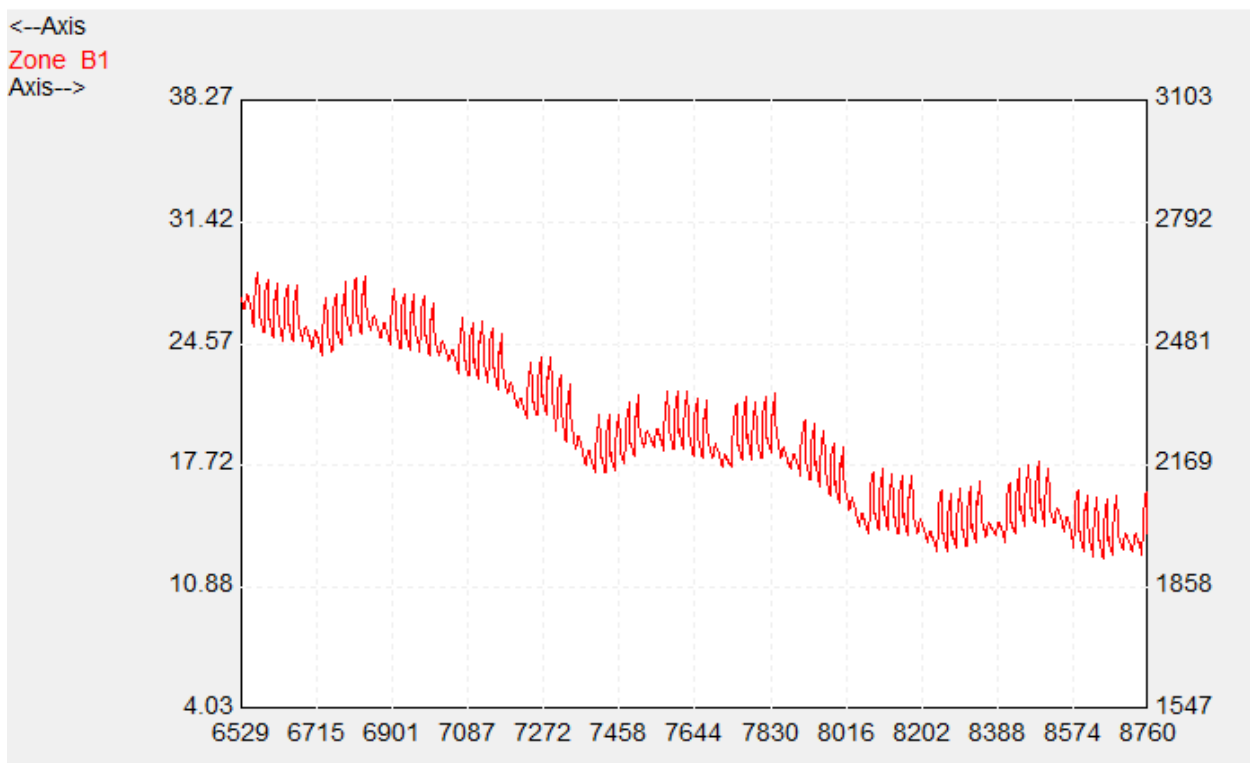
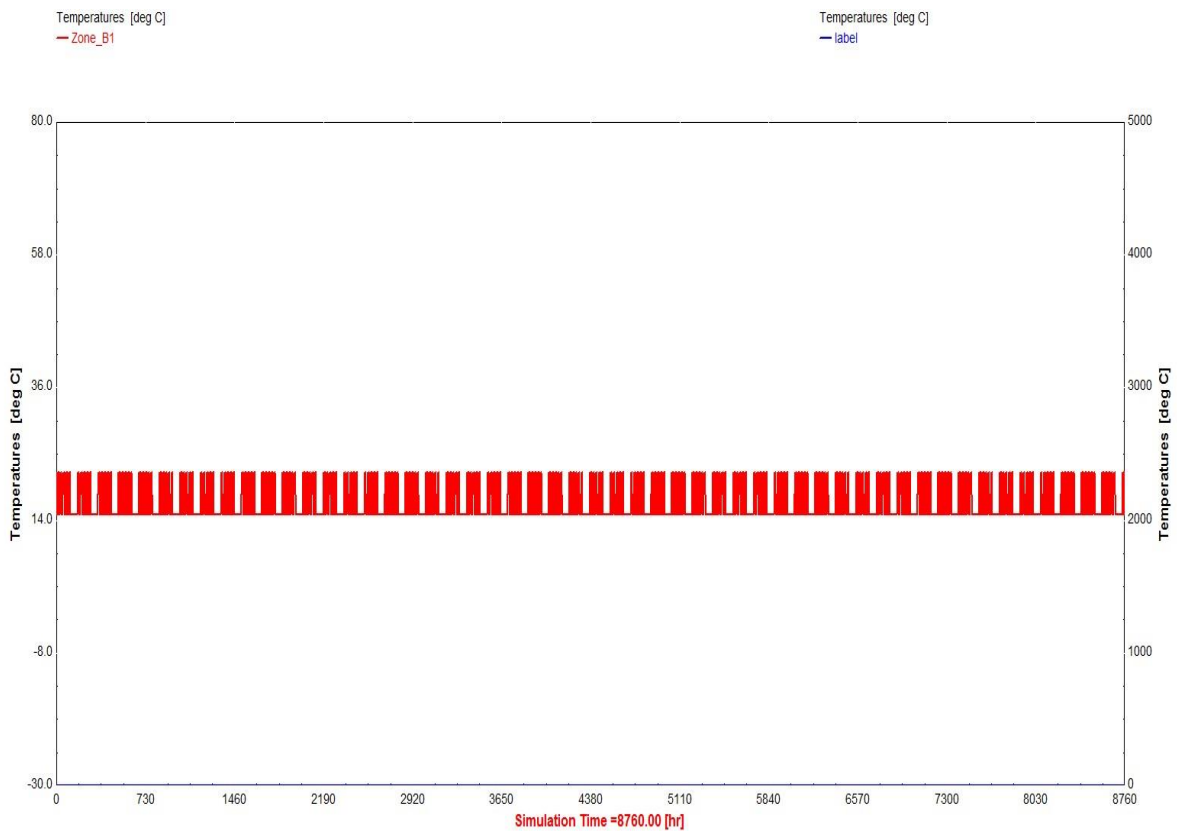


Figure IV.19 : Variation de la température intérieure pendant les mois de Septembre à décembre.

Cas 2 : Avec chauffage et climatisation

La figure IV.20 montre la variation annuelle de la température au cas de chauffage et climatisation.



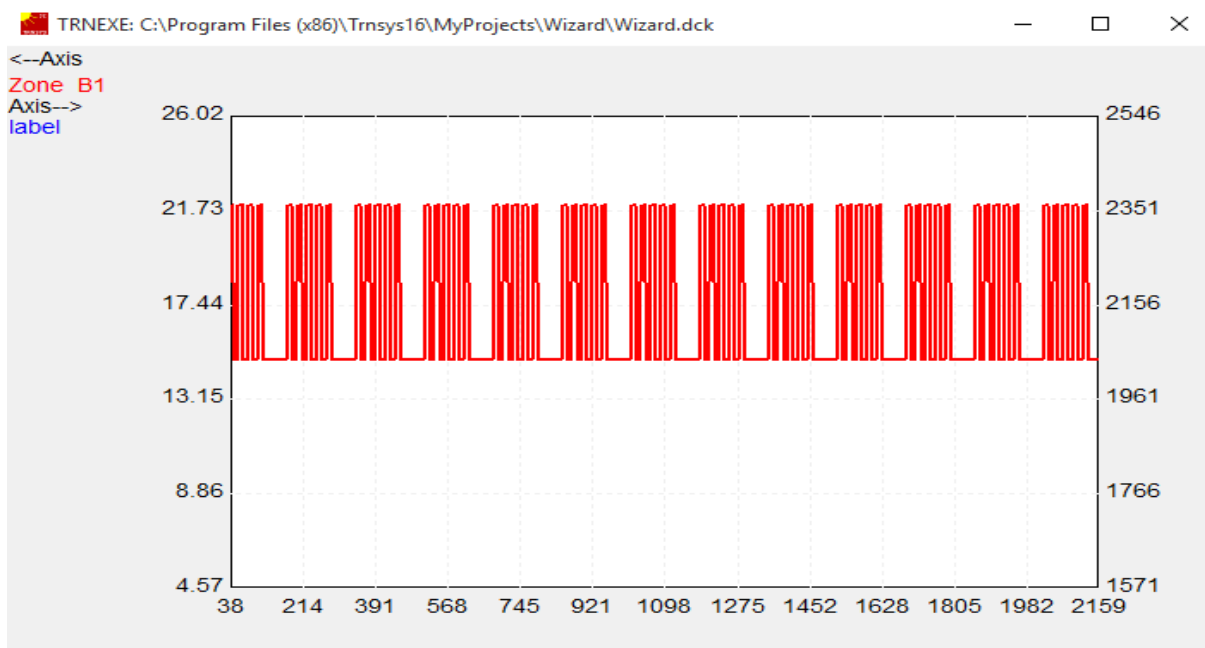


Figure IV.20 : La variation de température annuelle de la zone étudiée (Avec chauffage et climatisation)

On note que la température pour la nuit est de 15 °C et augmente pendant la journée jusqu'à se stabiliser à 22 °C.

La raison de ces changements dans l'utilisation du chauffage et de la climatisation est que la climatisation est une mesure de contrôle volontaire de la température et/ou de l'humidité afin de satisfaire le confort thermique des utilisateurs. Il s'agit donc de chauffer et/ou de refroidir la masse d'air dans la pièce tout au long de la journée.

La climatisation est un mode pratique de confort thermique lorsque la température extérieure est élevée. En été et à l'extérieur, le besoin de climatisation est dû aux entrées extérieures mais aussi aux entrées intérieures (grand nombre de passagers, appareils électriques comme l'éclairage, petits ordinateurs, etc.). Mais aussi en hiver en utilisant le même système pour chauffer les bâtiments.

IV.3.2. L'effet de l'isolation thermique sur la température intérieure

Les caractéristiques des murs, plancher et plafond (dimensions, matériaux, ...) dans chaque zone ont été obtenues à partir du dessin d'architecture. Le modèle de la maison mono-zone par le logiciel TRNSYS permet à l'utilisateur de construire des types de murs multicouches dans lequel chaque couche est un matériau unique. Les propriétés thermo physiques de chacune des couches (conductivité thermique, densité, épaisseur, ...etc.) sont entrées par l'utilisateur ou choisies à partir d'une bibliothèque existante.

Les propriétés thermophysiques de toutes les couches des murs intérieurs et extérieurs et du toit (conductivité thermique, densité, chaleur spécifique, épaisseur, etc.) sont soit saisies par l'utilisateur, soit sélectionnées dans une bibliothèque existante. Les courbes ci-dessous présente la variation de la

température intérieure de mois de janvier pour les deux matériaux ; le mortier à base de fibre de palmier dattier, et le béton de chanvre.

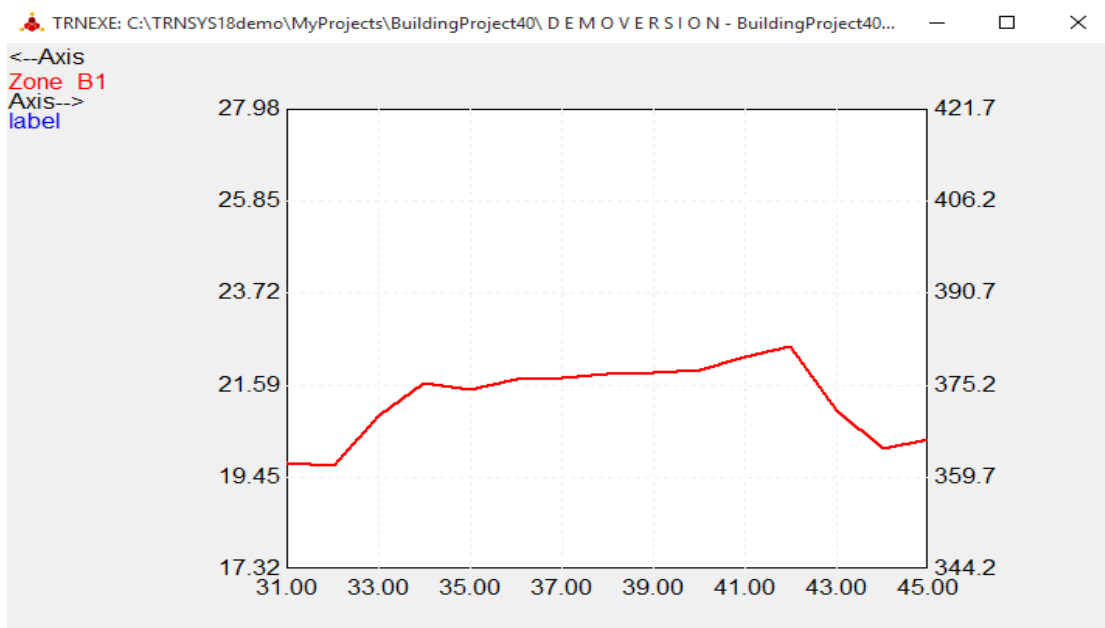
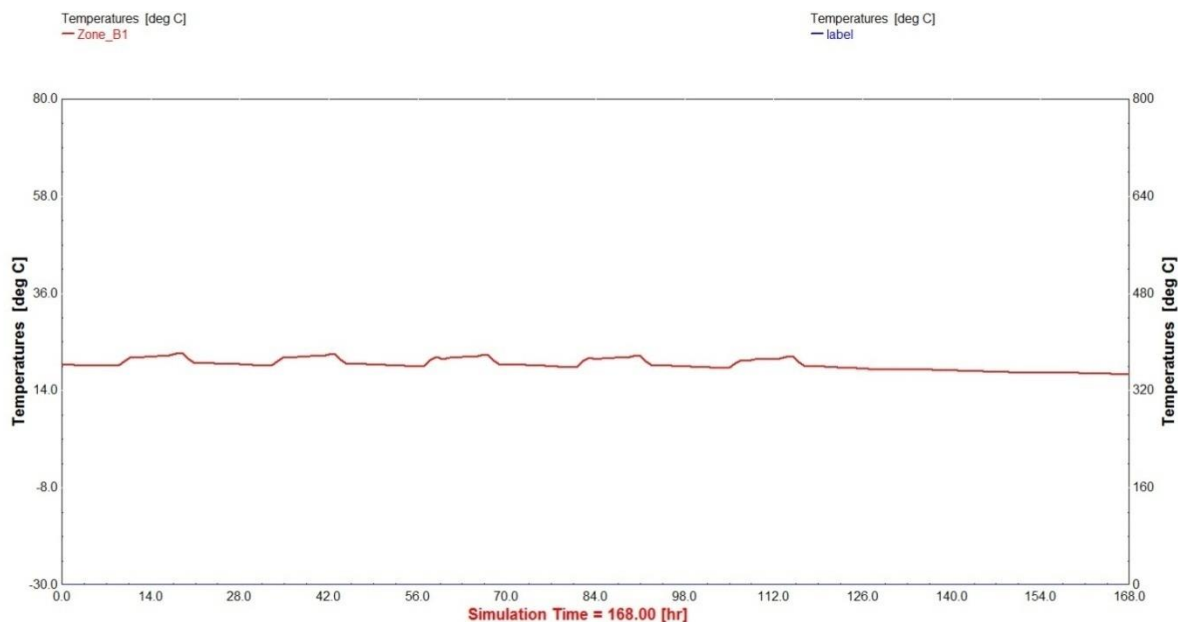


Figure IV.21: variation de la température de la zone étudiée pour un mois de janvier (avec l'isolant MFPD)

Lors de l'ajout de l'isolant MFPD, nous remarquons que la valeur de la température pendant la journée atteindrent la valeur de 22,76 degrés Celsius.

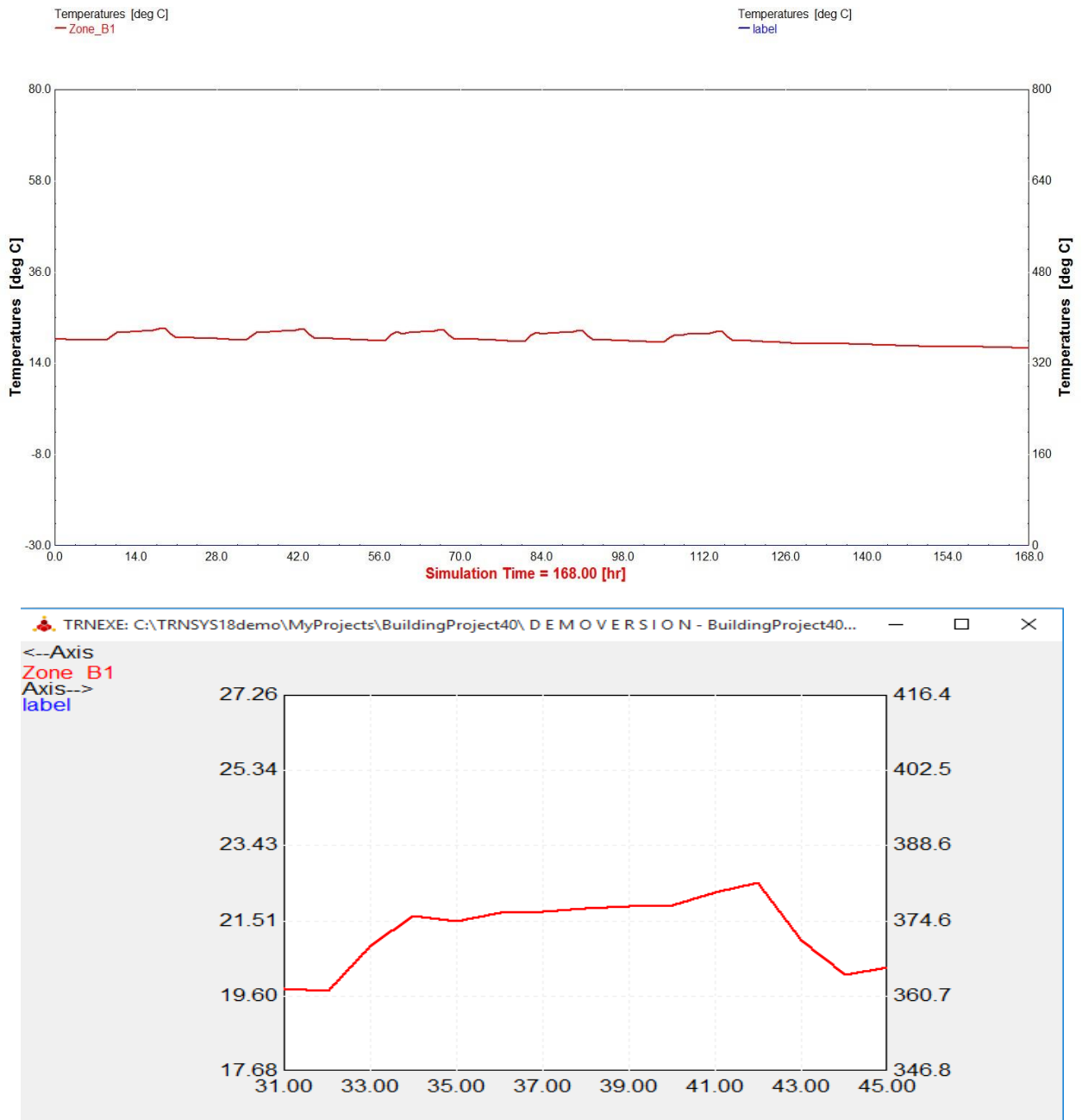


Figure IV.22 : variation de la température de la zone étudiée pour un mois de janvier (avec l'isolant BDV)

D'autre part, lors de l'ajout de l'isolant BDV, nous remarquons que la valeur de la température atteindra la valeur la plus élevée de 22,63 °C pendant la journée.

En comparant les valeurs des courbes, on peut voir qu'il y a une petite différence entre les températures intérieures correspondant à l'isolant BDV et à l'isolant MFPD, ce qui montre que ces matériaux sont de bons isolants et ça est dû à ses propriétés thermiques, plus la conductivité thermique est faible, plus le matériau est isolant, c'est pourquoi le choix d'un bon isolant dépend de la conductivité thermique. Son épaisseur est également affectée, plus la résistance est élevée, plus l'isolation est efficace. Les variations de température sont dues à l'utilisation d'isolants qui réduisent considérablement les pertes thermiques à travers l'enveloppe du bâtiment et limitent les ponts thermiques.

L'isolation thermique protège le bâtiment des changements climatiques et des fluctuations météorologiques, car elle réduit la différence de température causée par la température élevée due au soleil pendant la journée et la basse température la nuit ainsi qu'en été en hiver.

IV.3.3. L'effet de l'isolation thermique sur la consommation énergétique (cas de chauffage)

Les figures ci-dessous présentent la variation de consommation d'énergie pour le chauffage pendant une année, et le mois de janvier.

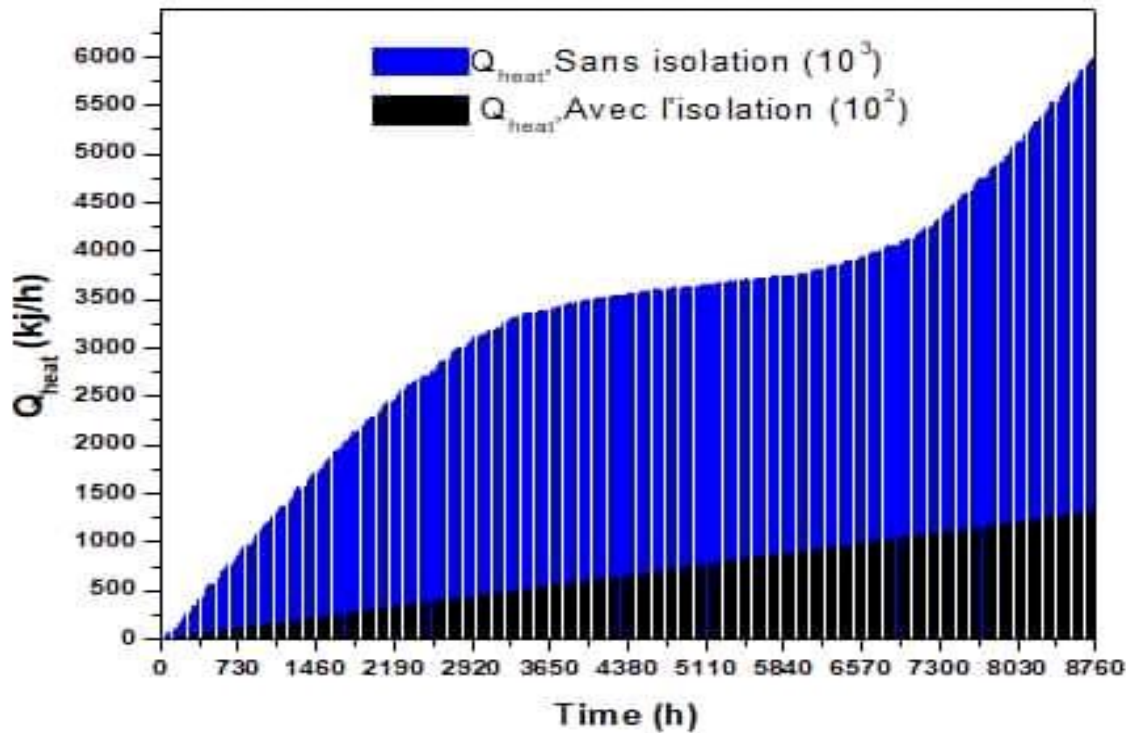


Figure IV.23 : Consommation énergétique annuelle (avec isolant (MFPD) et sans isolant)

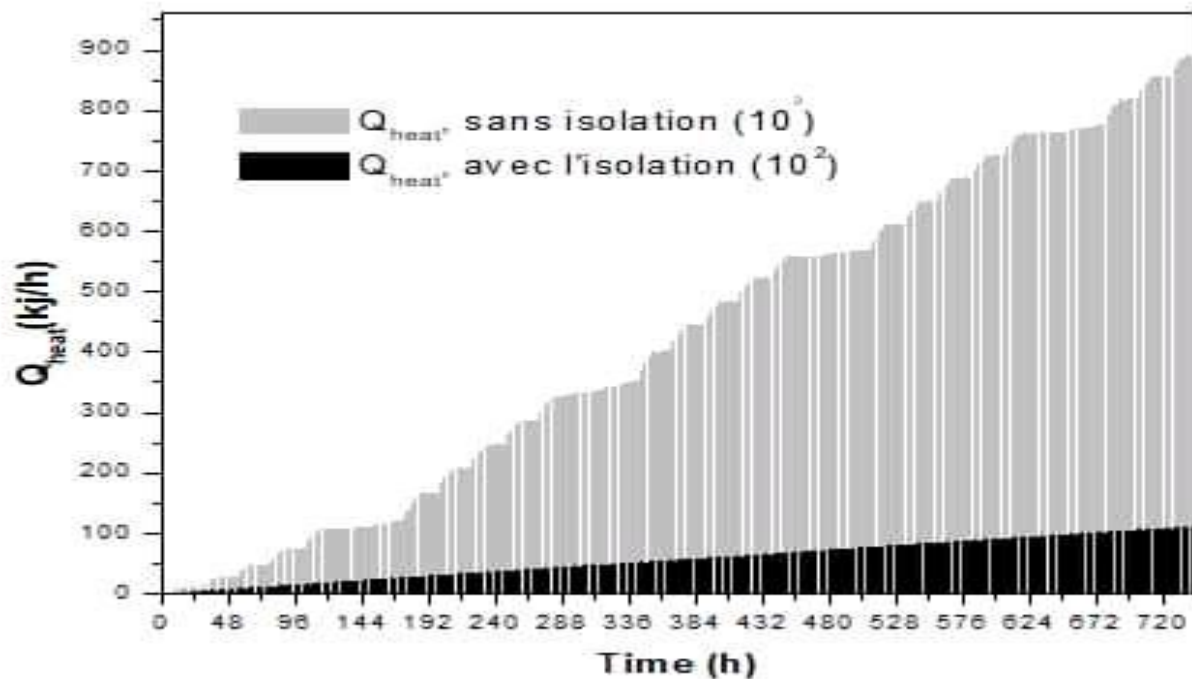


Figure IV.24 : Consommation d' énergie (avec et sans isolation) pour le mois de janvier

Avant d'utiliser l'isolant, on remarque que la consommation d'énergie est élevée, et cette consommation d'énergie peut atteindre 5750×10^3 kJ/h.

Aux mois de janvier et février, la valeur de la consommation atteint 1750×10^3 KJ/h et continue d'augmenter légèrement aux mois de mars, avril et mai jusqu'à atteindre une valeur de 3250×10^3 KJ/h.

Aux mois de juin, juillet et août, la valeur atteint 3500×10^3 KJ/h et continue d'augmenter rapidement pendant les mois de septembre, octobre et novembre jusqu'à ce que la consommation d'énergie atteigne la valeur de 4250 KJ/h et continue d'augmenter au mois de décembre à la valeur de 5750×10^3 KJ/h.

Après l'utilisation de l'isolation, la consommation d'énergie est réduite au cours de l'année et la consommation d'énergie atteint 1250×10^2 KJ/h.

Pour la figure 24, qui montre la consommation d'énergie (chauffage) en janvier, comme noté avant l'utilisation de « l'isolation » (sans isolation), la consommation d'énergie (chauffage) est élevée, et cette consommation d'énergie peut atteindre 900×10^3 kJ/h.

Après l'utilisation de l'isolation, la consommation d'énergie est réduite au cours en janvier et la consommation d'énergie atteint 100×10^2 KJ/h

L'énergie consommée dans le cas « avec l'isolation » est inférieure à l'énergie consommée pour le cas « sans isolation ». Par conséquent, le choix du matériau d'isolation réduit la consommation d'énergie pour le chauffage et augmente le confort car il réduit le besoin de chauffage autrement dit permet d'économiser de l'énergie.

- En été, l'isolation agit comme une barrière au chauffage extérieur et au rayonnement solaire.

- Une bonne isolation élimine "l'effet mur froid" en hiver

Le tableau ci-dessous représente la différence entre les valeurs de consommation d'énergie dans le cas d'isolation thermique et dans le cas de l'absence de l'isolation thermique.

Consommation énergétique (sans isolation) (kJ/h)	Consommation énergétique (avec l'isolation) (kJ/h)	Différence de consommation énergétique (kJ/h)
5970893,33	131117,5	5839775,83
5975917,55	131147,5	5844770,05
5985800,07	131177,5	5854622,57
5993218,91	131207,5	5862011,41
5999458,28	131237,5	5868220,78
6004965,4	131267,5	5873697,9
6009836,88	131297,5	5878539,38
6012081,26	131327,5	5880753,76
6012081,26	131357,5	5880723,76
6012300,62	131402,5	5880898,12

Tableau IV.4 : différence les valeurs de consommation d'énergie entre sans d'isolant et avec d'isolant

Nous remarquons d'après les valeurs du tableau ci-dessus qu'avant l'utilisation de l'isolation, les valeurs de consommation d'énergie étaient importantes et qu'avec l'isolation, les valeurs de consommation sont faibles, comme en témoignent les valeurs. De la différence entre eux. Par conséquent, le rôle des isolants bloque le flux de chaleur à travers les murs vers l'intérieur en été ou vers l'extérieur en hiver.

IV.4.Conclusion

Nous pouvons conclure que la simulation par le programme TRANSYS nous a montré ce qui suit :

L'obtention d'une isolation efficace réduit les pertes de chaleur et réduit ainsi les besoins énergétique. Ainsi, l'isolation de nos maisons assure le confort et réduit le coût de la facture. Les performances d'isolation thermique sont déterminées par un certain nombre de paramètres qu'il est intéressant de comparer lors du choix d'un matériau. Plus la conductivité thermique est faible, plus le matériau isolant est élevé, c'est pourquoi le choix d'une bonne isolation dépend de

la conductivité thermique. Par conséquent, l'énergie consommée avec isolation est inférieure à l'énergie consommée sans isolation.

L'isolation extérieure de l'enveloppe du bâtiment est très importante pour augmenter la résistance thermique des éléments de construction afin de réduire les pertes de chaleur tout au long de l'année.

Grâce à cette isolation, il est possible d'augmenter le confort intérieur de la maison sans avoir recours à des équipements de chauffage ou de climatisation.

Références

- [1] N. BENMANSOUR, "Développement et caractérisation de composites naturels locaux adaptés à l'isolation thermique dans l'habitat," Thèse de doctorat, Université Hadj Lakhdar de Batna, 18/05/2015, pp. 146.

Conclusion g é n é r a l e

Le bâtiment est un secteur économique clé car il est très consommateur d'énergie et émet des gaz à effet de serre, et la climatisation et le chauffage consomment une grande partie de l'énergie. Pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments, nous avons vu dans cette recherche que l'efficacité énergétique des bâtiments émerge comme un moyen majeur d'aller vers des bâtiments plus efficaces.

Aujourd'hui, il est absolument nécessaire d'intégrer l'efficacité énergétique dans toutes ses dimensions dans la conception des maisons, de développer de nouveaux matériaux qui contribuent à l'efficacité énergétique pour un développement durable. Pour cela, il est nécessaire de développer une stratégie d'efficacité énergétique des bâtiments.

La recherche modeste que nous avons développée a été d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments et pour atteindre cette bonne efficacité nous devons prendre en compte la conception efficace des bâtiments et la conception de la maison se limite à la sélection de plusieurs façons d'atteindre confort thermique, y compris l'isolation thermique.

Les résultats obtenus en étudiant la variation de la température de l'air dans une zone située dans la Wilayat de Bechar ont montré qu'en l'absence de chauffage ou de climatisation, la température est très élevée en été et basse en hiver au cours de l'année. Lors de l'utilisation du chauffage et climatisation, il y a un changement de température dû à présence d'équipements qui contrôlent la température et/ou mesurent l'humidité afin de répondre au confort thermique.

Lors de l'ajout d'isolant, le changement de température est observé car l'isolation thermique protège le bâtiment du changement climatique et des fluctuations météorologiques car elle réduit la différence de température résultant de la température élevée due au soleil pendant la journée et de la baisse de température de la nuit. Ainsi que, l'isolation thermique des bâtiments est un facteur très important qui prend en compte les nouvelles constructions et les nouvelles rénovations du bâtiment. Les matériaux d'isolation d'enveloppe, qui comptent parmi les solutions les plus performantes permettant une réduction significative des besoins énergétiques.

Le rôle des matériaux de construction dans l'enveloppe du bâtiment est essentiel, les propriétés thermiques des matériaux de construction vont augmenter ou diminuer les performances énergétiques.

Une bonne isolation thermique réduit la consommation d'énergie pour le chauffage et/ou la climatisation et augmente notre confort. Mais ce n'est pas tout : l'isolation est aussi bonne pour l'environnement car, en réduisant la consommation, elle préserve les ressources énergétiques et réduit les émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, l'isolation thermique est intéressante en termes de protection de l'environnement, de confort et d'économies financières. Par conséquent, l'énergie consommée avec isolation est inférieure à l'énergie consommée sans isolation.

L'efficacité énergétique est importante dans les nouveaux bâtiments. Le nouveau projet de construction est une occasion idéale de se concentrer sur l'efficacité énergétique dès le départ. Elle joue un rôle à tous les

niveaux du bâtiment, du site au choix des matériaux. Toutes ces solutions visent à avoir un bâtiment aussi cohérent que possible d'un point de vue énergétique, permettant une consommation d'énergie moindre sans affecter le confort de l'utilisateur.

يستمر الطلب العالمي على الطاقة في قطاع المباني في النمو بسرعة في السنوات الأخيرة ولهذا يعتبر قطاع البناء واحدا من العوامل الرئيسية التي تؤثر على انبعاثات نفقات الطاقة والغاز المسببة للاحتباس الحراري مما يؤدي إلى المباني غير المريحة والمستهلكة للطاقة. استهلاك الطاقة هو حقيقة واقعة في المباني والعمل المقدم أدناه يهدف إلى الحد من استهلاك الطاقة واتخاذ الإجراءات اللازمة لتحسين كفاءة استخدام الطاقة في المباني. هذه الكفاءة لا يمكن تحقيقها إلا عن طريق تحسين العزل الحراري وبالتالي يحتل العزل الحراري مكاناً مهماً في تصميم وبناء المنشآت الحالية والمستقبلية. يعد عزل غلاف المبنى أمراً ضرورياً للراحة الحرارية الداخلية دون التأثير الشديد بالظروف المناخية الخارجية في الواقع، تتيح المحاكاة الحرارية الديناميكية إمكانية "عيش المبنى فعلياً" على مدى فترة طويلة حيث أصبحت محاكاة أداء الطاقة في المباني أكثر أهمية في عمليات التصميم والتحليل للمباني حول العالم. ولهذا تم اختيار برنامج TRANSY للمحاكاة لما يقدمه من مزايا مختلفة. أظهرت نتائج المحاكاة بعد دراسة التباين في درجة حرارة الهواء فيمنطقة (غرفة) تقع في ولاية بشار لثلاث حالات: في حالة غياب التدفئة وتكييف الهواء تكون درجة الحرارة مرتفعة جداً في الصيف ومنخفضة في الشتاء. في حالة وجود التدفئة وتكييف الهواء تتغير درجات الحرارة حتى تتناسب مع رغبات الإنسان لتوفير الراحة الحرارية في حالة استعمال العزل الحراري يتم تخفيف والحفاظ على درجات الحرارة المناسبة صيفاً وشتاءً داخل المباني قصد الحصول على جو معتدل وتحقيق الراحة الحرارية، كما تبين أن تطبيق العزل الحراري في المباني يسهم بتخفيض استهلاك الطاقة.

R ésum é

La demande mondiale d'énergie dans le secteur du bâtiment continue de croître rapidement ces dernières années, C'est pourquoi le secteur de la construction est considéré comme l'un des principaux facteurs de rejet des dépenses énergétiques et des émissions de gaz à effet de serre, ce qui conduit à des bâtiments non confortables et énergivores.

La sur consommation d'énergie constitue une réalité dans le bâtiment, Les travaux présentés ci-dessous visent à réduire de diminuer la consommation d'énergie et agir pour améliorer l'efficacité énergétique dans les bâtiments. Cette efficacité ne peut être assurée que par l'optimisation de l'isolation thermique, Ainsi, l'isolation thermique occupe une place importante dans la conception et la réalisation des constructions actuelles et futures. L'isolation de l'enveloppe du bâtiment est primordiale pour le confort hygrothermique à l'intérieur sans être trop influencé par les conditions climatiques extérieures.

En réalité la simulation thermique dynamique permet de faire « vivre virtuellement » le bâtiment sur une longue période, la simulation des performances énergétiques du bâtiment devient de plus en plus incontournable dans les processus de conception et d'analyse des bâtiments à travers le monde, c'est pourquoi le logiciel de simulation TRANSY a été choisi en raison de ses divers avantages.

Les résultats de la simulation ont montré après avoir étudié la variation de la température de l'air dans une zone (salle) situé dans la Wilayat de Bechar pour trois cas :

En l'absence de chauffage et de climatisation, la température est très élevée en été basse en hiver

Dans le cas du chauffage et de la climatisation, la température change en fonction des désirs humains pour fournir un confort thermique.

Dans le cas de l'utilisation d'une isolation thermique, les températures sont réduites et maintenues de manière appropriée en été et en hiver à l'intérieur des bâtiments afin d'obtenir une atmosphère modérée et d'atteindre un confort thermique. Il a également été constaté que l'application d'une isolation thermique dans les bâtiments contribue à réduire la consommation d'énergie.

Abstract

The global demand for energy in the building sector continues to grow rapidly in recent years, which is why the construction sector is seen as one of the main factors rejecting energy expenditure and greenhouse gas emissions. Greenhouse, which leads to uncomfortable and energy-consuming buildings.

Over-consumption of energy is a reality in buildings. The work presented below aims to reduce energy consumption and act to improve energy efficiency in buildings. This efficiency can only be ensured by optimizing thermal

insulation. Thus, thermal insulation occupies an important place in the design and construction of current and future constructions. The insulation of the building envelope is essential for indoor hydrothermal comfort without being too influenced by external climatic conditions.

In fact, dynamic thermal simulation makes it possible to “virtually live” the building over a long period, the simulation of the building's energy performance is becoming more and more essential in the design and analysis processes of buildings around the world, TRNSYS software was chosen for the simulation for the various advantages it offers.

The results of the simulation showed after studying the variation of the air temperature in an area (room) located in the Wilayat of Bashar for three cases:

In the absence of heating and air conditioning, the temperature is very high in summer and low in winter

In the case of heating and air conditioning, the temperature changes according to human desires to provide thermal comfort In the case of the use of thermal insulation, temperatures are reduced and appropriately maintained in summer and winter inside buildings in order to obtain a moderate atmosphere and achieve thermal comfort

It has also been found that the application of thermal insulation in buildings helps to reduce energy consumption.