

*République Algérienne Démocratique et Populaire*  
*Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique*  
Université A. MIRA - Bejaia

Faculté des Technologie  
Département de génie civil  
Filière : génie civil  
Option : Structures



Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle  
En vue de l'obtention du diplôme

**MASTER**

*Thème*

**La rénovation énergétique dans les  
bâtiments collectifs en Algérie**

Présenté par :

BAKOUR Nadia

Soutenu le : 22 Juin 2023

Devant le jury composé de :

H.CHIKH AMER

A.TAHAKOURT

A.CHELOUAH

Année universitaire : 2022 / 2023

## **Remerciements**

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon encadreur Mme CHIKH AMER Habiba que je remercie pour son intérêt permanent porté à ce travail ainsi que sa disponibilité qui m'a été d'une aide précieuse dans l'accomplissement de mon étude.

Je remercie également les membres du jury Mr Tahakourt et Mr Chelouah d'avoir accepté d'examiner mon travail.

J'adresse aussi mes sincères remerciements à tous les enseignants du département de génie civil qui m'ont fourni les outils nécessaires à la réussite de mes études universitaires.

## **Dédicaces**

Je dédie cet évènement marquant à la mémoire de ma défunte sœur qui m'a tout donné, appris, encouragée, motivée et qui m'a guidée vers le chemin de la réussite.

Je dédie également ce travail à ma mère et mon père sans oublier mes sœurs Lilya, Nesrine mon frère Adel et ma belle-sœur Nadjoua qui m'ont soutenue durant tout mon parcours

A mes proches : Massi, Lydia, Mina, Youcef, Bilal, Agnès, Adel .... Merci d'avoir été là pour moi.

## Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre I.....	3
<i>Contexte Energétique</i> .....	3
1. Introduction .....	3
2. Contexte énergétique mondial.....	3
3. Contexte énergétique national.....	4
4. Démarches de réduction de la consommation d'énergie dans le bâtiment.....	6
5. Conclusion.....	7
CHAPITRE II.....	8
<i>Rénovation Thermique</i> .....	8
1. Introduction .....	8
2. Objectifs et bénéfices de la rénovation thermique .....	9
3. Pratiques de rénovation et performances énergétiques .....	9
3.1. Rénovation de l'enveloppe du bâtiment .....	9
3.1.1. Isolation thermique des murs par l'Extérieur (ITE).....	11
3.1.2. Isolation des murs dans leur épaisseur ou isolation répartie .....	14
3.1.3. Isolations thermique par l'intérieur (ITI) .....	15
3.1.4. Performance thermique de l'isolation des murs .....	16
3.1.5. Isolation de la toiture (plancher terrasse) .....	17
3.1.6. Isolation du plancher bas.....	18
3.1.7. Les différents matériaux isolants.....	19
3.1.8. Rénovation des fenêtres .....	20
3.2. Eclairage .....	22
3.3. Systèmes de Chauffage.....	22
4. Conclusion.....	22
CHAPITRE III .....	24
<i>Simulation et Modélisation thermique des bâtiments</i> .....	24
1. Introduction .....	24
2. Définition de la simulation thermique dynamique (STD).....	24
3. Quelques logiciels de la STD .....	24
3.1. TRNSYS.....	25
3.2. PLEIADES COMFIE .....	25

3.3.	Energy Plus .....	25
3.4.	PLEIADES COMFIE .....	25
3.5.	Dymola .....	26
3.6.	HAP .....	26
4.	Présentation de TRNSYS .....	26
5.	La démarche de simulation sous TRNSYS .....	27
5.1.	L'interface TRN BUILD .....	28
5.2.	Les étapes de réalisation du building.....	29
5.3.	Simulation studio.....	33
6.	Les types.....	34
7.	Avantages et inconvénients de TRNSYS.....	35
8.	Conclusion.....	36
	CHAPITRE IV .....	37
	<i>ÉTUDE DE CAS ET RESULTATS</i> .....	37
1.	Introduction .....	37
2.	Description du cas d'étude .....	37
2.1.	Les matériaux de construction.....	38
2.2.	Propriétés des parois .....	39
2.3.	Occupation et Apports internes .....	41
2.4.	Météorologie.....	41
2.5.	Les mesures de rénovation proposées .....	41
2.5.1.	Remplacement du vitrage.....	41
2.5.2.	Remplacement des lampes à incandescence par des lampes LED.....	42
2.5.3.	Isolation des murs par l'extérieur.....	42
2.5.4.	Isolation du toit.....	42
2.5.5.	Utilisation des stores et protections sur les fenêtres.....	42
2.5.6.	Rénovation globale.....	42
3.	Résultats et Discussions .....	43
3.1.	Besoins énergétiques .....	43
3.1.1.	Impact du changement du vitrage des fenêtres .....	43
3.1.2.	Influence du type de lampes utilisé .....	45
3.1.3.	Isolation des parois.....	45
3.1.4.	Influence de l'isolation extérieure des murs du bâtiment standard avec du polystyrène extrudé .....	49
3.1.5.	Influence de l'isolation du toit du bâtiment .....	49

3.1.6.	Influence des stores & protections solaires .....	50
3.1.7.	Influence des rénovations totales .....	53
3.2.	Résultats des besoins énergétiques à Bechar .....	54
3.2.1.	Impact du changement du vitrage des fenêtres .....	54
3.2.2.	Influence du type de lampes utilisé .....	55
3.2.3.	Isolation des parois .....	56
3.2.4.	Influence de l'isolation extérieure des murs du bâtiment standard avec du polystyrène extrudé .....	59
3.2.5.	Influence de l'isolation du toit du bâtiment .....	59
3.2.6.	Influence des stores et protections .....	60
3.2.7.	Influence des rénovations totales .....	62
4.	Evaluation du confort thermique .....	63
4.1.	Définition des indices de confort .....	63
4.2.	Résultats de l'évaluation du PPD .....	66
5.	Conclusion .....	68
	Conclusion générale .....	70
	Références bibliographiques .....	72
	Annexe .....	75

## Liste des Figures

Figure 1: Parts des bâtiments et de la construction dans l'énergie finale mondiale et émissions de CO2 liées à l'énergie, 2020 [1].....	4
Figure 2: Répartition des consommations d'énergie par secteur d'activité [2].....	5
Figure 3: Les sources de déperditions de chaleur de l'enveloppe d'un bâtiment [12].....	10
Figure 4: Evolution des températures dans des bâtiments au cours de l'année [13].....	11
Figure 5: Système d'isolation par enduit sur isolant, par collage et fixation sur profilés [12].	12
Figure 6: Isolation par vêtiture [12].....	13
Figure 7: Isolation par bardages rapportés [12].	13
Figure 8: La brique alvéolée en terre cuite (à droite) et le béton cellulaire (à gauche). [www.ageden.org] .....	15
Figure 9: Technique d'isolation des murs par l'intérieur [12].	16
Figure 10: Comparaison entre isolation par l'intérieur (a) et par l'extérieur (b) au niveau de la dalle [17] .....	17
Figure 11: Solution d'isolation inversée pour une toiture inaccessible [18].....	18
Figure 12: solution d'isolation sous étanchéité pour une toiture inaccessible [18].	18
Figure 13: Solution d'isolation d'un plancher bas [18].....	19
Figure 14: Flux thermique surfacique traversant les différents types de vitrage [14].....	20
Figure 15: Composition d'un double vitrage isolant peu émissif [12].....	21
Figure 16: paramètres d'entrée << Type 56 >>. .....	27
Figure 17: Définitions des orientations et des zones.....	29
Figure 18: Définition des paramètres thermo physique des couches. ....	29
Figure 19: Définition du mur .....	30
Figure 20: Définition des fenêtres .....	30
Figure 21: Définition des parois constituant une zone .....	31
Figure 22: Définitions des outputs pour le calcul des besoins énergétiques. ....	32
Figure 23: Interface TRNstudio avec schéma pour la simulation. ....	34
Figure 24: plans architecturaux du logement étudié. ....	38
Figure 25: Estimation des consommations annuelles en fonction du type de vitrage utilisé... ..	44
Figure 26: Pourcentage de réduction des besoins énergétiques en fonction du type de vitrage .....	44
Figure 27: Influence du type d'éclairage utilisé sur les consommations annuelles d'énergie. ..	45

Figure 28: Consommations annuelles avec l'utilisation des deux types d'isolants dans les murs.....	47
Figure 29: Consommations annuelles avec l'utilisation des deux types d'isolants dans le toit. ....	47
Figure 30: Besoins énergétiques dans les cas de 5 et 10 cm de polystyrène (a) Isolation des murs, (b) Isolation du toit.....	48
Figure 31: Influence de l'isolation des murs sur les consommations annuelles. ....	49
Figure 32: Influence de l'isolation du toit sur les consommations annuelles .....	50
Figure 33: Influence des stores & sur les besoins de chauffage.....	51
Figure 34: Influence des stores & protections sur les besoins de climatisation.....	51
Figure 35: Influence des stores & protections sur les consommations totales.....	52
Figure 36: Taux de réduction (ou d'accroissement) des besoins en fonction du type de protection choisi. ....	52
Figure 37: Comparaison entre les besoins du logement standard et les besoins du logement rénové. ....	53
<i>Figure 38 : Influence des rénovations totales sur les consommations. ....</i>	<i>54</i>
Figure 39: Estimation des consommations annuelles en fonction du type de vitrage utilisé. Bechar.....	55
Figure 40: Pourcentage de réduction des besoins en fonction du type de vitrage. Bechar .....	55
Figure 41: Influence du type d'éclairage utilisé sur les consommations annuelles d'énergie. Bechar.....	56
Figure 42: Consommations annuelles avec l'utilisation des deux types d'isolants dans les murs. Bechar.....	56
Figure 43: Consommations annuelles avec l'utilisation des deux types d'isolants dans le toit. Bechar.....	57
Figure 44: Besoins énergétiques dans les cas de 5 et 10 cm de polystyrène (a) Isolation des murs, (b) Isolation du toit. Bechar.....	58
Figure 45: Influence de l'isolation des murs sur les consommations annuelles. Bechar .....	59
Figure 46: Influence de l'isolation du toit sur les consommations annuelles. Bechar .....	59
Figure 47: Influence des stores & sur les besoins de chauffage. Bechar .....	60
Figure 48: Influence des stores & protections sur les besoins de climatisation. Bechar.....	61
Figure 49: Influence des stores & protections sur les consommations totales. Bechar.....	61
Figure 50: Taux de réduction des besoins en fonction du type de protection choisi. Bechar ..	62

Figure 51: Comparaison entre les besoins du logement standard et les besoins du logement rénové.....	62
Figure 52: Influence des rénovations totales sur les consommations. ....	63
Figure 53: Définition des paramètres de confort.....	64
Figure 54 : Pourcentage prévisible d'insatisfaits (PPD) en fonction du vote moyen prévisible (PMV) [27].....	65
Figure 55: Nombre d'heures de confort (inconfort) simulé (%) après chaque procédé de rénovation. Bejaia.....	66
Figure 56: Nombre d'heures de confort (inconfort) simulé (%) après chaque procédé de rénovation. Bechar. ....	66
Figure 57: Influence des rénovations sur le confort. Bejaia.....	67
Figure 58: Influence des rénovations sur le confort. Bechar.....	67

## Liste des tableaux

Tableau 1: Avantages et Inconvénients de l'isolation par l'extérieur. ....	14
Tableau 2 : Avantages et Inconvénients de l'isolation par l'intérieur.....	16
Tableau 3: Compositions et propriétés des parois.....	40
Tableau 4: Caractéristiques des portes et fenêtres. ....	41
Tableau 5: caractéristiques des deux stations (Bejaia/Bechar) .....	41
Tableau 6: Caractéristiques des vitrages .....	42
Tableau 7: caractéristiques des lampes. ....	42
Tableau 8: Consommation du bâtiment de référence.....	43
Tableau 9: Consommation énergétique avec simple, double et triple vitrage.....	43
Tableau 10: Caractéristiques du polystyrène utilisé pour l'isolation des parois .....	46
Tableau 11: Composition des parois isolées par l'extérieur (Murs et Toit).....	46
Tableau 12: Consommation énergétique avec simple, double et triple vitrage.....	54

## **Introduction générale**

Tout au long de l'histoire, la population a été en quête de confort et d'un meilleur niveau de vie, la consommation d'énergie s'est imposée comme une solution efficace pour répondre à ces besoins à l'échelle mondiale. Cependant, malgré ses avantages, l'utilisation de l'énergie présente également plusieurs inconvénients, en effet cette utilisation accrue a entraîné l'épuisement des sources d'énergie non renouvelables et la libération de quantités importantes de gaz à effet de serre (GES). Ces émissions sont responsables du réchauffement climatique, qui a des répercussions profondes sur l'avenir de la planète et nécessite de reconsidérer les réserves énergétiques mondiales. La situation actuelle des réserves énergétiques semble se détériorer en raison de l'augmentation de la consommation d'énergie, ce qui est préoccupant pour les perspectives énergétiques des générations futures.

Dans le passé, les bâtiments n'estimaient pas les conséquences de la surconsommation de divers composants énergétiques tels que l'éclairage, le chauffage et la climatisation. Cela était dû à une abondance de ressources énergétiques peu coûteuses et à une population qui en demandait moins qu'aujourd'hui. Cependant, avec l'augmentation des prix de l'énergie, la demande croissante, les défis du changement climatique, l'expansion de la population mondiale et l'épuisement des gisements d'énergies fossiles, l'efficacité énergétique est devenue une préoccupation cruciale. Partout dans le monde, des efforts considérables sont déployés pour utiliser l'énergie de manière intelligente et passer des sources d'énergie polluantes à des sources d'énergie renouvelables produisant moins d'émissions de gaz à effet de serre [1]. L'amélioration de l'efficacité énergétique contribue non seulement à la préservation de la qualité de vie, mais implique également la mise en œuvre de nouvelles avancées technologiques et de stratégies de consommation d'énergie efficaces.

L'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments constitue une source importante d'économie d'énergie. En Algérie, des modèles de construction étrangers, inappropriés au contexte climatique, se sont généralisés sur tout le territoire. En conséquence, le secteur bâtiments a été classé le plus énergivore avec une consommation qui représente environ de 47 % de la consommation finale [2]. Pour cela, l'Algérie met en œuvre un programme national d'efficacité énergétique à l'horizon 2030. Ce programme vise globalement la réduction de la consommation de 9 % à travers l'introduction des équipements et des technologies performantes dans l'ensemble des secteurs, y compris le bâtiment.

## ***Introduction générale***

---

Le travail actuel a pour objectif d'explorer à travers un exemple de logement, les possibilités de rénovation énergétique et leur incidence sur la consommation énergétique.

Notre travail convoitera les objectifs suivants :

- Identifier les principales solutions techniques de rénovation pour une meilleure gestion des consommations énergétiques.
- Tester et mettre en œuvre les différentes mesures de rénovation énergétique du logement existant.

Ce travail est scindé en deux parties :

- La première partie est consacrée à une recherche documentaire sur les techniques de rénovation ainsi que la situation énergétique en Algérie.
- La seconde, pratique, est basée sur la modélisation et la simulation. Elle portera donc sur l'étude d'un logement appartenant à un bâtiment collectif dont le système constructif est répandu actuellement en utilisant le logiciel de modélisation thermique dynamique TRNSYS.

# Chapitre I

# **Chapitre I**

## ***Contexte Énergétique***

### **1. Introduction**

Toutes les activités humaines, et notamment celles qui concourent au développement économique et social, font appel à l'énergie. Le contexte énergétique dans le bâtiment est très important car il représente une part importante de la consommation énergétique globale, il est donc crucial pour répondre aux enjeux de la transition énergétique et de la lutte contre le changement climatique. Il s'agit notamment de réduire la consommation d'énergie et d'utiliser des sources d'énergie renouvelable pour réduire les émissions de gaz à effet de serre.

### **2. Contexte énergétique mondial**

Le contexte énergétique mondial est caractérisé par une forte dépendance aux énergies fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon) notamment pour le secteur du bâtiment qui représente encore plus de 36% de la demande énergétique mondiale. En effet, afin de fournir un confort thermique adéquat on fait appel à l'énergie pour chauffer et refroidir selon les saisons [1].

La demande d'énergie opérationnelle dans les bâtiments (pour l'espace chauffage et climatisation, chauffe-eau, éclairage, cuisine et autres utilisations) représente environ 30 % de demande finale et a atteint 135 EJ, une augmentation d'environ 4% par rapport à 2020 et dépasse le précédent pic de 2019 de 3 %. L'évolution de la demande d'énergie dans les bâtiments en 2021 reflète une image complexe. Les bâtiments sont exploités plus intensément que pendant la pandémie alors que les lieux de travail rouvrent et que les entreprises reprennent des opérations plus "normales" donc la répartition de la demande d'énergie sur les lieux de travail et à la maison demeure.

De ce fait s'ajoute l'énergie utilisée par les bâtiments pour produire du béton, de l'acier, et l'aluminium représente 6% supplémentaires du produit final demande énergétique (IEA 2022f).

Cette dépendance pose plusieurs défis, notamment en matière de sécurité énergétique, de changement climatique et de développement durable. [1]

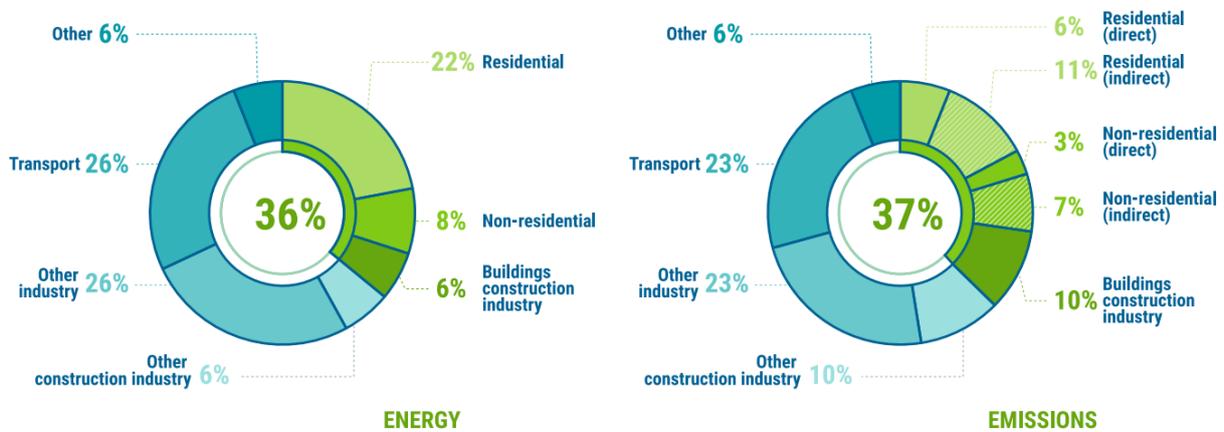


Figure 1: Parts des bâtiments et de la construction dans l'énergie finale mondiale et émissions de CO2 liées à l'énergie, 2020 [1]

Les émissions de CO2 liées à l'exploitation des bâtiments ont diminué de 10 % en 2020 pour atteindre environ 8,7 gigatonnes, contre environ 9,6 gigatonnes en 2019, en raison de l'évolution des modes de consommation d'énergie liés aux bâtiments. Avec la baisse historique des nouveaux bâtiments et de la construction, les émissions d'énergie liées à la construction principalement dues à la fabrication de matériaux de construction des bâtiments sont passées de 3,6 gigatonnes de CO2 en 2019 à 3,2 gigatonnes de CO2 en 2020 [1].

Malgré ces réductions, la part mondiale des émissions de CO2 liées à l'énergie des bâtiments et de la construction par rapport aux autres secteurs s'élèvera à 37 % en 2020, contre 38 pour cent en 2019, en raison de changements sectorielles [1].

### 3. Contexte énergétique national

La consommation d'énergie en Algérie a connu une croissance accrue, principalement due à l'amélioration du niveau de vie des citoyens.

La consommation nationale finale a augmenté de 8%, passant de 46.5 M Tep en 2020 à 50,2 M Tep en 2021. - Elle a été tirée par la hausse de la consommation de pratiquement l'ensemble des produits énergétiques, essentiellement l'électricité (12.7%) et le gaz naturel (6.5%) [2].

La figure 2 représente la répartition des consommations d'énergie par secteur d'activité. Elle montre clairement que le secteur du bâtiment demeure le plus gros secteur consommateur d'énergie finale nationale en Algérie avec un taux de 47% devant ainsi le secteur des transports qui celui-ci consomme une valeur de 29% et 24% pour le secteur de l'industrie comme l'indique l'organigramme ci-dessous [2].

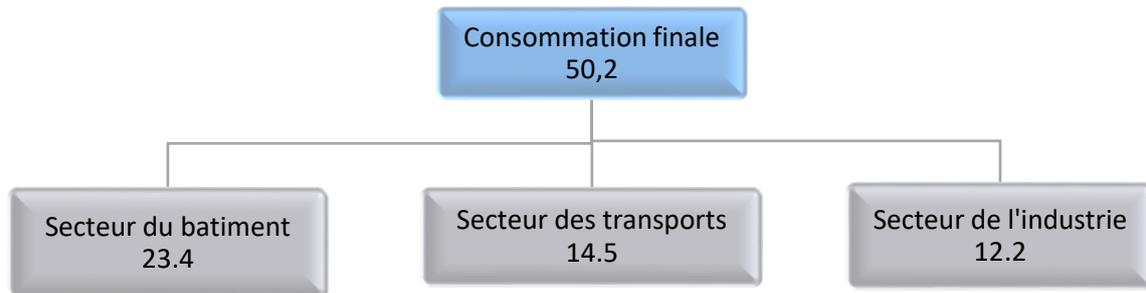


Figure 2: Répartition des consommations d'énergie par secteur d'activité [2].

D'après le bilan énergétique, la consommation finale de 2021 par secteur d'activité a été caractérisée par les évolutions suivantes :

- Reprise de **(7,6%)** de la consommation du secteur des *“transports”*, qui est passée de 13,5 M Tep en 2020 à 14,5 M Tep en 2021
- Hausse de la demande du secteur des *“Ménages et autres”* **(6,2%)** passant de 22,1 M Tep en 2020 à 23,4 M Tep en 2021, tirée par le sous-secteur résidentiel (4,4%) et le sous-secteur Tertiaires et autres **(12,3%)**
- Hausse appréciable **(12%)** de la consommation du secteur *“Industries et BTP”* à 12,2 M Tep en 2021.

Le secteur résidentiel existant en Algérie est aujourd'hui l'un des premiers postes de consommation d'énergie et l'un des principaux responsables des émissions de gaz à effet de serre. Cette énergie est l'objet de nombreux usages, notamment :

- Le chauffage et/ou le refroidissement, pour assurer un climat intérieur confortable.

- Le préchauffage de l'eau chaude.
- L'éclairage.
- Les équipements.

L'efficacité énergétique s'impose alors comme une réponse appropriée à cette problématique.

## **4. Démarches de réduction de la consommation d'énergie dans le bâtiment**

Il existe de nombreux moyens de réduction de consommation d'énergie dans le bâtiment voici quelques exemples :

**a. L'isolation thermique** : Une bonne isolation de l'enveloppe du bâtiment permet de limiter les pertes de chaleur en hiver et les gains de chaleur en été ce qui réduit la consommation d'énergie nécessaire pour chauffer ou climatiser le bâtiment [3].

**b. L'éclairage** : L'utilisation de sources lumineuses à faible consommation d'énergie (comme les LED) et l'éclairage naturel, comme les fenêtres et les puits de lumière, permet de réduire la consommation d'énergie nécessaire pour l'éclairage artificiel [3].

**c. Les énergies renouvelables** : L'installation de panneaux solaires photovoltaïques, de panneaux solaires thermiques ou d'une pompe à chaleur peut permettre de produire de l'énergie renouvelable pour couvrir une partie des besoins énergétiques du bâtiment [4].

**d. L'optimisation des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation** peut permettre de réduire la consommation d'énergie en utilisant des équipements plus efficaces ou en réglant les systèmes de manière plus efficace [5].

**e. Utilisation de matériaux de construction durables et efficaces** : L'utilisation de matériaux de construction durables et efficaces, comme le béton cellulaire ou la terre cuite, permet de réduire la consommation d'énergie nécessaire pour chauffer ou climatiser le bâtiment [6].

**f. Formation et sensibilisation des occupants** : la sensibilisation des occupants du bâtiment aux pratiques de consommation économe en énergie peut permettre de réduire la consommation d'énergie en encourageant des comportements plus responsables [5].

## **5. Conclusion**

Le contexte énergétique mondial est marqué par une forte dépendance aux combustibles fossiles, elle est liée à la disponibilité de ces derniers ainsi qu'à leur facilité d'utilisation. Cette dépendance pose plusieurs défis, notamment en matière de sécurité énergétique, de changement climatique et de développement durable. Cependant, au cours des dernières décennies, il y a eu une prise de conscience croissante de la nécessité de réduire notre dépendance aux combustibles fossiles en raison de leur impact sur l'environnement et les réserves d'énergie.

Classé comme premier secteur consommateur d'énergie, le bâtiment est un enjeu majeur en terme de consommation d'énergie, l'adoption de normes d'isolation, l'élaboration de codes de constructions adaptés, l'adoption de systèmes d'étiquetage de seuil de performance énergétique pour les bâtiments, aussi bien pour les constructions neuves qu'existantes contribuent à la réduction de la consommation du gaz naturel et d'électricité, il s'agit notamment de réduire la consommation d'énergie et d'utiliser des sources d'énergie renouvelable pour réduire les émissions de gaz à effet de serre.

# Chapitre II

## CHAPITRE II

### *Rénovation Thermique*

#### 1. Introduction

Le terme de "rénovation" est utilisé par la profession du bâtiment comme synonyme de travaux sur un bâtiment existant. C'est toute action pouvant améliorer la qualité de l'habitat et de son environnement direct. Interviennent donc différentes disciplines pour différents champs d'actions : niveaux urbanistique, architectural, constructif, etc.

La rénovation "thermique" des bâtiments est une pratique visant à améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments existants en réduisant les pertes d'énergie dues à une mauvaise isolation, à des infiltrations d'air et à une ventilation inadéquate. Cette pratique est importante car elle permet de réduire la consommation d'énergie, les coûts associés et les émissions de gaz à effet de serre, tout en améliorant le confort des occupants.

La rénovation thermique est devenue une priorité dans de nombreux pays, en raison de l'enjeu énergétique et les questions environnementales qui s'imposent avec plus d'acuité que jamais. Des incitations financières sont souvent proposées pour encourager les propriétaires à réaliser des travaux de rénovation thermique, telles que des subventions, des prêts à taux zéro ou des crédits d'impôt.

De nombreuses études ont démontré que la rénovation des bâtiments existants est plus efficace que la construction de nouveaux bâtiments, selon De Bouw et al. [7], il est possible de les améliorer à moindre coût. Des analyses de cycle de vie ont permis de se rendre compte que l'impact environnemental est moindre [8].

Les premiers intérêts portés à la rénovation énergétique ont émergé à la fin du XXème siècle, suite à la mise en place des exigences de performance énergétique du bâtiment. « Dans les années 1970, la réhabilitation énergétique des bâtiments consistait en des mesures simples telles que, l'extinction de l'éclairage inutile, l'abaissement des consignes de chauffage, l'augmentation de la consigne de rafraîchissement... » [9]. Aujourd'hui, des outils de

simulation permettent de réaliser un audit énergétique du bâtiment à rénover, afin de cibler les mesures à mettre en œuvre pour diminuer la consommation énergétique et quantifier la rentabilité de la rénovation.

## **2. Objectifs et bénéfices de la rénovation thermique**

Les objectifs de la rénovation énergétique peuvent être résumés dans les points suivants [10]:

- Conservation des énergies fossiles, participant ainsi à l'objectif commun d'indépendance énergétique et de conservation des ressources fossiles avec une moindre consommation d'énergie dans les logements.
- Réduire les émissions de gaz à effet de serre, contribuant ainsi aux efforts collectifs de réduction de l'empreinte carbone et aux exigences du Grenelle de l'environnement, notamment celles liées au réchauffement climatique.
- Amélioration du confort de l'habitat, non seulement le confort thermique (air à bonne température, pas de courants d'air ni de murs froids, etc.), mais aussi le confort visuel grâce à l'éclairage naturel, ou plus largement le confort de vie (aménagements, facilité d'accès, etc.)
- Réduction des dépenses du ménage, économies sur le chauffage<sup>5</sup>, la production d'eau chaude et l'éclairage de la maison (évidemment liés aux coûts d'investissement de restauration, mais pas seulement).
- Anticiper les futures hausses des tarifs de l'énergie, par des investissements visant à réduire les besoins énergétiques du logement.

## **3. Pratiques de rénovation et performances énergétiques**

Les procédés de rénovation thermique sont basés sur l'amélioration de l'enveloppe du bâtiment, l'éclairage, le chauffage, le rafraîchissement et la ventilation, l'eau chaude sanitaire ainsi que le recours à l'énergie solaire.

### **3.1. Rénovation de l'enveloppe du bâtiment**

L'enveloppe du bâtiment, également appelée « enveloppe thermique », est la couche externe qui sépare l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment. Il comprend généralement les murs extérieurs, les toits, les planchers, les portes et les fenêtres, etc. La qualité de l'enveloppe du bâtiment est un facteur décisif affectant l'énergie utilisée pour le chauffage, le refroidissement et la ventilation.

L'enveloppe du bâtiment joue également un rôle important dans la régulation de la température intérieure, la prévention des pertes de chaleur en hiver et la prévention de la surchauffe en été. Ainsi, une enveloppe efficace permet de réduire les dépenses énergétiques et d'améliorer le confort des occupants [11].

Entre autre, l'enveloppe d'un bâtiment joue un rôle de filtre thermique dont la composition représente l'élément majeur qui caractérise ce filtre. Elle doit fournir une isolation thermique pour améliorer l'efficacité énergétique et doit être également considérée comme le souci principal dans une opération de réhabilitation thermique d'un logement. C'est l'élément à appréhender en premier [6]. L'enveloppe d'un bâtiment subit des déperditions fonction des caractéristiques de la structure, des matériaux, de l'environnement du bâtiment (climat, effet de masque, orientation, ...). Les déperditions thermiques possibles pour une structure passent (figure 3) :

- par le plancher haut 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

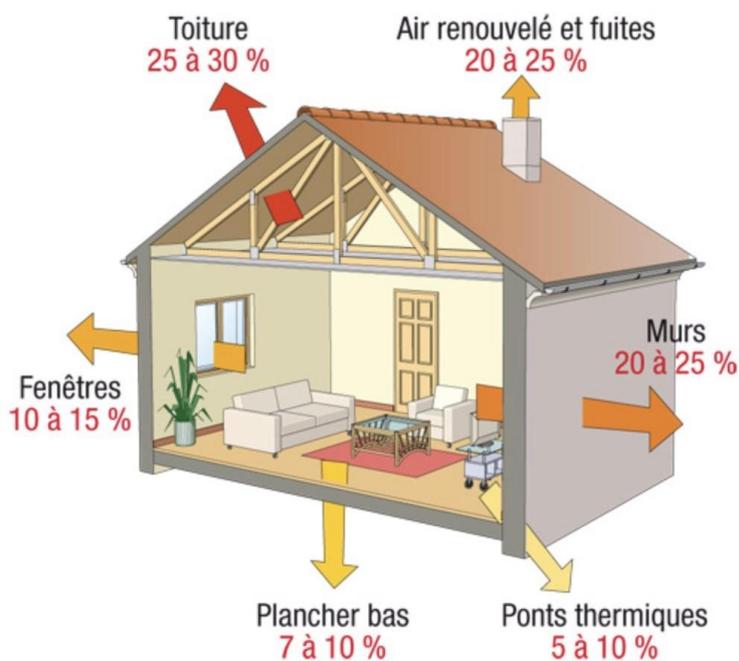


Figure 3: Les sources de déperditions de chaleur de l'enveloppe d'un bâtiment [12]

Un bâtiment bien conçu fournit un confort nettement supérieur. Il ne surchauffe pas en été et profite des gains solaires pendant l'hiver. Tandis que le bâtiment inadapté à son climat a tendance de surchauffer en saison chaude et être glacial en saison froide (figure 4) [13].

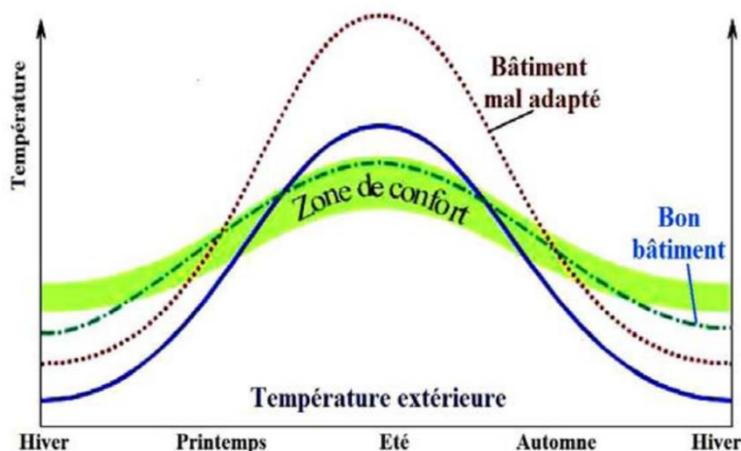


Figure 4: Evolution des températures dans des bâtiments au cours de l'année [13]

D'après Orselli [Orselli, 2005], Dans les bâtiments existants, le plus grand potentiel d'économies d'énergie réside dans l'enveloppe, qui doit être adéquatement isolée de la manière la plus étanche possible pour minimiser les pertes de chaleur par transmission et par fuite d'air, et pour réduire les périodes de surchauffe. L'isolation est une technique utilisée pour réduire les pertes de chaleur dans les bâtiments en minimisant le transfert de chaleur à travers les murs, les fenêtres, les toits, les sols et d'autres éléments de construction. L'objectif est de créer une barrière efficace pour empêcher les échanges de chaleur avec l'extérieur, afin de maintenir une température intérieure confortable et constante tout en réduisant la consommation d'énergie nécessaire pour chauffer ou refroidir le bâtiment [14]. Les procédés suivants peuvent être utilisés pour la rénovation de l'enveloppe.

### 3.1.1. Isolation thermique des murs par l'Extérieur (ITE)

Elle consiste à poser la couche d'isolation et un nouveau revêtement de façade sur les murs extérieurs. Dans l'existant, une isolation par l'extérieur peut être envisagée lors d'une rénovation complète ou un ravalement de façade [15]. Cette technique d'isolation permet d'économiser 10 à 20% de la consommation totale d'énergie [16]. L'isolation thermique par l'extérieur est la solution adoptée par les allemands et par les pays au nord de l'Europe. Elle est conseillée par l'Agence Française pour le Développement et la Maîtrise de l'Énergie (ADEME).

Il existe plusieurs solutions d'isolation par l'extérieur : enduits minces sur isolant, vêtture et bardages rapportés.

**a) Enduits minces sur isolants**

Les systèmes d'enduit mince sur isolant sont constitués d'un enduit mince en trois couches armé d'un treillis de fibres de verre, appliqué sur un isolant (polystyrène expansé, laine de roche ou fibre de bois). La fixation de l'isolant peut être réalisée par collage ou par fixation sur profilés tel que le montre la figure 5 [12].

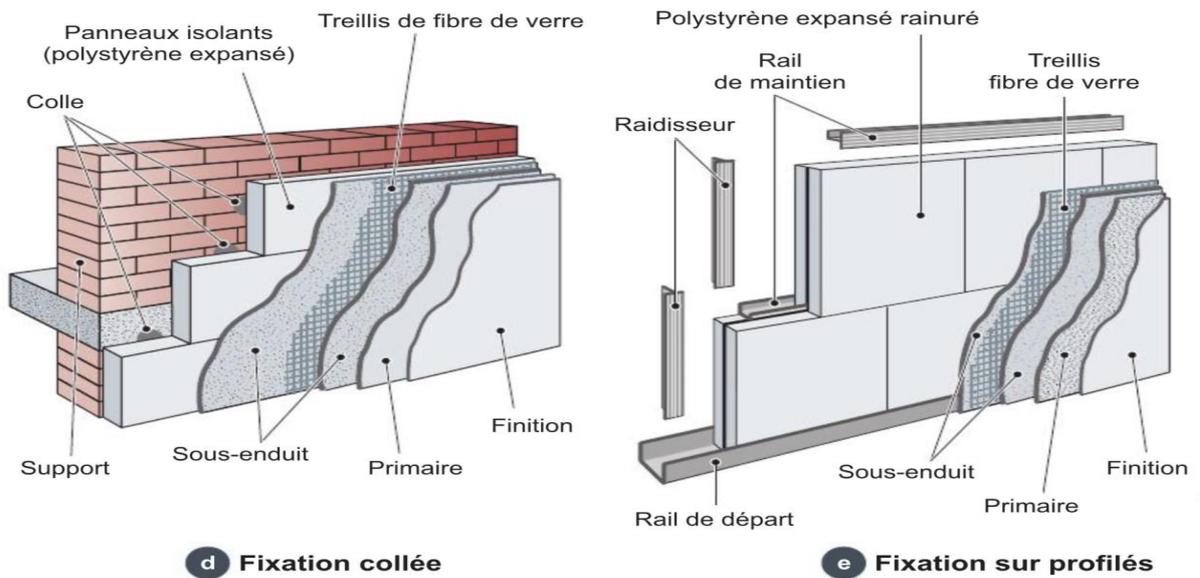


Figure 5: Système d'isolation par enduit sur isolant, par collage et fixation sur profilés [12].

**b) Vêtture**

Une vêtture est un ensemble de deux éléments (isolant thermique et peau extérieure de protection) posés en une seule fois sur la façade tel que montré sur la figure 6 [12].

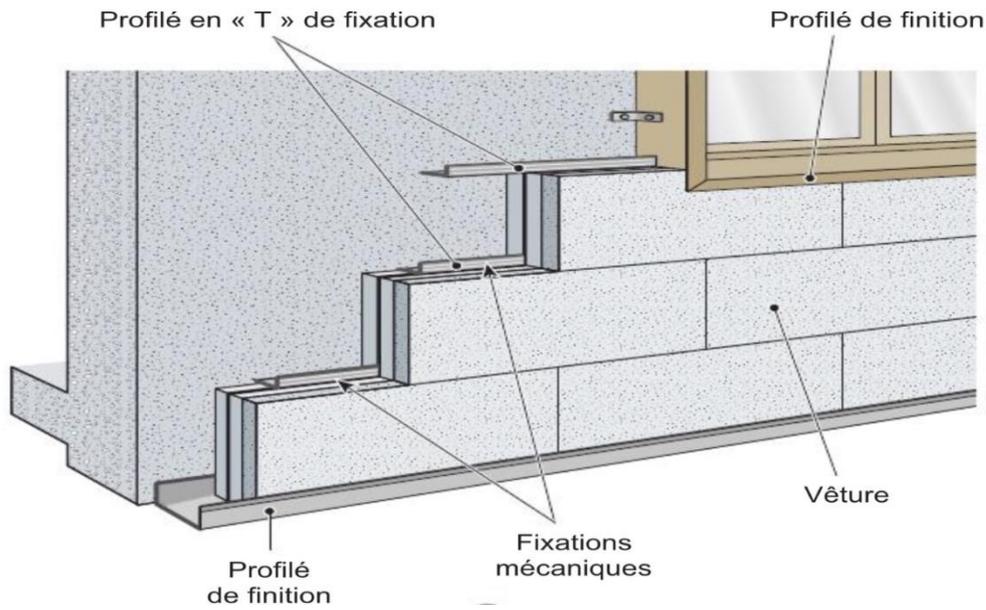


Figure 6: Isolation par vêtture [12].

**c) Bardages rapportés**

Un bardage rapporté est un ensemble constitué d'un parement extérieur rapporté directement ou par des lisses, sur une ossature métallique verticale fixée au mur par des pattes en équerre (figure 7) [12].

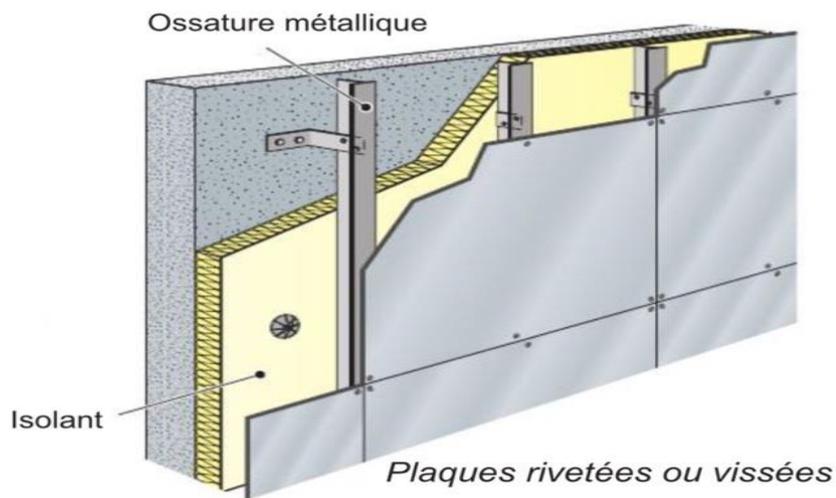


Figure 7: Isolation par bardages rapportés [12].

**d) Avantages et Inconvénients de l’isolation par l’extérieur**

Les avantages et les inconvénients de cette technique peuvent être résumés dans le tableau suivant :

Tableau 1: Avantages et Inconvénients de l’isolation par l’extérieur.

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Traite un plus grand nombre de ponts thermiques en les recouvrant efficacement.</li> <li>- Ne modifie pas les surfaces habitables et ne nécessite pas la reprise de la décoration.</li> <li>- Protège les murs des intempéries et des variations climatiques (inertie apportée par le mur côté intérieur).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmente le coefficient d'occupation au sol sur le terrain.</li> <li>- Modifie l'aspect global de la maison.</li> <li>- Réduit la grandeur des ouvertures et donc de l’apport lumineux en procédant à l’isolation des tableaux et des appuis de fenêtres.</li> <li>- Nécessite de revoir la fixation des systèmes de fermeture des volets...</li> <li>- Coût élevé.</li> </ul>

**3.1.2. Isolation des murs dans leur épaisseur ou 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 [6] :

- la brique alvéolée en terre cuite ou mono mur,
- les blocs et panneaux hauteur d’étage en béton cellulaire (figure 8).



Figure 8: La brique alvéolée en terre cuite (à droite) et le béton cellulaire (à gauche).

[www.ageden.org]

Cette technique présente les avantages suivants :

- Gain de temps pour la mise en œuvre puisque la structure porteuse et l'isolation thermique en un seul produit.
- Facilité dans la mise en œuvre des menuiseries, plomberies et réseau électrique.
- Réduction des ponts thermiques.
- Amélioration du confort thermique de par le bon compromis entre l'inertie thermique et l'isolation.

### **3.1.3. Isolations thermique par l'intérieur (ITI)**

L'isolation thermique par l'intérieur consiste à installer un isolant généralement, sous forme de panneaux à base de polystyrène expansé ou extrudé, de laine de roche, de laine de verre ou de mousse de polyuréthane expansée directement sur les murs voir figure 9 [12].



Figure 9: Technique d'isolation des murs par l'intérieur [12].

Les avantages et inconvénients de cette technique peuvent être résumés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Avantages et Inconvénients de l'isolation par l'intérieur

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ne modifie pas l'espace intérieur.</li> <li>- Augmente la performance thermique globale du bâtiment.</li> <li>- Supprime les condensations sur parois froides.</li> <li>- Supprime l'effet parois froides.</li> <li>- Améliore le confort acoustique intérieur</li> <li>- Coût d'exécution moins onéreux qu'une solution d'isolation par l'extérieur.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réduit l'espace habitable.</li> <li>- Engendre de nombreux ponts thermiques.</li> <li>- Nécessité de révision du plan électrique.</li> <li>- Embrasure des portes et des fenêtres à prévoir pour réduire au minimum les déperditions lumineuses.</li> <li>- Décoration intérieure à refaire !</li> </ul>

### 3.1.4. Performance thermique de l'isolation des murs

L'isolation thermique des murs par l'extérieur est plus performante que celle par l'intérieur. En effet, elle assure la continuité de l'isolation et permet de diminuer ou d'annuler les pertes à travers les ponts thermiques dus à la structure du bâtiment aux liaisons façade-plancher, et ce contrairement à une isolation par l'intérieur (figure 10). De plus, l'isolation protège le mur porteur des chocs thermiques : celui-ci étant à l'intérieur, il ne subit que peu de variations de

température, contrairement à un mur situé à l'extérieur qui subit les variations de températures journalières.

Selon une étude les différences de consommations entre les deux configurations sont non négligeables, allant de 5 à 7 kWh/m<sup>2</sup>/an. Ceci montre bien que l'isolation par l'extérieur, grâce à son inertie, permet de diminuer les consommations d'un bâtiment, par rapport à une même isolation réalisée par l'intérieur [17].

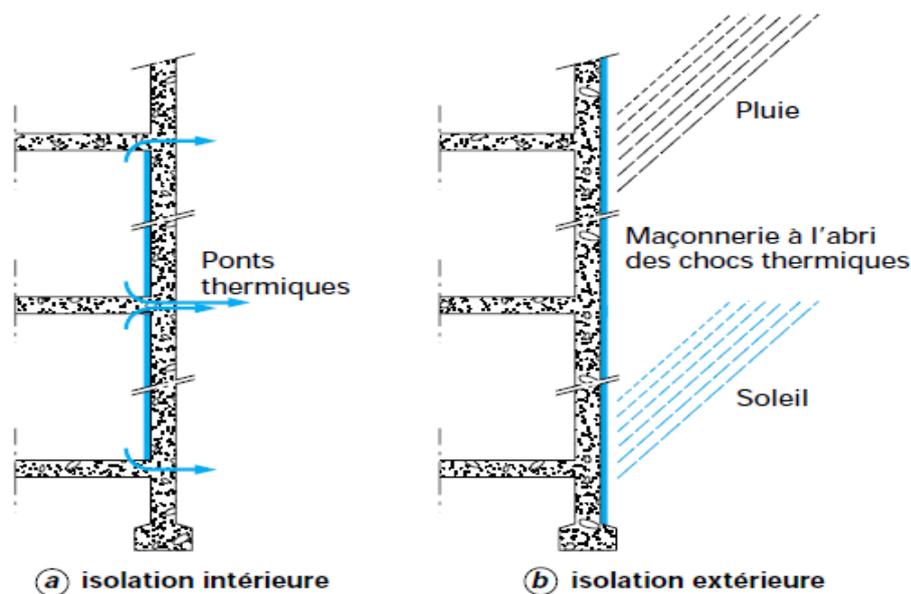


Figure 10: Comparaison entre isolation par l'intérieur (a) et par l'extérieur (b) au niveau de la dalle [17]

### 3.1.5. Isolation de la toiture (plancher terrasse)

Isoler le toit est un objectif prioritaire, les déperditions thermiques s'effectuant à travers les toits sont estimées à plus de 30% tout simplement parce que l'air chaud monte. Les procédés les plus utilisés pour l'isolation des toits sont cités ci-dessous.

#### a) Isolation sur étanchéité

En réhabilitation, la technique la plus utilisée pour isoler les toits est l'isolation inversée réalisée avec du polystyrène extrudé ou expansé dans ce cas, l'isolant est placé sur l'étanchéité existante. Selon l'accessibilité, cet isolant est recouvert d'une couche de gravier ou étalé sur du sable. Son avantage est qu'il protège des intempéries. Son inconvénient est que l'isolation est fortement protégée contre le ruissellement des eaux de pluie figure 11 [16].

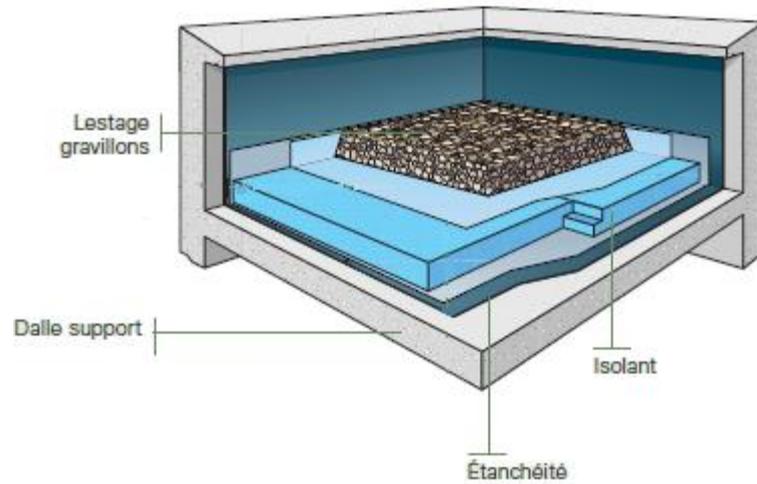


Figure 11: Solution d'isolation inversée pour une toiture inaccessible [18].

**b) Isolation sous étanchéité**

L'isolation est installée au-dessus des dalles de plancher, suivie d'une couche d'étanchéité et d'une couche de protection à gros grains sur les toits inaccessibles ou lorsque la circulation est prévue. Son avantage est qu'il protège plus efficacement la maçonnerie des changements de température figure 12 [16].

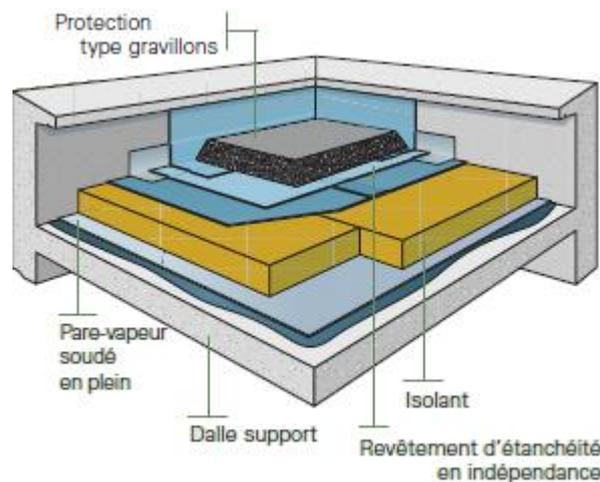


Figure 12: solution d'isolation sous étanchéité pour une toiture inaccessible [18].

**3.1.6. Isolation du plancher bas**

Le plancher bas représente des déperditions de chaleurs allant de 7 à 10%, pour éviter ces pertes une isolation peut être réalisée en posant un isolant sous une chape et carrelage figure 13 [18].

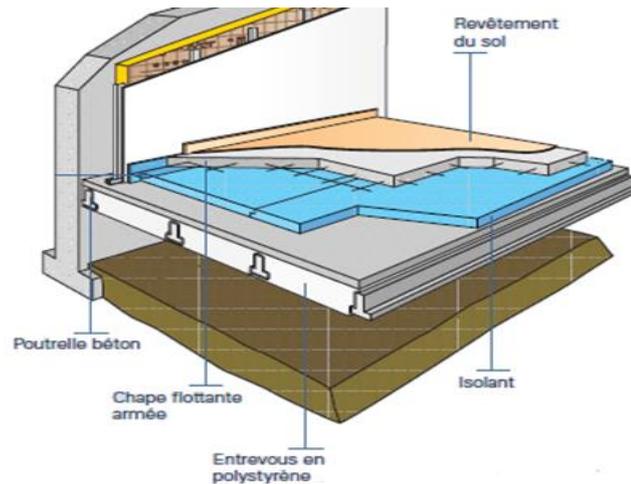


Figure 13: Solution d'isolation d'un plancher bas [18].

### 3.1.7. Les différents matériaux isolants

Les matériaux isolants sont classés selon plusieurs paramètres thermiques propres à eux, on a trois valeurs physiques qui quantifient le pouvoir des matériaux à résister au passage de la chaleur tel que [4] :

- **La conductivité thermique  $\lambda$  (lambda)** : elle mesure la capacité d'un corps à transmettre la chaleur, un matériau est considéré isolant si sa conductivité thermique  $\lambda$  est inférieure ou égale à 0,065 W/m K [4].
- **La résistance thermique **R**** : le flux de chaleur traversant une paroi dépend de son épaisseur et de sa conductivité thermique  $\lambda$ .

$$R = e / \lambda \text{ exprimée en } m^2K/W$$

- **La transmission calorifique **U**** : le coefficient U est aussi appelé coefficient de transmission surfacique  $U = 1/R$  (c'est l'inverse de la résistance thermique) exprimé en  $W/m^2K$

Les différents matériaux isolants peuvent être classés en quatre (4) grandes familles [4] :

- **Les isolants synthétiques** qui sont produits par l'industrie du pétrole, le plus souvent à partir d'un ou plusieurs dérivés du processus de raffinage : polystyrène expansé ou extrudé, polyuréthane...
- **Les isolants d'origine minérale** sont issus de matières premières minérales (silice, argile, roches volcaniques...) : laines de roche et de verre, verre cellulaire, perlite, vermiculite, argile expansé...

- **Les isolants d'origine végétale** sont les plus couramment employés en construction écologique : fibre de bois, laine de chanvre, de coton, de coco, de lin, ouate de cellulose, liège, bottes de paille...
- **Les isolants d'origine animale** : laine de mouton, plumes de canard...

### 3.1.8. Rénovation des fenêtres

La qualité de la fenêtre est devenue primordiale au cours de ces dernières années, car elle doit allier de nombreuses qualités comme offrir une grande luminosité tout en assurant une bonne isolation thermique. L'énergie solaire pénètre facilement le vitrage il est donc important d'utiliser des vitrages peu émissifs et une isolation thermique renforcée qui permet d'améliorer les performances avec un U variant de 2.3 à 1.9 W/m<sup>2</sup>.K, de plus cela réduit nettement la sensation de vitre froide [15].

#### ❖ *Le vitrage*

Il y'a plusieurs types de vitrage notamment le vitrage simple, le double vitrage et le triple vitrage chacun diffère de l'autre en raison de leurs déperditions thermiques comme le montre la figure 14 :

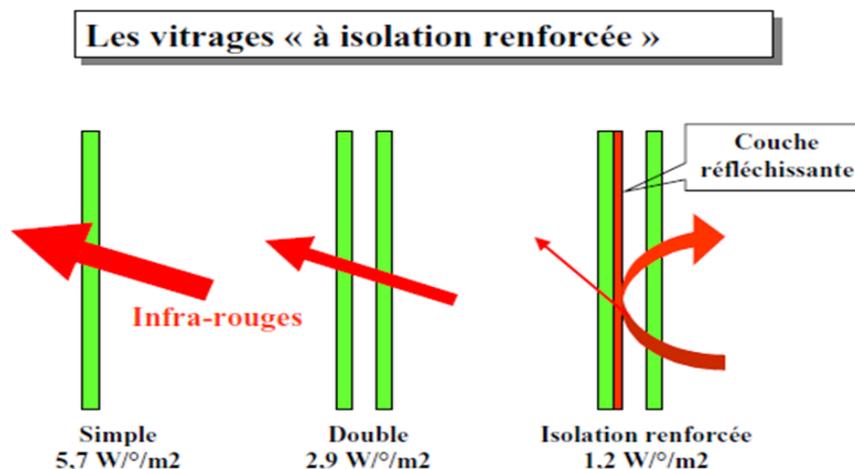


Figure 14: Flux thermique surfacique traversant les différents types de vitrage [14]

**Les différents vitrages isolants sont :**

- Le **double vitrage classique**, constitué par deux vitres séparées par une lame d'air (parfois remplacée par des gaz inertes - argon ou krypton). Il permet de réduire l'effet de paroi froide, la condensation et les pertes d'énergie à travers le vitrage. C'est le

vitrage le plus couramment utilisé, mais ce n'est pas le plus performant d'un point de vue de l'isolation thermique [19].

- Le **vitrage à isolation renforcée (VIR)** dispose d'une lame, composée de gaz argon, entre deux couches de verre (voir la figure 15). C'est un vitrage peu émissif comportant un revêtement spécial à base d'oxydes métalliques déposée sur la face intérieure du vitrage. Ce système peu émissif est plus performant qu'un double vitrage classique, permet de réduire les déperditions thermiques de 60 à 70% [19].
- Le **triple vitrage classique** constitué de trois verres emprisonnant deux lames de gaz inertes (argon ou krypton) entre eux. Il est plus isolant cependant, il réduit les apports de chaleur solaire. Généralement utilisés dans les régions froides ou pour des surfaces vitrées importantes [19].

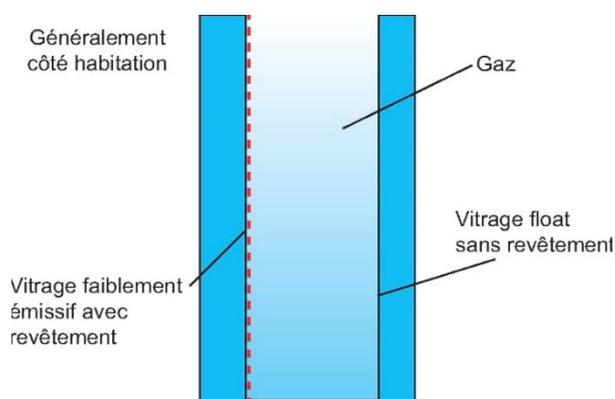


Figure 15: Composition d'un double vitrage isolant peu émissif [12].

#### ❖ *Les menuiseries*

- **Les fenêtres en bois** offrent une très bonne performance d'isolation, d'origine naturelle le bois exige un entretien régulier afin de le protéger des intempéries, insectes ... etc. [4].
- **Les fenêtres en PVC** assurent une isolation optimale et ne nécessitent que très peu d'entretien. Ce sont généralement les fenêtres les plus abordables, le PVC est un faible conducteur thermique son coefficient de conductivité thermique est de 0.17 W/m.k [4].
- **Les fenêtres en aluminium** sont les plus résistantes et ont une durée de vie très importante. Elles offrent une grande conductivité thermique [4].

#### ❖ *Les volets et brise-soleil*

Les protections mobiles telles que les brise-soleils ou volets roulants sont indispensables pour assurer un bon confort thermique tout le long de l'année. Ils permettent d'éviter la

pénétration des rayons de soleil et de la chaleur à l'intérieur de la maison et de se protéger du vent froid ainsi que des basses températures en hiver [4].

### **3.2. Eclairage**

L'éclairage consomme énormément d'énergie, Il est important de réduire les consommations d'électricité en [4] :

- Utilisant l'éclairage naturel pendant la journée cela évite d'allumer les lampes.
- Choissant la bonne ampoule : il faut choisir des ampoules économes telles que les ampoules fluo compactes et les LED.
- Adaptant les sources aux besoins, en privilégiant les ampoules de fortes puissances aux activités nécessitant beaucoup de lumière et les lampes basses consommations pour les éclairages d'ambiance.
- Installant des ampoules fluo compactes ainsi que des systèmes de va-et-vient et des détecteurs de présence dans les pièces de circulations.
- Eteignant la lumière en quittant une pièce.
- Changeant les ampoules en fin de vie, elles éclairent moins bien mais consomment autant que les autres.
- Dépoussiérant les lampes afin d'améliorer leur rendement lumineux.
- Peignant les pièces de la maison dans des teintes claires qui réfléchissent la lumière.

### **3.3. Systèmes de Chauffage**

Le système de chauffage assure le confort thermique de l'environnement intérieur selon les normes fixées par les occupants. Ces systèmes énergétiques peuvent entraîner une surconsommation d'énergie dans les bâtiments si le contexte climatique n'est pas pris en compte. La mise en place d'un thermostat dans chaque zone permet un contrôle spécifique de la température de l'air dans chaque zone pour limiter l'activation du chauffage tout en conservant le niveau de confort souhaité [5]. L'intégration de l'énergie solaire par l'installation de capteurs solaires sur les terrasses des bâtiments peut réduire considérablement la facture énergétique.

## **4. Conclusion**

La conception de l'enveloppe thermique est une étape cruciale pour assurer confort et économies d'énergie. Il est donc évident qu'en renforçant l'isolation thermique de l'enveloppe contribuerait à réduire les transferts de chaleurs, la couche isolante agit comme une barrière empêchant de perdre de la chaleur ou de la laisser s'introduire dans la maison. Les matériaux

de construction jouent un rôle essentiel dans l'enveloppe du bâtiment, Les propriétés thermiques de ces matériaux peuvent augmenter ou diminuer les performances énergétiques car la sélection des matériaux affecte directement la qualité de l'air intérieur et le confort des occupants. Une variété de types d'isolation est disponible, donnant à l'utilisateur la possibilité de choisir en fonction de critères spécifiques tels que le coût et l'efficacité. Il est important de tenir compte de ces facteurs lors du choix.

# CHAPITRE III

# CHAPITRE III

## *Simulation et Modélisation thermique des bâtiments*

### **1. Introduction**

L'objet de ce chapitre est de donner un aperçu de la modélisation énergétique des bâtiments, on définit les principes et outils de modélisation énergétique et des sous-systèmes ainsi que ses avantages et inconvénients.

### **2. Définition de la simulation thermique dynamique (STD)**

La simulation est la résolution d'un modèle qui peut être réalisée sous différentes contraintes. On distingue six niveaux d'abstraction réalisés selon les objectifs de modélisation et les environnements de simulation : niveaux technique, physique, mathématique, algorithmique, numérique et informatique. Chaque niveau est contraint par les niveaux précédant et suivant, qui créent une interaction forte entre le modèle (déterminé pour un objectif de modélisation particulier) et sa simulation numérique (dans le cadre de l'articulation langage de programmation et méthode de résolution). Cela a conduit au développement continu d'outils de simulation pour le domaine unique de la simulation énergétique des bâtiments [20].

La simulation (ou modélisation) énergétique des bâtiments est l'analyse informatique de la consommation énergétique globale d'un bâtiment. Cela se fait généralement à l'aide d'un logiciel spécialisé qui permet la saisie de données propres au bâtiment à modéliser, telles que la superficie, la composition et l'orientation des murs, du toit et du plancher, le type d'occupation, les équipements, l'éclairage et les systèmes mécaniques utilisés [21]. Ces données sont associées à des fichiers météorologiques sélectionnés en fonction de la localisation géographique du bâtiment et destinées aux calculs énergétiques, puis le logiciel calcule la consommation énergétique des équipements et systèmes électromécaniques du bâtiment pendant la période d'étude [22].

### **3. Quelques logiciels de la STD**

Sur le marché, il existe depuis de nombreuses années des outils qui permettent d'effectuer des simulations thermiques, qui vont de simples feuilles de calcul à des outils très sophistiqués.

La majorité de ces outils a été développée initialement pour calculer les besoins thermiques de chauffage et refroidissement d'un bâtiment, sur la base des caractéristiques de l'enveloppe.

### **3.1. TRNSYS**

TRNSYS « TRaNsient System Simulation Program » est un outil de simulation de système qui a été créé 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 une simulation environnementale qui peut répliquer n'importe quel système thermique complexe, comme un bâtiment [22].

### **3.2. PLEIADES COMFIE**

PLEIADES COMFIE est destiné à simuler le comportement de la consommation énergétique des bâtiments. PLEIADES est compatible avec l'interface utilisateur et a été développé comme moteur de simulation thermodynamique depuis 1990. Ce logiciel peut être combiné avec ALCYONE pour mettre en œuvre des saisies et visualisations 3D du bâtiment, cet outil se distingue par sa conception simple et sa rapidité dans l'exécution des simulations [22].

### **3.3. 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 [5].

### **3.4. PLEIADES COMFIE**

PLEIADES COMFIE est destiné à reproduire le comportement de consommation énergétique des bâtiments. PLEIADES est compatible avec l'interface utilisateur et a été conçu comme un outil de simulation thermodynamique depuis 1990. Ce logiciel peut être combiné avec ALCYONE pour créer des modèles 3D du bâtiment et des visualisations de celui-ci. Ce logiciel se distingue par sa conception simple et sa rapidité d'exécution des simulations [22].

### **3.5. Dymola**

Dymola est un laboratoire dédié à la Modélisation Dynamique, un focus particulier sur la simulation de systèmes complexes. Développé par Dassault Systèmes et basé sur le langage gratuit Modelica, il permet de modéliser de manière pratique des systèmes dynamiques complexes et multiples basé sur la physique. Historiquement employé dans l'industrie aéronautique et automobile, ce logiciel dispose aujourd'hui de bibliothèques dans de multiples disciplines, dont les composants pour la mécanique, l'hydraulique, l'électricité, la robotique et la thermique du bâtiment. Cet instrument peut également être combiné avec d'autres instruments comme Energy Plus, Matlab ou GenOpt... [22].

### **3.6. HAP**

L'outil de conception HAP (Hourly Analysis Program) de l'entreprise Carrier comprend deux modules, un qui permet l'estimation de la charge et l'autre une analyse énergétique sur une base horaire. Les transferts de chaleur dans le bâtiment sont calculés par la méthode des facteurs de transfert de l'ASHRAE. Le module d'analyse de l'énergie fait une simulation heure par heure des charges et de l'opération des équipements pour une année complète [5].

Dans notre travail, nous avons choisi l'utilisation de Trnsys dont nous possédons la version 16.

## **4. Présentation de TRNSYS**

TRNSYS définit un système comme un ensemble de composants interconnectés. Il a été conçu à l'origine pour simuler les systèmes de services du bâtiment (HVAC), les systèmes solaires. Il est désormais disponible en version générique pour simuler des bâtiments complets.

Le programme principal contient une collection de 75 composants prédéfinis (par exemple des capteurs solaires, des radiateurs, des bâtiments multizones, etc.) dont la représentation interne est documentée dans un classeur. Dans le fichier d'entrée (appelé bureau TRNSYS), l'utilisateur précise les composants avec lesquels il souhaite simuler son système. Pour chaque composant, il précise les paramètres (tels que les valeurs de conductivité thermique) et les connexions entre les composants. Ces connexions déterminent l'ordre de calcul. Afin de stocker les résultats, la sortie du composant peut être connectée à une " imprimante " virtuelle qui a mis dans un fichier l'évolution de cette variable au cours de la simulation. Chaque sortie d'un composant doit être connectée à l'entrée d'un autre composant. Certains composants lisent des fichiers et fournissent au système des données externes (par exemple des données météorologiques) [20].

Le logiciel est divisé en deux parties principales :

- **TRNBuild**, qui permet de rentrer les caractéristiques du bâtiment (zones, parois, apports internes, débits de ventilation...). Il génère un fichier « point bui ».
- **Simulation Studio**, qui est l'interface de calcul. Il permet de modéliser l'environnement du bâtiment (climat, apports solaires, autres données d'entrée) et d'obtenir les résultats de simulation. Il génère un fichier « point tpf » [23].

## 5. La démarche de simulation sous TRNSYS

La procédure de simulation de processus dans le logiciel TRNSYS implique l'utilisation d'approches classiques de modélisation numérique reconnues dans la littérature. Ci-dessous un organigramme résumant la procédure de modélisation et de simulation pour le système étudié.

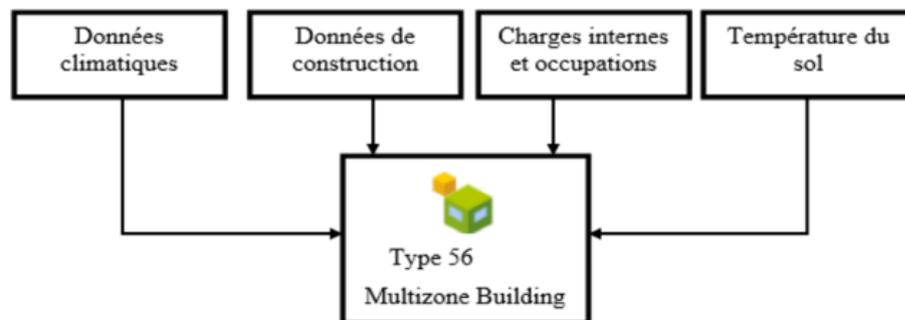


Figure 16: paramètres d'entrée << Type 56 >>.

La démarche de simulation s'effectue en 4 étapes :

- **Première étape :**

- Le choix précis des modèles « Types » correspondant au type de module qu'on veut modéliser, mode de fonctionnement pour l'application destinée, et la nature des résultats qu'on veut avoir ;
- L'assemblage des Types pour constituer le modèle final et assurer la liaison entre eux avec la déclaration précise des types d'entrée et de sortie ;
- La mise en place des données climatiques pour la région où l'étude est faite ;
- Le dimensionnement des systèmes (Type de capteur solaire et échangeur de chaleur air sol) et la déclaration des paramètres physiques et thermiques.

- **Deuxième étape :**

La description détaillée du bâtiment étudié dans l'interface TRNBuild issue du modèle multizone (Type 56). Cette description consiste à :

- Etablir les zones thermiques du bâtiment, à dimensionner l'enveloppe et les fenêtres ;
  - Définir la composition des parois (matériaux de construction) et le type de vitrage (simple ou double) ;
  - Définir l'orientation du bâtiment ;
  - Compléter les charges thermiques (appareils et occupations) ;
  - Installer des systèmes de chauffage et de refroidissement ;
  - Fixer les résultats de sortie (températures, humidité, besoins énergétiques, bilan général, etc.).
- **Troisième étape :**
    - Le couplage des systèmes énergétiques (le capteur solaire thermique et l'ECAS) avec le bâtiment « Type 56 » ;
    - La configuration des systèmes de contrôles et de régulation entre les systèmes énergétiques (Types) et le bâtiment « Type 56 ».
  - **Quatrième étape :**
    - Le lancement de simulation avec un pas de temps précis ;
    - La validation des résultats de simulation avec ceux de l'expérimental ;
    - La lecture des résultats de la simulation (Figure III.1) ;
    - L'exploitation des résultats (importation des données).

### **5.1. L'interface TRN BUILD**

TRNBuild est un outil qui permet d'introduire les propriétés requises pour la simulation thermique de bâtiments multizones. Ses propriétés sont présentées dans "TRNSYS Simulation Studio", une interface qui permet de décrire tous les composants d'un bâtiment multi-espaces utilisant le Type 56. En effet, nous spécifions la composition des murs, leurs orientations respectives, les surfaces vitrées et les types de vitrage utilisés. Il est également nécessaire de définir les conditions initiales de la zone d'étude (température intérieure et humidité relative), les caractéristiques des murs, fenêtres, portes, sols et plafonds (dimensions, matériaux, orientation, etc.). Le modèle de bâtiment multizone permet à l'utilisateur de construire des types de murs, et les propriétés thermo physiques (conductivité thermique, densité, chaleur spécifique, etc.) des matériaux constituant chaque couche sont saisies par l'utilisateur ou sélectionnés dans une bibliothèque existante [22].

## 5.2. Les étapes de réalisation du building

- On définit les orientations et les pièces constituant le modèle étudié qu'on appelle les zones (figure 17).

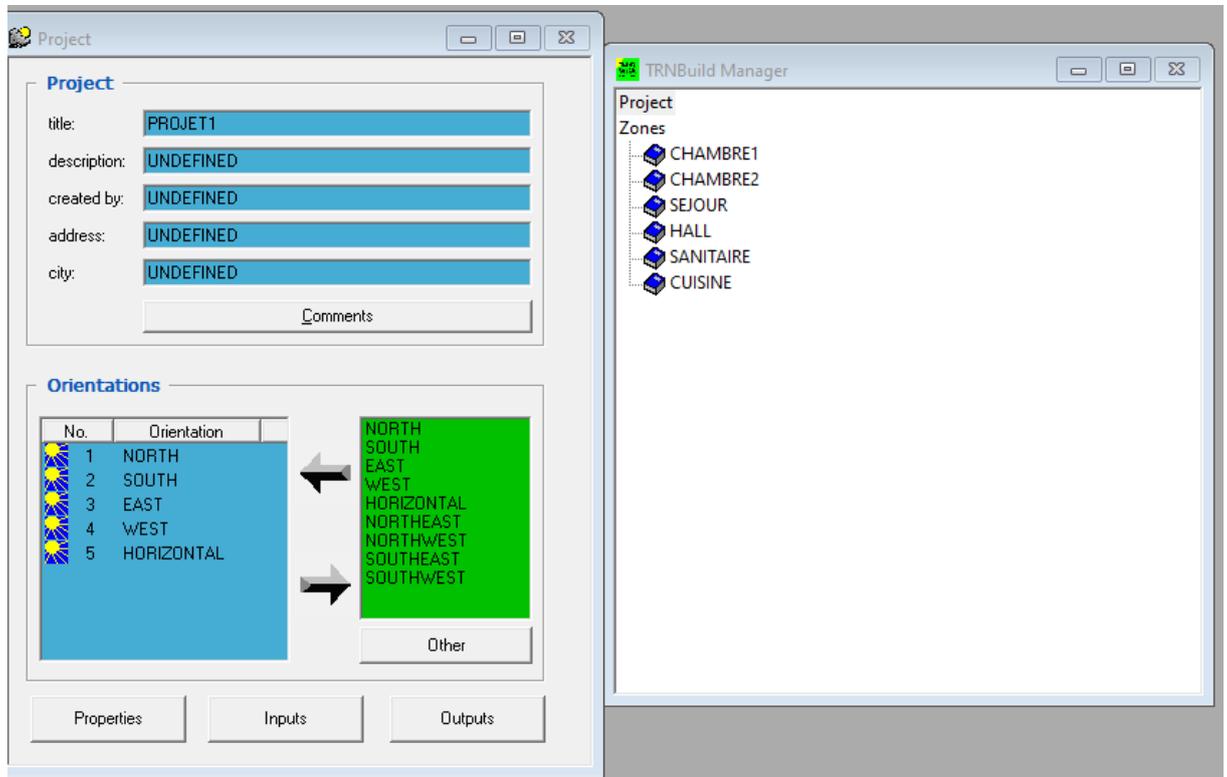


Figure 17: Définitions des orientations et des zones.

- On définit chaque élément (couche) constituant une paroi (mur, plancher, toit ..... ) par sa conductivité thermique, capacité thermique et la masse volumique l'unité utilisé par TRNSYS étant le kJ/h (figure 18).

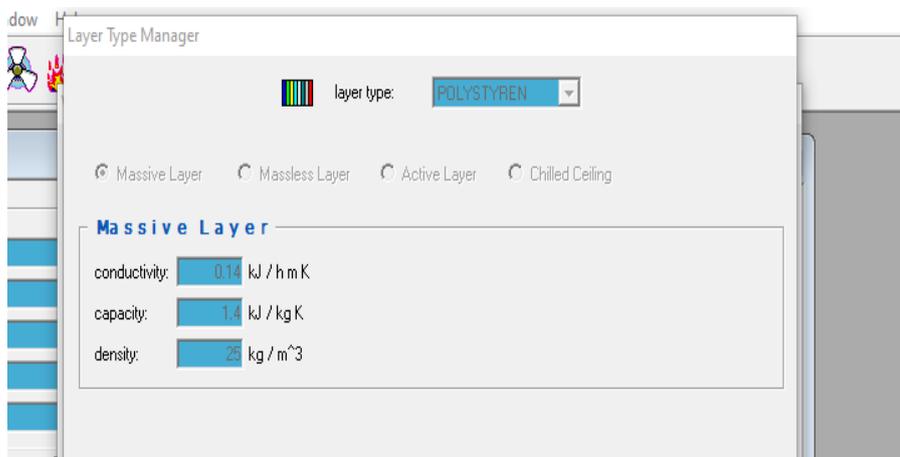


Figure 18: Définition des paramètres thermo physique des couches.

- Les parois sont constitués de couches de matériaux qu'il faudra introduire une par une en précisant leurs épaisseurs, leur caractéristiques thermophysiques ainsi que leur position en allant de l'intérieur vers l'extérieur (figure 19)

Figure 19: Définition du mur

- Pour les fenêtres on définit le type de vitrage, les coefficients d'échange par convection intérieur et extérieur et la transmissibilité du vitrage et des menuiseries comme le montre la figure 20.

Figure 20: Définition des fenêtres

- On définit la superficie et le volume de chaque pièce du modèle ainsi que pour les parois en indiquant le type de parois, l'orientation (nord, sud..), la catégorie (extérieure, adjacente..) et on définit des fenêtres et portes pour chaque mur qui en comporte comme le montre la figure 21.

Les catégories des parois sont [23] :

- **EXTERNAL** : pour les parois extérieures il faut définir leurs orientations parmi les orientations précédemment définies « view factor to sky » qui est égal à 1 pour une toiture terrasse, 0.5 pour un mur vertical, 0 pour une face horizontale orientée vers le bas.
- **ADJACENT** : pour les parois de la zone en contact avec une autre zone. Il faut donc préciser la zone avec laquelle elle est en contact une fois que cette zone est définie et le sens de la paroi
- **BOUNDARY** : pour les parois de la zone en contact avec une condition limite (par exemple le sol). Dans ce cas, il faut préciser la température de la condition limite.
- **INTERNAL** : pour les parois internes à la zone. Ces parois servent surtout à faire augmenter l'inertie de la zone.

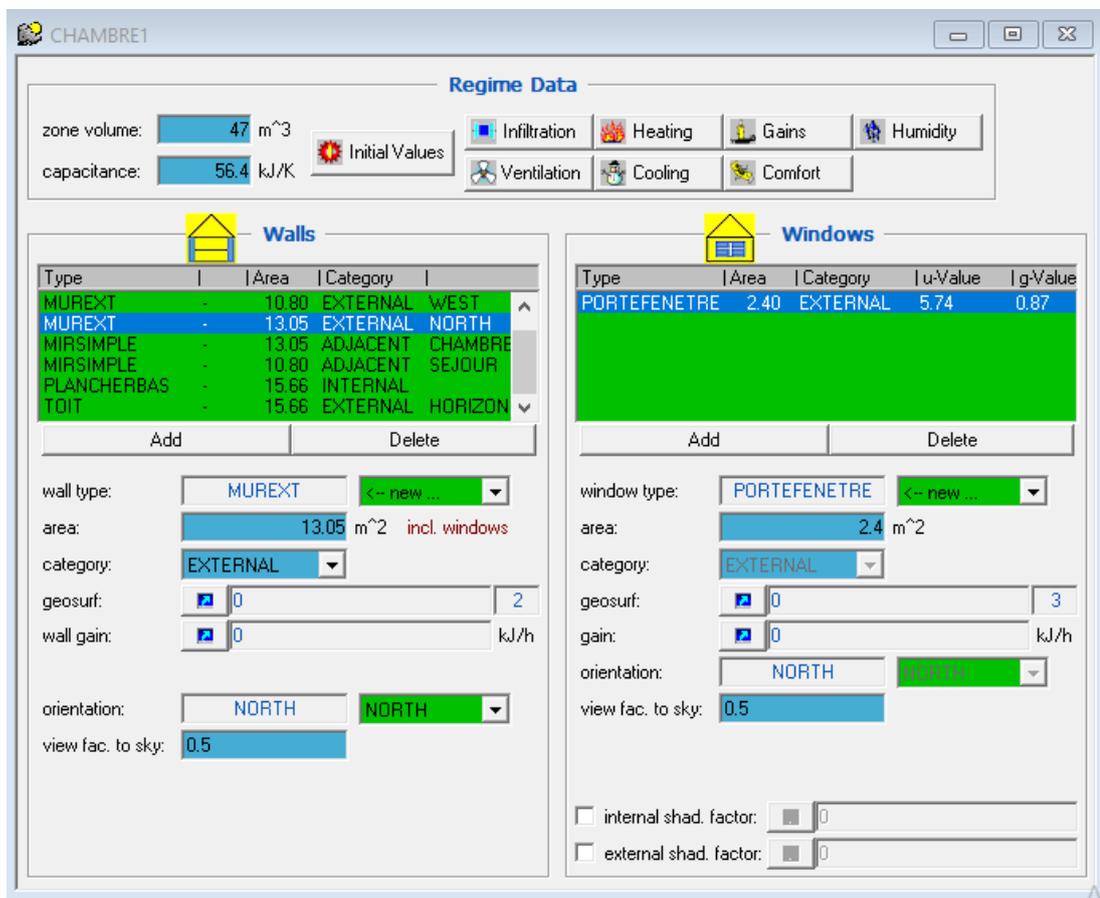


Figure 21: Définition des parois constituant une zone

Pour évaluer les besoins énergétiques du bâtiment, nous devons introduire la valeur de température à laquelle on souhaite activer le chauffage dans Heating type manager ou la climatisation dans cooling type manager pour chaque zone (pièce) du bâtiment modélisé.

La réglementation thermique des bâtiments d'habitation (D.T.R. C3-2, Fascicule 1) [24] préconise les valeurs suivantes :

- Chauffage : activation du chauffage pour des températures intérieures inférieures à 21 degrés Celsius.
- Climatisation : activation de la climatisation pour des températures intérieures supérieures à 27 degrés Celsius.

Pour déterminer le type de calcul qu'on souhaite effectuer et les résultats désirés, on définit les outputs (qui constituent la dernière étape de la description du bâtiment), en sélectionnant une zone ou un groupe de zones et on sélectionne le numéro de l'output correspondant à sa fonctionnalité. La figure 22 montre comment on définit les outputs pour calculer les besoins énergétiques pour un groupe de zones.



Figure 22: Définitions des outputs pour le calcul des besoins énergétiques.

### 5.3. Simulation studio

Le laboratoire de simulation de TRNSYS Simulation Studio est une structure d'accueil qui facilite le développement de nouveaux modèles numériques ainsi que la réalisation d'études dynamiques.

Cet outil facilite l'intégration de toutes les caractéristiques des projets de construction, y compris l'emplacement, les matériaux et l'architecture, ainsi que les systèmes de chauffage, de refroidissement et de climatisation. Cela permet de simuler les projets dynamiques. Il permet d'évaluer l'ensemble de l'énergie consommée, les températures de chaque pièce et d'identifier les surchauffes [21].

TRNSYS ou tout autre logiciel se caractérise par fonctions qui peuvent se regrouper en trois domaines [22]:

#### ❖ Entrées

Concernant toutes les informations à introduire et à stocker dans des bibliothèques que le concepteur peut utiliser. Ces entrées concernent (l'environnement physique «climat, site...», le bâtiment «l'enveloppe», les apports internes (occupants, éclairage, ..) et 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. Les phénomènes que le modèle de simulation thermique doit prendre en compte :

- 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.

...

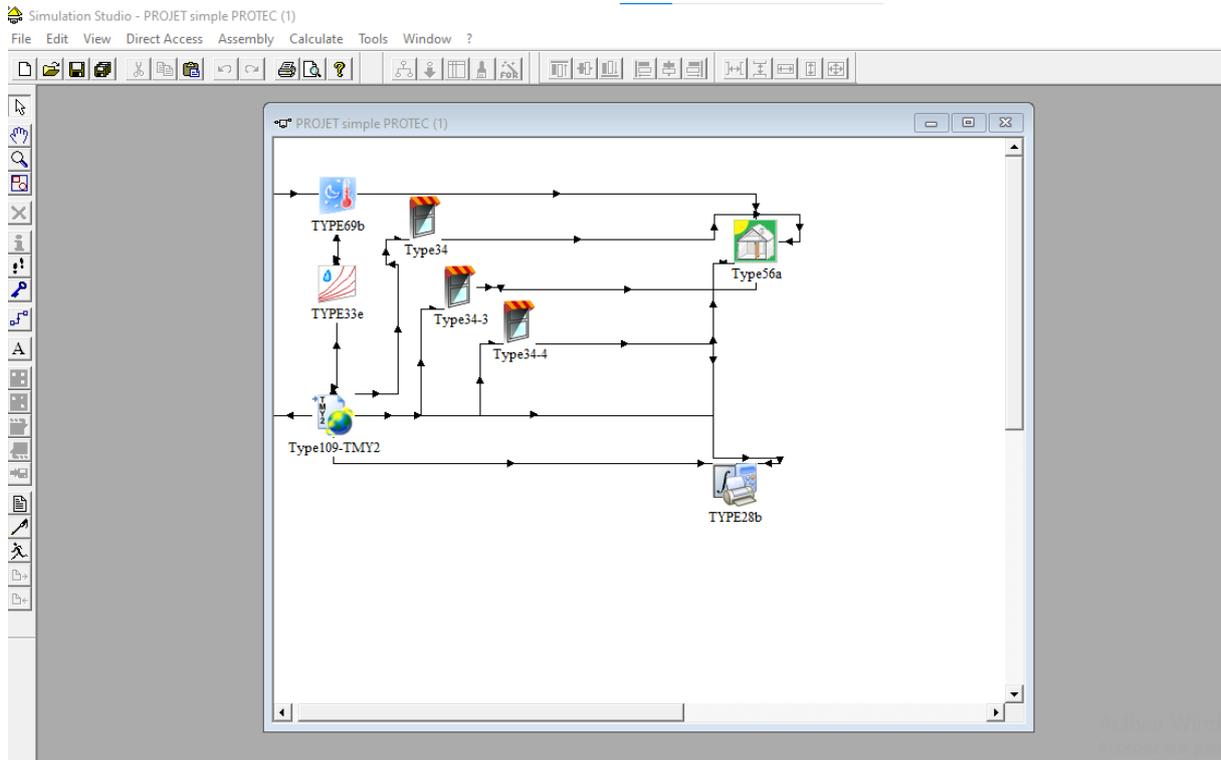


Figure 23: Interface TRNstudio avec schéma pour la simulation.

## 6. Les types

Les composants de TRNSYS, aussi appelés TYPES, représentent chacun un élément du système étudié : capteur solaire, tuyau, pompe, réservoir, vanne etc. Ils comportent chacun des entrées, des sorties et des paramètres de simulation que l'utilisateur saisit sur l'interface visuelle Simulation Studio. Les différents types utilisés dans notre modélisation sont :

### ❖ Type 56

Ce composant modélise le comportement thermique d'un bâtiment comportant jusqu'à 25 zones thermiques. Ce composant lit la description du bâtiment à partir d'un ensemble de fichiers externes avec les extensions \*.bui, \*.bld et \*.trn. Cette instance de Type56 génère son propre ensemble de fichiers de sortie récapitulatifs mensuels et horaires [22].

Le TYPE 56 est relié à 4 composants pour tenir compte des conditions climatiques dans lesquelles la maison a été modélisée.

### ❖ Type 109

Le type 109 lit un fichier de données météo dans le format standard TMY2. Les dossiers

TMY2 peuvent être générés à partir de plusieurs programmes, tels que Métronom. En plus, des valeurs du rayonnement solaire direct et diffus, les sorties standard TMY2 sont la température ambiante, l'humidité relative, la vitesse et la direction du vent [23].

❖ **Type69**

Module *sky temp*, calcule la température fictive du ciel [22].

❖ **Type33**

Module psychrométrique, permet de déterminer les conditions d'humidité [22].

❖ **Type 34**

C'est un dispositif d'ombrage pour protéger les surfaces réceptrices du rayonnement direct pendant les mois d'été. Ce composant calcule le rayonnement solaire sur un récepteur vertical ombragé par un surplomb et/ou un mur en aile [25].

❖ **Le type 28**

Peut être utilisé pour générer des résumés quotidiens, hebdomadaires, mensuels ou saisonniers d'informations calculées dans une simulation. Le type 28 intègre ses entrées sur l'intervalle de temps du résumé, effectue des opérations arithmétiques spécifiées par l'utilisateur sur les intégrales et imprime les résultats. Cette configuration imprime les résultats dans un fichier externe [25].

## 7. Avantages et inconvénients de TRNSYS

TRNSYS présente comme avantages plusieurs avantages. On citera [26]:

- Il possède beaucoup de documentations et feedbacks de réalisation
- Possibilité de modifier le code source soi-même afin de personnaliser son modèle
- La possibilité de faire des liens avec d'autres programmes comme Matlab, Excel, sketchUp.
- Grande possibilité de définir la période de simulation : choix du pas de temps du début et à la fin de la simulation.
- La prise en compte l'inertie du bâtiment et ainsi le stockage de chaleur qui s'y produit.
- La définition du bâtiment grâce à TRNBUILD est plus facile et permet de faire changer les différents paramètres très facilement.
- L'accès à une large librairie contenant plusieurs matériaux modifier ou d'ajouter des composants qui ne figurent pas dans la librairie d'origine.

TRNSYS comporte aussi quelques désavantages à tenir compte lors des hypothèses et interprétations des résultats.

- L'utilisateur doit introduire l'ensemble des données définissant les systèmes du bâtiment.
- Simplification du gradient d'échange de chaleur par une approche standard de la température.
- Pas de vérifications d'erreurs dans les surfaces et volumes entrés dans le programme.

## **8. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous présentons les outils de simulation thermique dynamique, les fonctionnalités et les phases de mise en œuvre du logiciel TRNSYS que nous avons utilisé pour notre étude, et les résultats de la simulation seront résumés dans le chapitre suivant.

# Chapitre IV

## **CHAPITRE IV**

### **ÉTUDE DE CAS ET RESULTATS**

#### **1. Introduction**

Dans ce chapitre, une évaluation de la qualité de l'intervention, sera réalisée grâce à une analyse des performances énergétiques d'un bâtiment avant et après la mise en œuvre de quelques mesures de rénovation. Le travail portera sur un cas d'étude, un appartement-type du dernier étage d'un bâtiment d'habitation. Sa modélisation a été réalisée avec le logiciel TRNSYS 16.1 et son module TRNBUILD. Le modèle final permet d'évaluer le profil des charges du bâtiment selon la composition des parois, l'orientation des façades, le volume des zones thermiques, l'occupation et les températures de consigne.

#### **2. Description du cas d'étude**

Le logement, de type F3, étudié dans ce projet fait partie d'un bâtiment contreventé par des voiles en R+8 situé à BEJAIA. Les bâtiments en Algérie, ou les constructions en général, sont caractérisés par une uniformisation des systèmes constructifs pour répondre à un objectif de rapidité avec une facilité d'exécution. Il s'agit d'une ossature en béton armé composé par la jonction poteau-poutre avec un remplissage en briques creuses en terre cuite. Les planchers sont composés par des poutrelles en béton armé, des hourdis en ciment préfabriqués ou en terre cuite et une couche de béton armé. Les escaliers sont en béton armé. Ce système de construction est presque le même sur tous le territoire Algérien avec les mêmes matériaux de construction. Généralement, l'isolation thermique en Algérie représente un domaine ignoré lors de l'édification des constructions de tous types.

Les plans architecturaux du bâtiment sont présentés dans la figure 24.



Figure 24: plans architecturaux du logement étudié.

## 2.1. Les matériaux de construction

### ❖ La brique

Elle est en terre cuite ou en parpaing, c'est le matériau le plus utilisé pour le remplissage extérieur ou la séparation intérieure suite à la facilité de son utilisation dans la construction. La brique creuse en terre cuite est en deux types, la brique en 8 ou en 12 trous. Les murs extérieurs sont en double parois en briques creuses séparées par une lame d'air de 5 cm généralement. La brique pleine reste rarement utilisable.

### ❖ Le béton armé

C'est un mélange de ciment, sable, gravier et de l'eau. Il est caractérisé par sa grande résistance mécanique. Son coulage est sur place dans le chantier par des planches souvent en bois. Son utilisation est réservée pour la structure, les dalles pleines, les escaliers, les fondations...

### ❖ Le bois

Il est utilisé généralement pour la menuiserie, les charpentes, ...

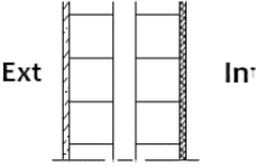
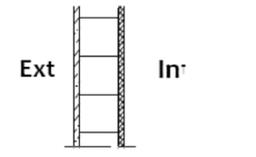
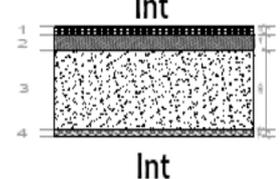
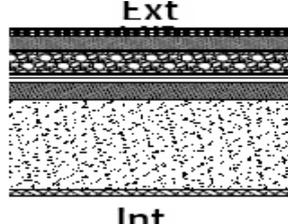
**❖ Le verre**

Il est utilisé généralement pour les vitrages des ouvertures et les façades. Dans la plus part des cas, c'est le vitrage simple qui est utilisé. Sa performance thermique est fonction de son coefficient de transmission U. La valeur U indique le débit de chaleur dû à la conduction, à la convection et au rayonnement à travers une fenêtre, résultant d'une différence de température entre l'intérieur et l'extérieur. Plus le coefficient est élevé, plus la chaleur est transférée (perdue) par la fenêtre en hiver.

**2.2. Propriétés des parois**

Les propriétés des parois du bâtiment étudié sont résumées dans le tableau 3.

Tableau 3: Compositions et propriétés des parois

Parois	Composition des parois (de l'intérieur vers l'extérieur)	Épaisseur (m)	$\lambda$ (KJ/h m K)	Capacité (KJ/kg K)	Densité (kg/m <sup>3</sup> )	U de chaque parois (W/m <sup>2</sup> /k)
<p>Mur double cloison</p> 	<p>plâtre</p> <p>ciment</p> <p>brique</p> <p>lame d'air</p> <p>brique</p> <p>ciment</p>	<p>0,01</p> <p>0,01</p> <p>0,1</p> <p>0,05</p> <p>0,15</p> <p>0,02</p>	<p>1,26</p> <p>4,14</p> <p>1,728</p> <p>0,216</p> <p>1,728</p> <p>4.14</p>	<p>0,936</p> <p>1,08</p> <p>0,936</p> <p>1,227</p> <p>0,936</p> <p>1,08</p>	<p>750</p> <p>2200</p> <p>900</p> <p>1</p> <p>900</p> <p>2200</p>	0,633
<p>Mur simple cloison</p> 	<p>plâtre</p> <p>Ciment</p> <p>Brique</p> <p>Ciment</p> <p>Plâtre</p>	<p>0,01</p> <p>0,01</p> <p>0,1</p> <p>0,01</p> <p>0,01</p>	<p>1,26</p> <p>4,14</p> <p>1,728</p> <p>4.14</p> <p>1,26</p>	<p>0,936</p> <p>1,08</p> <p>0,936</p> <p>1,08</p> <p>0,936</p>	<p>750</p> <p>2200</p> <p>900</p> <p>2200</p> <p>750</p>	2,208
<p>Plancher bas</p> 	<p>Carrelage</p> <p>Mortier de pose</p> <p>Dalle de compression et hourdie</p> <p>Ciment</p> <p>plâtre</p>	<p>0,02</p> <p>0,02</p> <p>0,20</p> <p>0,01</p> <p>0,01</p>	<p>3,6</p> <p>4,14</p> <p>5,22</p> <p>4,14</p> <p>1,26</p>	<p>0,936</p> <p>1,08</p> <p>1,08</p> <p>1,08</p> <p>0,936</p>	<p>1900</p> <p>1900</p> <p>1450</p> <p>2200</p> <p>750</p>	2,614
<p>Plancher terrasse accessible</p> 	<p>plâtre</p> <p>ciment</p> <p>dalle de compression et hourdie</p> <p>sable et gravillons</p> <p>étanchéité</p> <p>mortier de pose</p> <p>carrelage</p>	<p>0,01</p> <p>0,01</p> <p>0,20</p> <p>0,02</p> <p>0,02</p> <p>0,02</p> <p>0,02</p>	<p>1,26</p> <p>4,14</p> <p>5,22</p> <p>4,32</p> <p>1,44</p> <p>4,14</p> <p>3,6</p>	<p>0,936</p> <p>1,08</p> <p>1,08</p> <p>0,792</p> <p>1,404</p> <p>1,08</p> <p>0,936</p>	<p>750</p> <p>2200</p> <p>1450</p> <p>1800</p> <p>1000</p> <p>1900</p> <p>1900</p>	2,226

Le tableau 4 résume les caractéristiques des fenêtres et portes utilisés dans la construction.

Tableau 4: Caractéristiques des portes et fenêtres.

Matériau	Conductance U (W/m <sup>2</sup> K°)	Épaisseur (m)
Fenêtre	5,74	0,0025
Porte en bois	7,67	0,03

### 2.3. Occupation et Apports internes

Le logement est supposé être occupé par quatre (4) personnes. Les apports internes du logement ont été de 100watt/m<sup>2</sup> pour l'éclairage et de 120watt par occupant.

### 2.4. Météorologie

Les performances énergétiques du logement de référence ont été étudiées dans deux villes différentes : *Bejaia et Bechar*. Les données climatiques de Bechar sont tirées directement de la bibliothèque de TRNSYS, alors que celles de Bejaia ont été générées en utilisant le logiciel METEONORM 8 [22]. METEONORM est un outil de référence qui s'appuie sur plus de 25 années d'expérience dans les bases de données météorologiques. Ce logiciel contient une base très exhaustive de données météorologiques mais également des algorithmes permettant de créer, à partir des valeurs mesurées, des fichiers météo de n'importe quel endroit sur le globe.

Quelques caractéristiques des deux stations choisies sont résumées dans le tableau 5.

Tableau 5: caractéristiques des deux stations (Bejaia/Bechar)

	Climat	Caractéristiques	Lat/Long	Élévation	Tmax	Tmin	HRmax	HRmin	Irradiation totale (kWh/m <sup>2</sup> / an)
Bejaia	Méditerranéen		36.76, 5.08	660m	34,94°	3.51°			
Bechar	Aride		36.62,-2.22	773m	40.39°	2.81°			

### 2.5. Les mesures de rénovation proposées

Les mesures proposées dans cette étude sont résumés ci-dessous.

#### 2.5.1. Remplacement du vitrage

L'impact du remplacement du vitrage simple, utilisé dans le bâtiment, par un vitrage double puis triple sera étudié. Les caractéristiques des vitrages utilisés dans l'étude ont été tirées de la bibliothèque de TRNSYS. Elles sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 6: Caractéristiques des vitrages

Type de vitrage	U (W/m <sup>2</sup> k)	Epaisseur (mm)
Vitrage simple	5,74	2,5
Vitrage double	2,95	2,5/12,7/2,5
Vitrage triple	2	2,5/12,7/2,5/12,7/2,5

### 2.5.2. Remplacement des lampes à incandescence par des lampes LED

Les caractéristiques des lampes utilisées sont résumées dans le tableau 7

Tableau 7: caractéristiques des lampes.

Type de lampe	Puissance en Watts	Consommation annuelle en KWh
Lampes à incandescence	100	1825
Lampes LED	10	182,5

### 2.5.3. Isolation des murs par l'extérieur

Une couche d'isolant (polystyrène) et de la fibre de verre ont été ajoutée à la composition du mur sur la façade extérieure.

### 2.5.4. Isolation du toit

Une isolation inversée du toit a été réalisé avec du polystyrène posé sur l'étanchéité et sous un revêtement de carrelage.

### 2.5.5. Utilisation des stores et protections sur les fenêtres

Des protections solaires fixes et des stores mobiles ont été appliqués au-dessus de chaque fenêtre de l'appartement.

### 2.5.6. Rénovation globale

Il s'agit de voir l'impact de l'utilisation de tous les procédés de rénovations précédentes sur la consommation annuelle de notre logement.

### 3. Résultats et Discussions

L'objectif principal du travail est de mesurer l'efficacité énergétique de la rénovation des bâtiments. Les besoins de chauffage et de climatisation ont donc été calculés pour chaque région avant (bâtiment standard) et après intégration des différents procédés de rénovation. Une brève évaluation du confort a été réalisée, dans les deux situations, à travers l'estimation de l'indice de confort PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied).

#### 3.1. Besoins énergétiques

Les besoins ont été évalués en fixant des températures de consigne d'hiver et d'été dans trnbuild de TRNSYS. La réglementation thermique des bâtiments d'habitation (D.T.R. C3-2, Fascicule 1) [24] préconise les valeurs suivantes :

- 21°C pour le chauffage,
- 27°C pour la climatisation.

Le tableau 8 donne les résultats de consommations d'énergie pour le bâtiment standard dans les deux villes considérées.

Tableau 8: Consommation du bâtiment de référence

Consommation (KWh/an)	BEJAIA	BECHAR
Chauffage	6732,9	6327,653035
Climatisation	1598,73	6350,380225
Eclairage	1825	1825
Consommation totale	10156.63	14503,03326

##### 3.1.1. Impact du changement du vitrage des fenêtres

Le passage du vitrage simple au double puis au triple a donné les résultats résumés dans le tableau 9.

Tableau 9: Consommation énergétique avec simple, double et triple vitrage

Consommation (KWh/an)	simple vitrage	Double vitrage	Triple vitrage
Chauffage	6732,9	6048,87	5885,09066
Climatisation	1598,73	1537,27	1478,13
Consommation totale	8331,63	7586,14	7363,22066

La figure 25 montre une réduction des besoins en passant du vitrage simple au double et triple vitrages. Le pourcentage de réduction des besoins a été calculé et est illustré dans la figure 26.

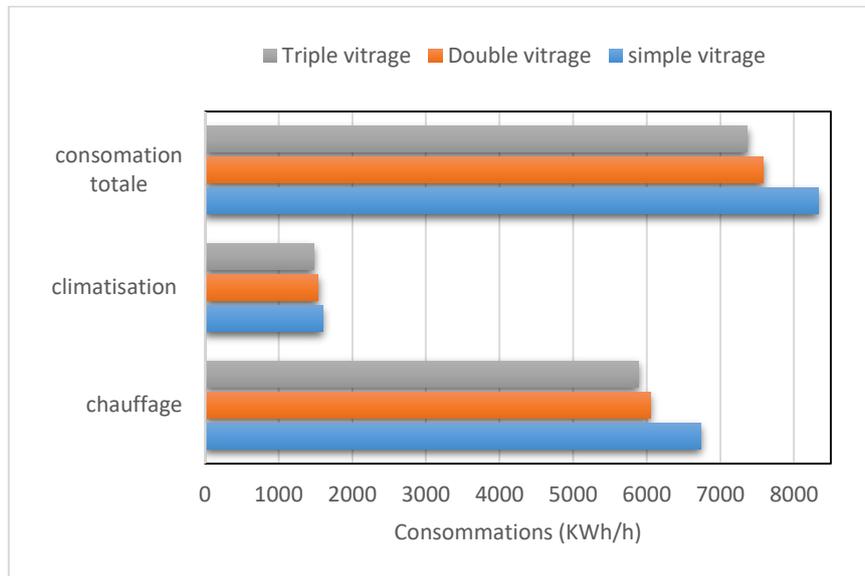


Figure 25: Estimation des consommations annuelles en fonction du type de vitrage utilisé.

Comme montré sur la figure, on remarque que la réduction des besoins en passant du double au triple vitrage fournit des gains énergétiques d’une valeur de **2.93%** qui reste assez minime et peu rentable en vue du prix élevé d’un triple vitrage. Nous optons donc pour le choix d’un vitrage double pour la rénovation globale de notre bâtiment.

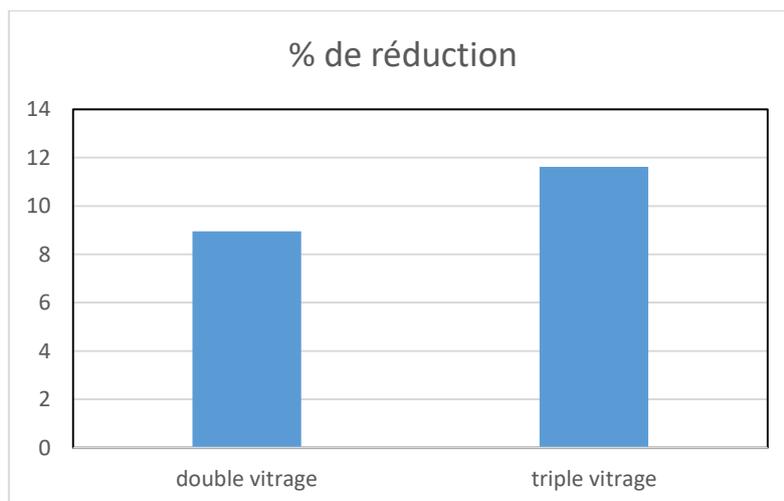


Figure 26: Pourcentage de réduction des besoins énergétiques en fonction du type de vitrage

### 3.1.2. Influence du type de lampes utilisé

Dans le bâtiment standard, un éclairage avec lampes à incandescence de 100W est utilisé, l'influence du remplacement de ce type de lampes par des lampes LED de 10W est étudiée.

Notons que chaque pièce du logement étudié comporte une seule lampe, sauf le séjour qui est muni de deux lampes. On a fixé une durée moyenne d'allumage des lampes de 5h/24h.

Les résultats de simulation sont présentés par la figure 27.

Les lampes LED consomment 10 fois moins d'énergie d'éclairage que les lampes à incandescence. Ces dernières dégagent beaucoup de chaleur, contrairement au LED, ce qui explique la réduction des besoins de chauffage et l'augmentation des besoins de climatisation. En utilisant le LED, on réduit les besoins énergétiques totales de 12.74%, ce qui n'est pas négligeable.

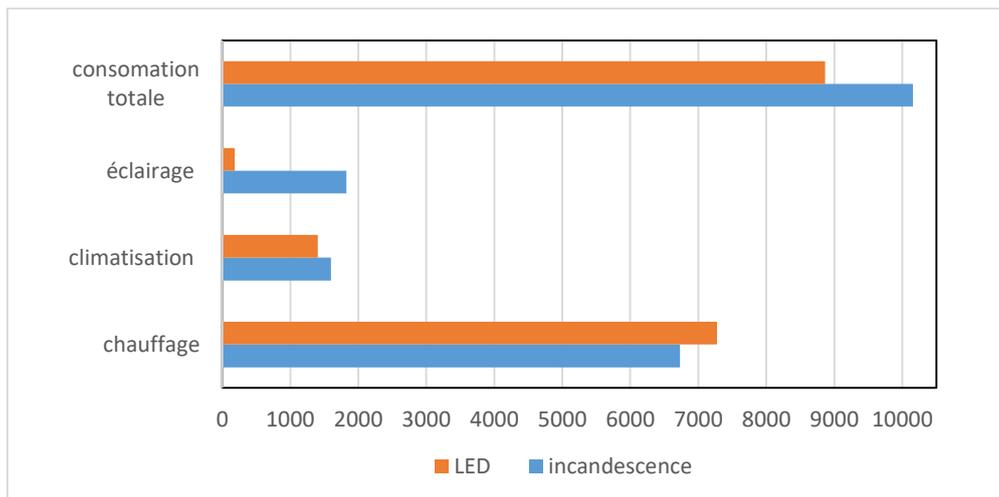


Figure 27: Influence du type d'éclairage utilisé sur les consommations annuelles d'énergie.

### 3.1.3. Isolation des parois

Le polystyrène est un matériau connu par ses propriétés d'isolation due essentiellement à sa faible conductivité thermique. Nous avons tout d'abord comparé entre l'utilisation de deux types de polystyrène pour faire notre choix. Nous avons utilisé une isolation avec 5 cm de polystyrène expansé et de polystyrène extrudé. Les caractéristiques des polystyrènes utilisés sont résumées dans le tableau 10.

Tableau 10: Caractéristiques du polystyrène utilisé pour l'isolation des parois

Polystyrène	Conductivité thermique $\lambda$ (KJ/h m K)	Capacité (KJ/kg K)	Densité (kg/m <sup>3</sup> )
Expansé	0.14	1.4	25
Extrudé	0,105	1,18	35

La composition des parois dans ce cas est telle que montrée dans le tableau 11.

Tableau 11: Composition des parois isolées par l'extérieur (Murs et Toit).

Parois	Matériaux	Epaisseur (m)	$\lambda$ (KJ/h m K)	Capacité (KJ/kg K)	Densité (kg/m <sup>3</sup> )	U de chaque parois (W/m <sup>2</sup> /k)
Mur	Plâtre	0,01	1,26	0,936	750	0,295
	Ciment	0,01	4,14	1,08	2200	
	Brique	0,1	1,728	0,936	900	
	Lame d'air	0,05	0,216	1,227	1	
	Brique	0,15	1,728	0,936	900	
	Ciment	0,02	4,14	1,08	2200	
	Polystyrène extrudé	0,05	0,105	1,18	35	
	Fibre de verre	0,003	0,11	0,61	12	
Toit	Plâtre	0,01	1,26	0,936	750	0,462
	Ciment	0,01	4,14	1,08	2200	
	Dalle de compression et hourdie	0,20	5,22	1,08	1450	
	Sable et gravillons	0,02	4,32	0,792	1800	
	Etanchéité	0,02	1,44	1,404	1000	
	Polystyrène extrudé	0,05	0,105	1,18	35	
	Mortier de pose	0,02	4,14	1,08	1900	
	Carrelage	0,02	3,6	0,936	1900	

Les résultats obtenus avec les deux types de polystyrène sont représentés dans les figures 28 (pour les murs) et 29 (pour le toit).

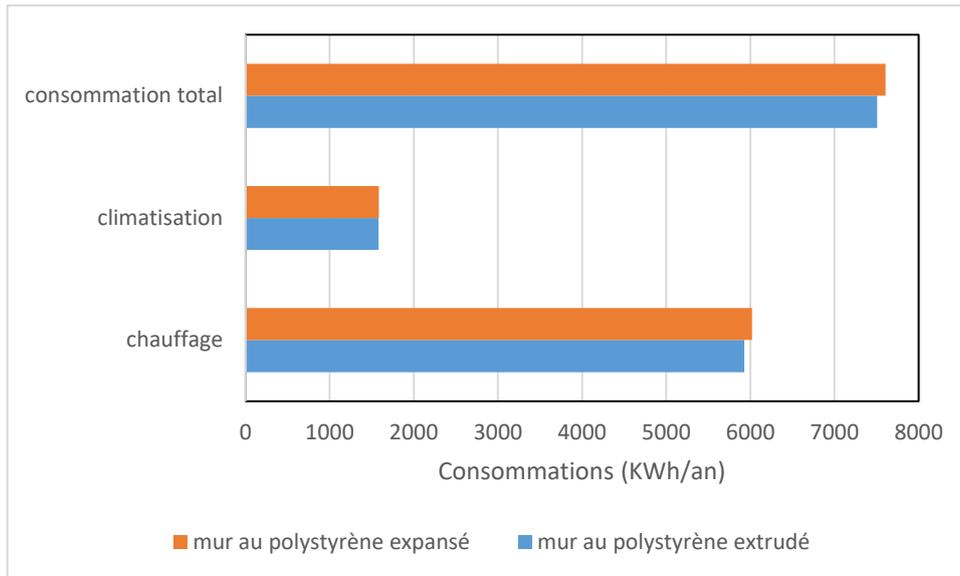


Figure 28: Consommations annuelles avec l’utilisation des deux types d’isolants dans les murs

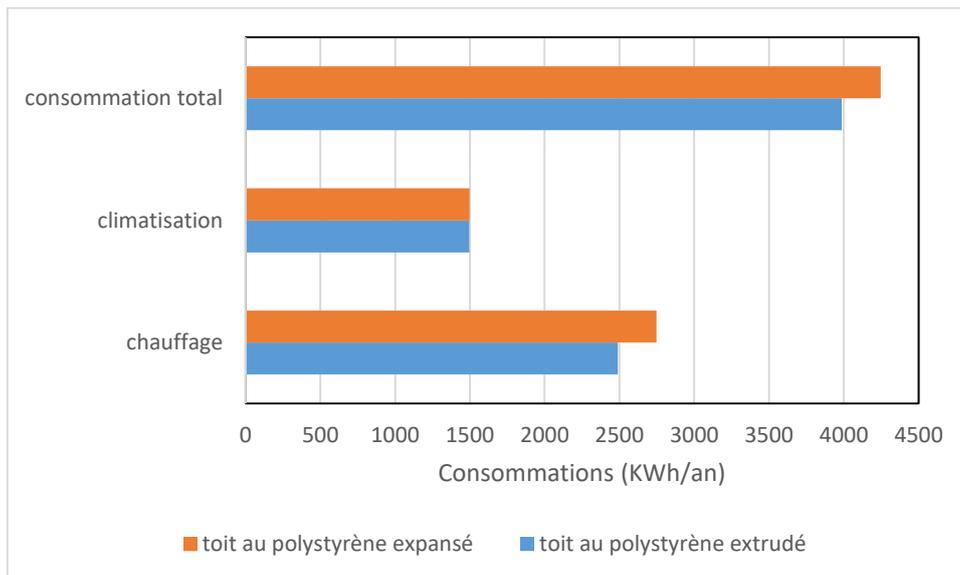


Figure 29: Consommations annuelles avec l’utilisation des deux types d’isolants dans le toit.

On remarque clairement sur les histogrammes précédents que le polystyrène extrudé est plus efficace que le polystyrène expansé, de ce fait on opte pour une rénovation au polystyrène extrudé dans la suite de notre travail.

Deux (2) épaisseurs différentes ont alors été testées : 5 et 10 cm de polystyrène extrudé. Les résultats obtenus sont montrés sur la figure 30.

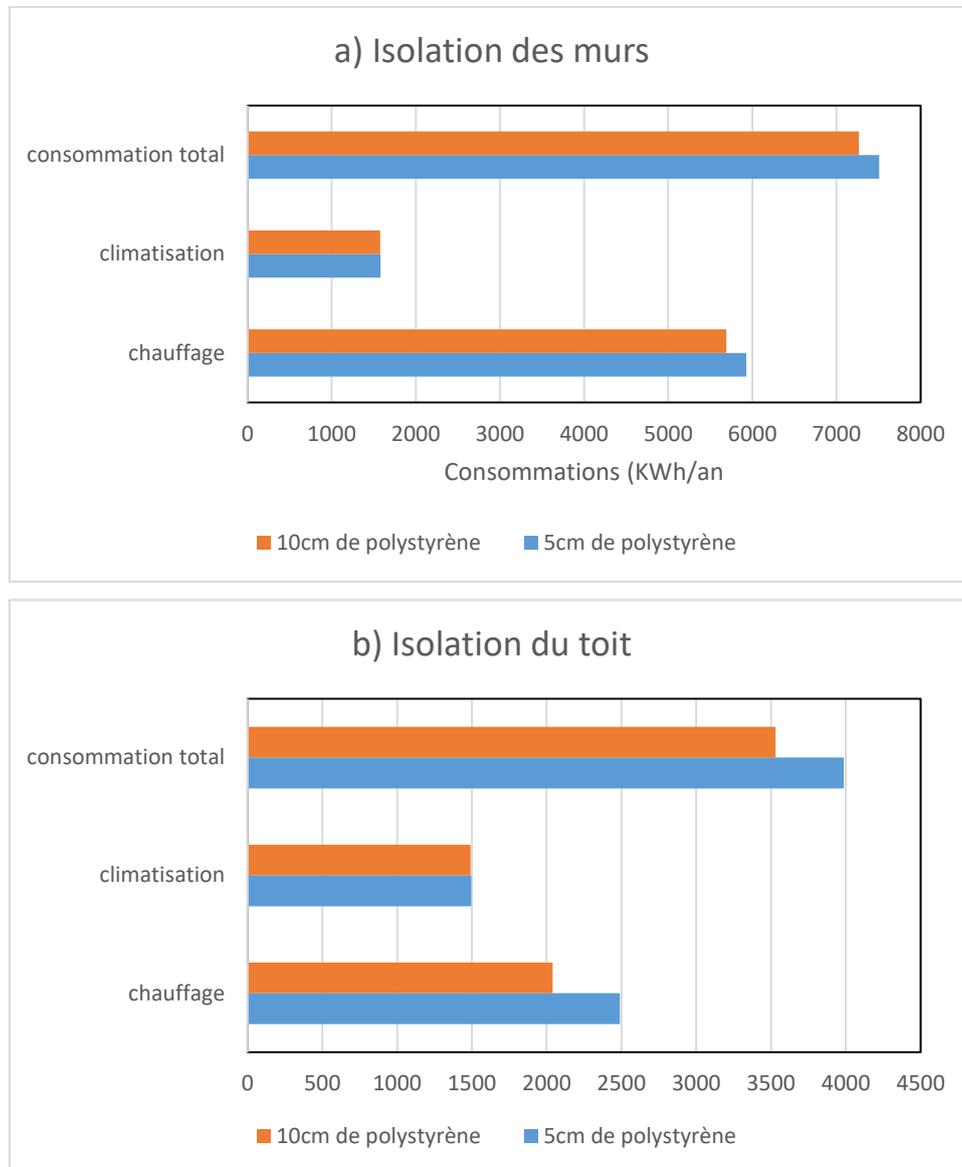


Figure 30: Besoins énergétiques dans les cas de 5 et 10 cm de polystyrène (a) Isolation des murs, (b) Isolation du toit.

Le passage de 5 à 10 cm d'épaisseur de polystyrène pour l'isolation des murs réduit les besoins d'une valeur de **3,2%** une valeur assez faible, ce qui nous conduit à utiliser dans le reste de nos calculs 5cm de polystyrène.

Pour le toit, la réduction des besoins est de **11.4%**, néanmoins on garde une épaisseur de 5cm de polystyrène extrudé car nous jugeons que l'isolation avec 5cm donne déjà de bonnes performances énergétiques.

### 3.1.4. Influence de l'isolation extérieure des murs du bâtiment standard avec du polystyrène extrudé

L'utilisation du polystyrène extrudé dans le bâtiment standard a donné les résultats figurant sur le graphe 31.

On remarque que l'utilisation de l'isolation par polystyrène extrudé permet de réduire les besoins de chauffage, de climatisation et totaux de **11.96**, **1.1** et **9.88** % respectivement.

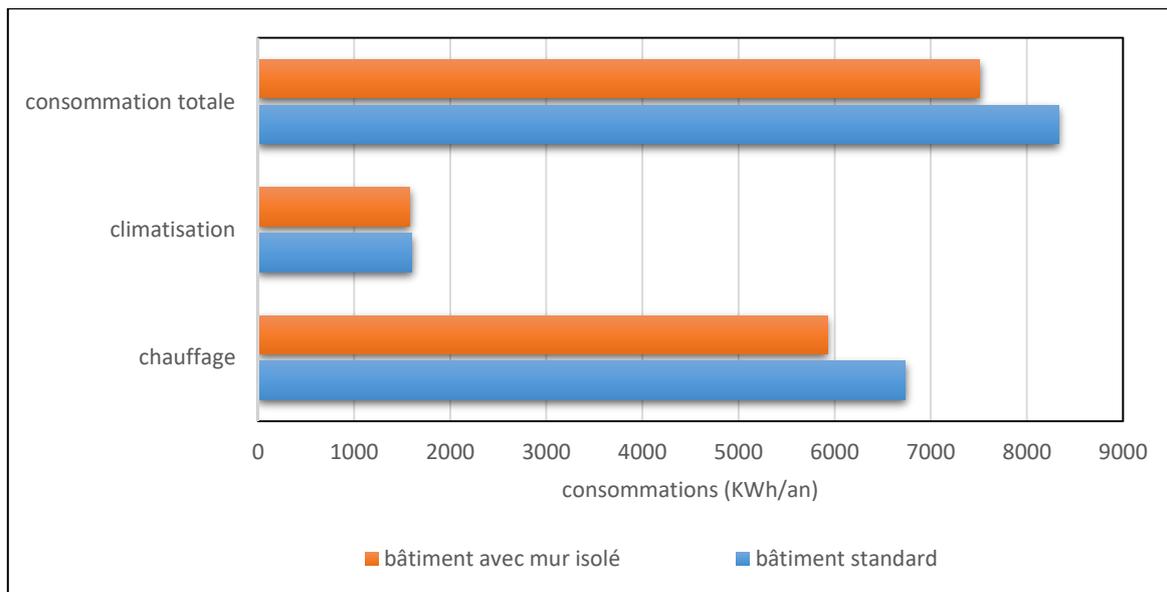


Figure 31: Influence de l'isolation des murs sur les consommations annuelles.

### 3.1.5. Influence de l'isolation du toit du bâtiment

Le toit est la paroi du bâtiment qui reçoit le plus de rayonnement incident. Dans le bâtiment standard, en hiver (période de chauffage), les déperditions de chaleur sont plus importantes que dans le cas du toit isolé. En été, une grande partie du rayonnement solaire est transmise ce qui augmente les besoins de climatisation par rapport au cas du bâtiment avec toit isolé (Figure 32). En isolant le toit avec 5 cm de polystyrène extrudé, on réduit les consommations d'énergie totales de **52.16**%.

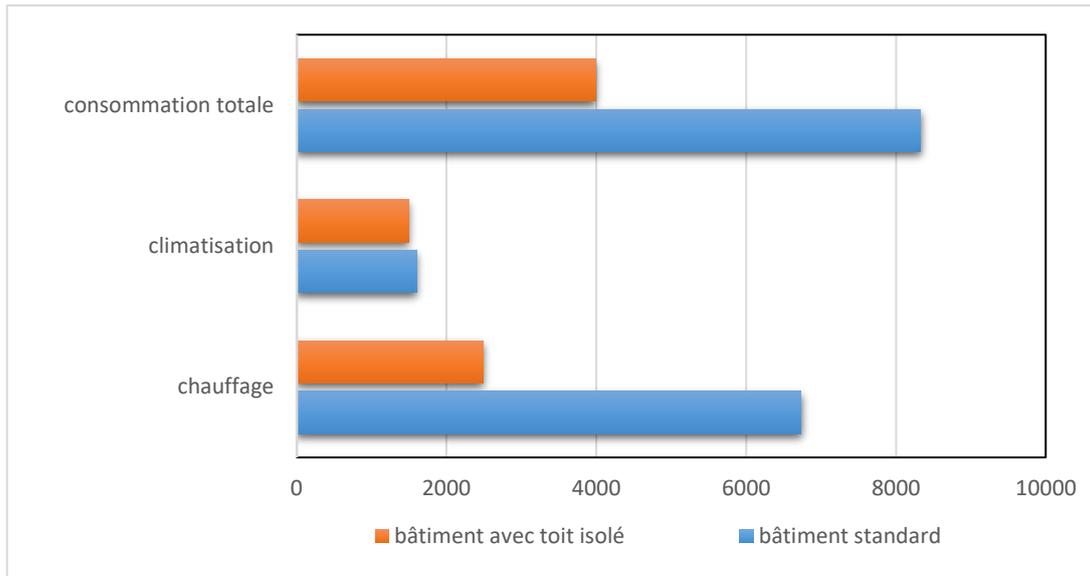


Figure 32: Influence de l'isolation du toit sur les consommations annuelles

### 3.1.6. Influence des stores & protections solaires

Les protections solaires sont des casquettes fixées autour des fenêtres, baies vitrées ... elles ont pour but de réduire le passage des rayons solaires en créant un ombrage tout en laissant la lumière naturelle passer. Les stores ont la même utilité que les protections fixes, cependant elles ont un avantage d'être mobiles et donc on peut les ouvrir et fermer à chaque moment.

Le scénario de fermeture des stores en été adopté est le suivant :

Heure	00h – 10h	10h – 18h	18h – 00h
Ouverture	OUI	NON	OUI

De 10h à 18h, les stores sont fermés à 60% afin de garder un éclairage naturel.

Les résultats des besoins de chauffage, climatisation et totaux avec chaque procédé : protections, stores, protections et stores combinés sont donnés par les figures 33, 34 et 35 respectivement.

On remarque dans la figure 33 que les besoins en chauffage sont plus importants dans le cas de l'utilisation des protections comparés aux stores. Ceci est dû au fait que les protections produisent de l'ombre sur toute l'année (donc même en hiver) ce qui réduit le rayonnement transmis par les vitrages et augmente donc les besoins de chauffage.

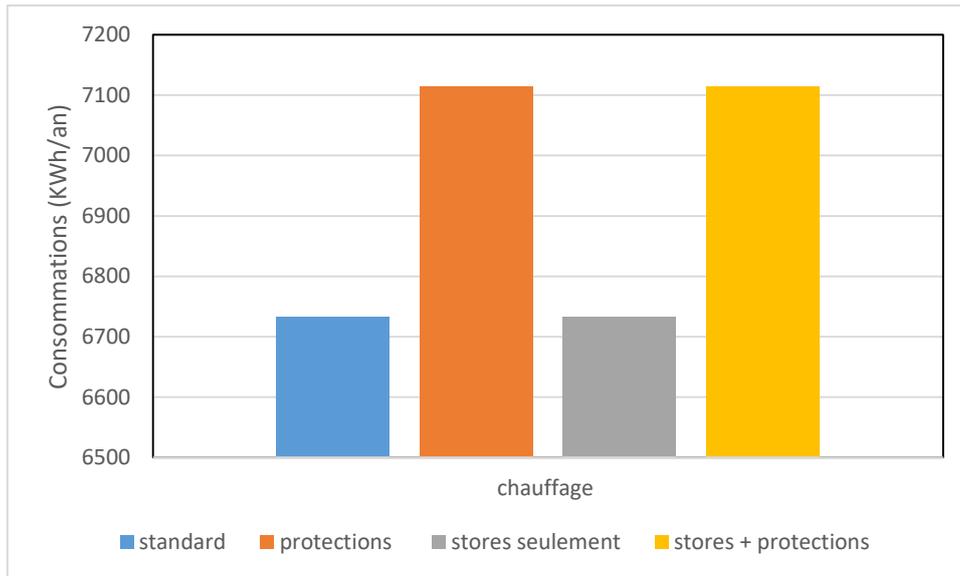


Figure 33: Influence des stores & sur les besoins de chauffage

Pour la climatisation en période d’été, il est clair que les protections combinées aux stores sont plus efficaces que les deux séparément vu que chaque type d’ombrage est conçu pour réduire le passage des rayonnements solaires comme le montre la figure 34.

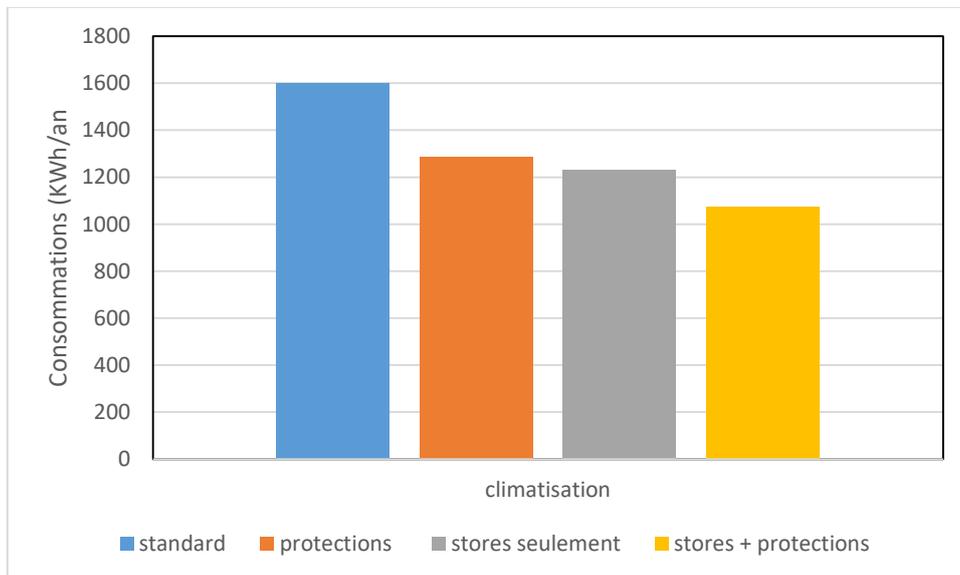


Figure 34: Influence des stores & protections sur les besoins de climatisation

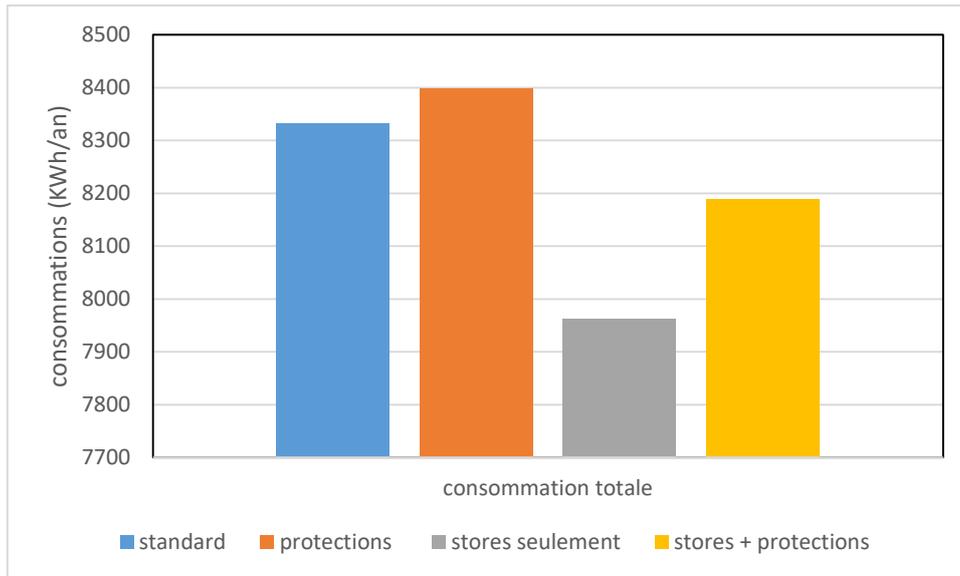


Figure 35: Influence des stores & protections sur les consommations totales

Le taux de réduction des consommations d'énergie, par rapport au bâtiment standard sans aucune protection, a été calculé pour chaque procédé d'ombrage (figure 36). Nous avons noté une réduction de **4,32%** avec les stores alors que les protections augmentent les besoins d'une valeur de **0,79%**. Ceci a conduit à une réduction de seulement **1,72%** avec les stores et les protections ensemble.

On conclut que les protections réduisent les besoins en climatisation mais augmente beaucoup la demande en chauffage ce qui nous conduit à privilégier les stores mobiles.

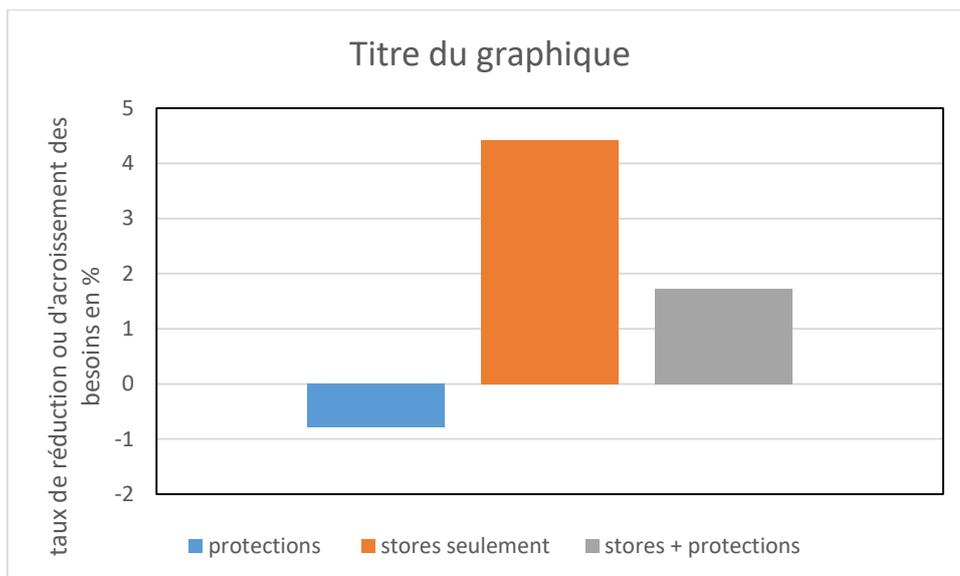


Figure 36: Taux de réduction (ou d'accroissement) des besoins en fonction du type de protection choisi.

### 3.1.7. Influence des rénovations totales

Les différents scénarios de rénovation ont été appliqués sur le bâtiment standard. On a créé un bâtiment dans TRNbuild comportant toutes les rénovations (Double vitrage, isolation des murs et de la toiture avec 5 cm de polystyrène extrudé, utilisation des LED pour l'éclairage et les stores). Les résultats obtenus sont représentés sur la figure 37.

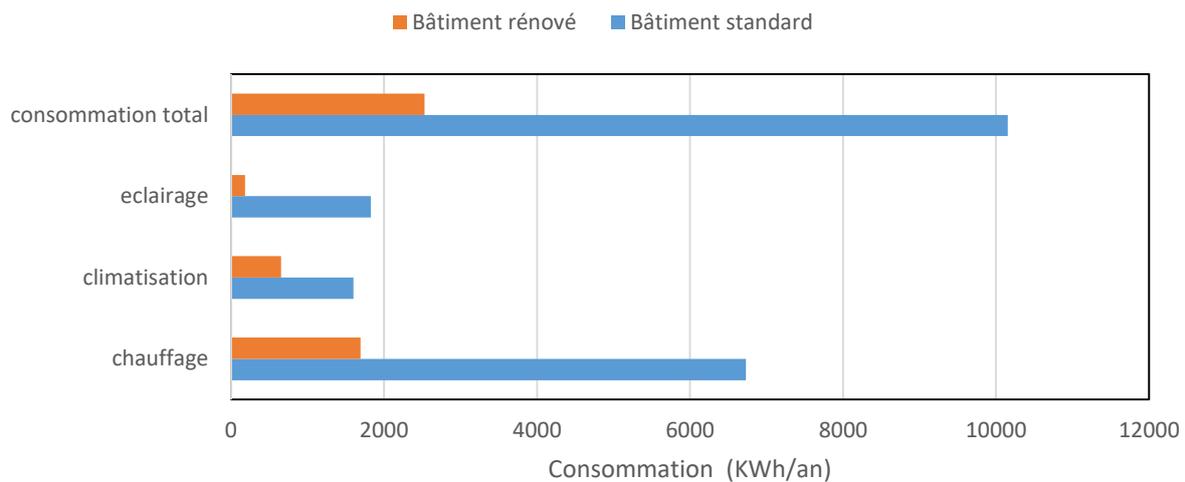


Figure 37: Comparaison entre les besoins du logement standard et les besoins du logement rénové.

D'après le graphe ci-dessus on constate que les besoins énergétiques, après toutes les rénovations proposées, ont baissé d'une manière considérable.

Le taux d'abaissement calculé pour chaque poste est représenté dans la figure 38. Il est respectivement de 74,86%, 58,99% et de **75.08%** pour le chauffage, la climatisation et total par rapport au bâtiment initial.

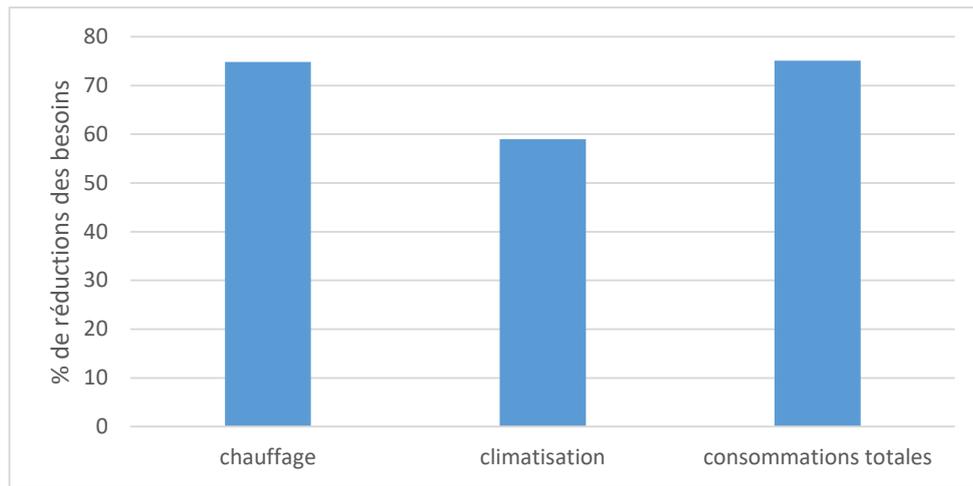


Figure 38 : Influence des rénovations totales sur les consommations.

### 3.2. Résultats des besoins énergétiques à Bechar

#### 3.2.1. Impact du changement du vitrage des fenêtres

Le passage du vitrage simple au double puis au triple a donné les résultats résumés dans le tableau 12.

Tableau 12: Consommation énergétique avec simple, double et triple vitrage

Consommation (KWh/an)	Simple vitrage	Double vitrage	Triple vitrage
Chauffage	6327,653035	5706,305745	5579,997863
Climatisation	6350,380225	6037,800946	5842,808476
Consommation totale	12678,03326	11744,10669	11422,80634

La figure 39 montre une réduction des besoins en passant du vitrage simple au double et triple vitrages. Le pourcentage de réduction des besoins a été calculé et est illustré dans la figure 40.

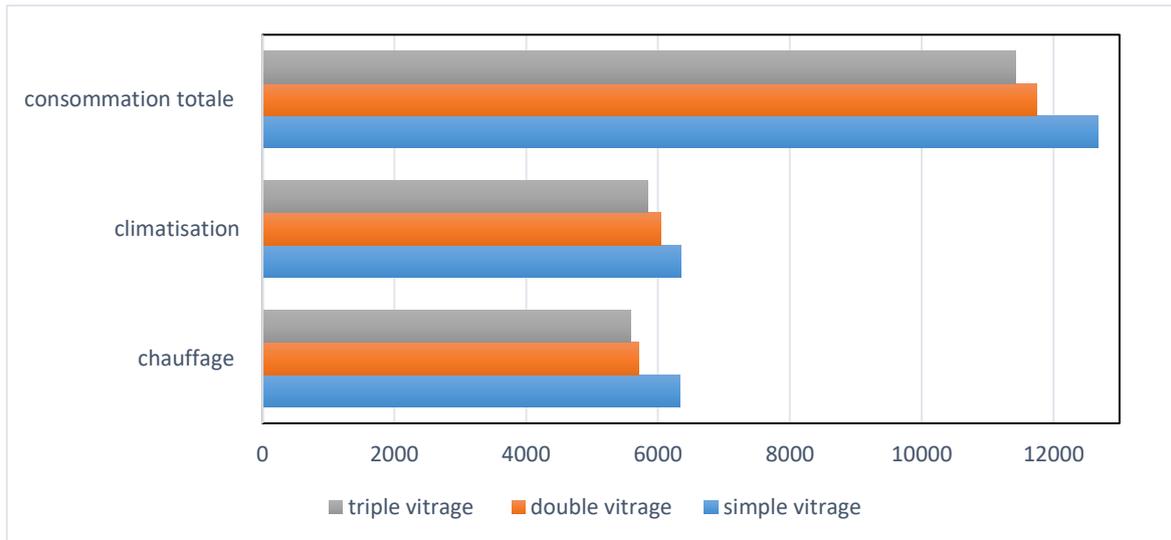


Figure 39: Estimation des consommations annuelles en fonction du type de vitrage utilisé.  
Bechar

Comme montré sur la figure, on remarque que la réduction des besoins en passant du double au triple vitrage fournit des gains énergétiques d’une valeur de **2.43%** qui reste assez minime et peu rentable en vue du prix élevé d’un triple vitrage. Nous optons donc pour le choix d’un vitrage double pour la rénovation globale de notre bâtiment.

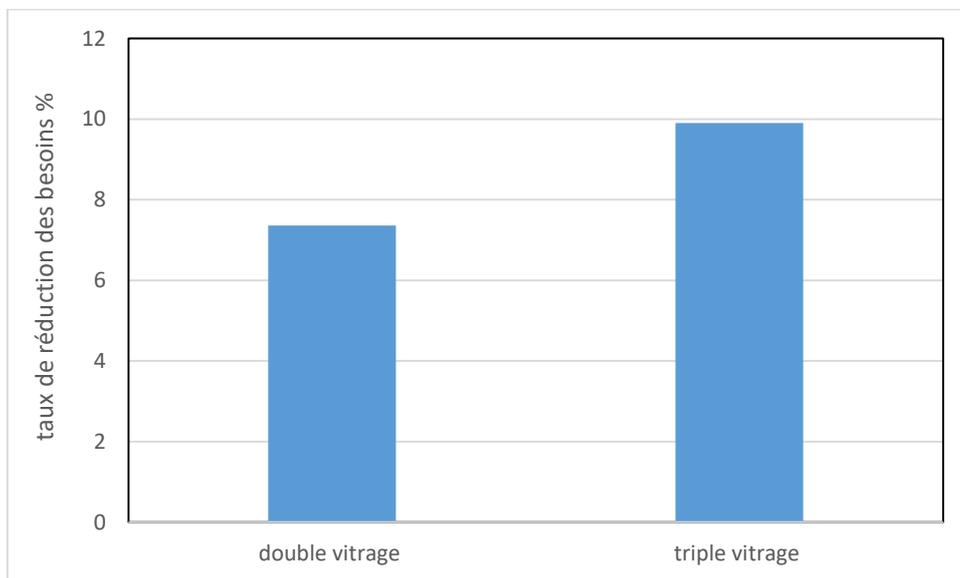


Figure 40: Pourcentage de réduction des besoins en fonction du type de vitrage. Bechar

### 3.2.2. Influence du type de lampes utilisé

Dans le bâtiment standard, un éclairage avec lampes à incandescence de 100W est utilisé. L’influence du remplacement de ce type de lampes par des lampes LED de 10W est étudiée.

Notons que chaque pièce du logement étudié comporte une seule lampe, sauf le séjour qui est muni de deux lampes. On a fixé une durée moyenne d'allumage des lampes de 5h/24h.

Les résultats de simulation sont présentés par la figure 41.

En utilisant le LED, on réduit les besoins énergétiques totales de 10,98%, ce qui n'est pas négligeable.

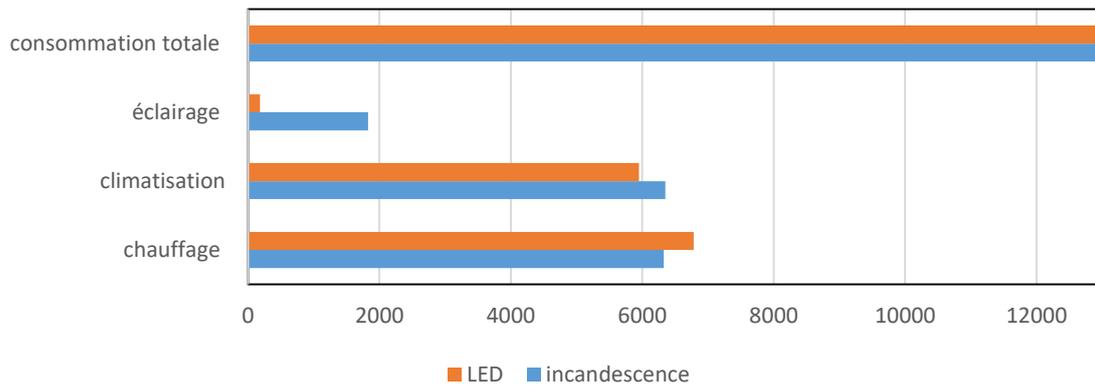


Figure 41: Influence du type d'éclairage utilisé sur les consommations annuelles d'énergie.

Bechar

### 3.2.3. Isolation des parois

Nous avons utilisé une isolation avec 5 cm de polystyrène expansé et de polystyrène extrudé. Les résultats obtenus avec les deux types de polystyrène sont représentés dans les figures 42 (pour les murs) et 43 (pour le toit).

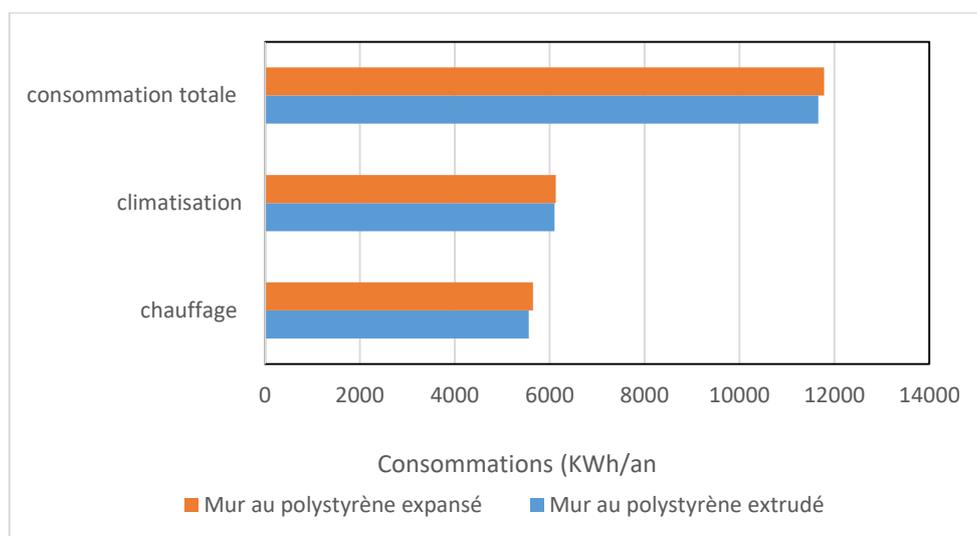


Figure 42: Consommations annuelles avec l'utilisation des deux types d'isolants dans les murs. Bechar

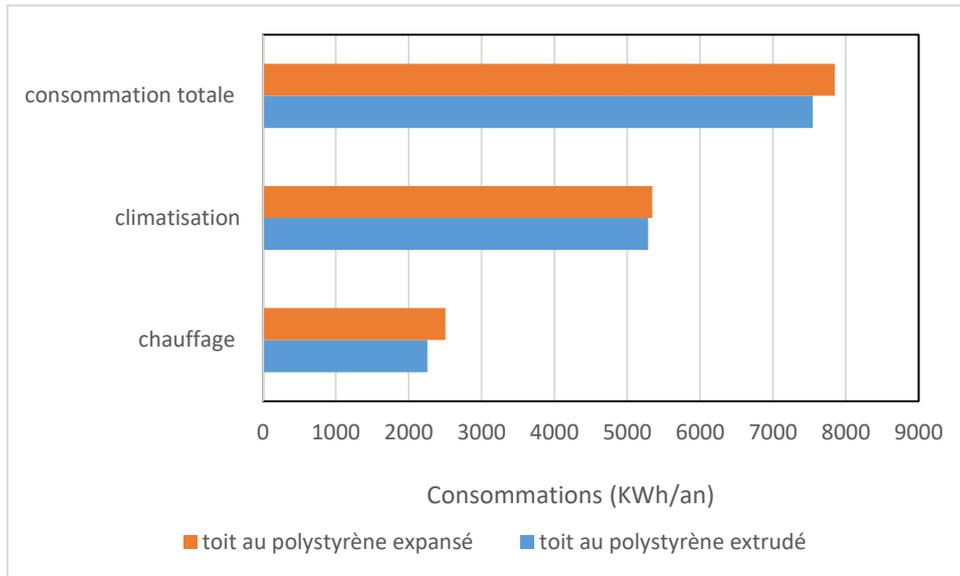


Figure 43: Consommations annuelles avec l'utilisation des deux types d'isolants dans le toit.

#### Bechar

On remarque clairement sur les histogrammes précédents que le polystyrène extrudé est plus efficace que le polystyrène expansé, de ce fait on opte pour une rénovation au polystyrène extrudé dans la suite de notre travail.

Deux (2) épaisseurs différentes ont alors été testées : 5 et 10 cm de polystyrène extrudé. Les résultats obtenus sont montrés sur la figure 44.

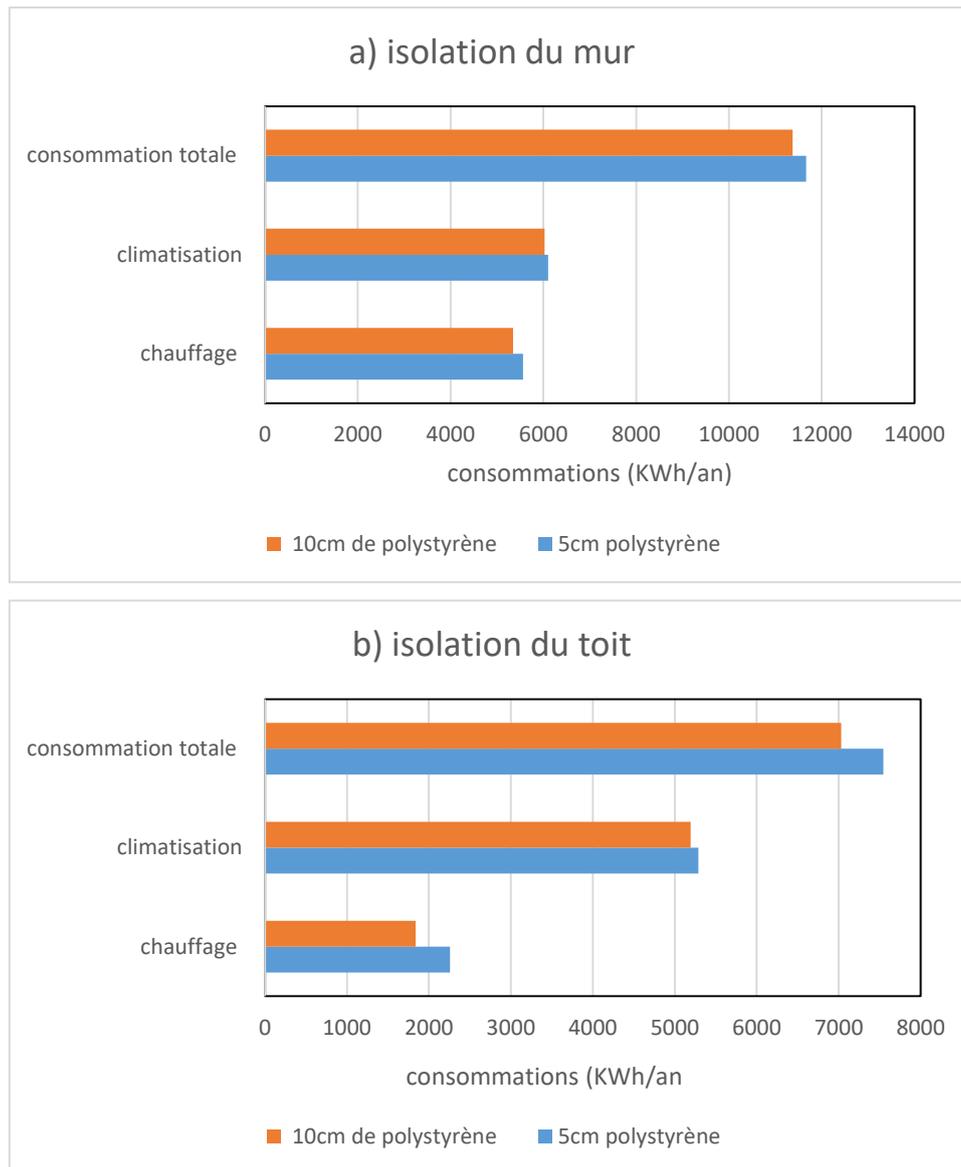


Figure 44: Besoins énergétiques dans les cas de 5 et 10 cm de polystyrène (a) Isolation des murs, (b) Isolation du toit. Bechar

Le passage de 5 à 10 cm d'épaisseur de polystyrène pour l'isolation des murs réduit les besoins d'une valeur de **2,51%** une valeur assez faible, ce qui nous conduit à utiliser dans le reste de nos calculs 5cm de polystyrène.

Pour le toit, la réduction des besoins est de **6,82%**, néanmoins on garde une épaisseur de 5cm de polystyrène extrudé car nous jugeons que l'isolation avec 5cm donne déjà de bonnes performances énergétiques.

### 3.2.4. Influence de l'isolation extérieure des murs du bâtiment standard avec du polystyrène extrudé

L'utilisation du polystyrène extrudé dans le bâtiment standard a donné les résultats figurant sur le graphe 45. On remarque que l'utilisation de l'isolation par polystyrène extrudé permet de réduire les besoins de chauffage, de climatisation et totaux de 12.08, 3.9 et 7.99 % respectivement.

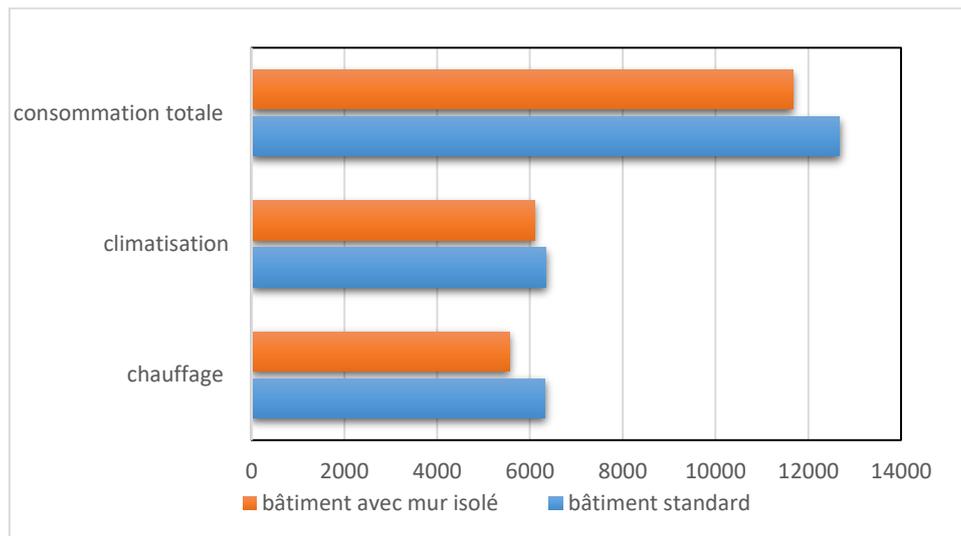


Figure 45: Influence de l'isolation des murs sur les consommations annuelles. Bechar

### 3.2.5. Influence de l'isolation du toit du bâtiment

En isolant le toit avec 5 cm de polystyrène extrudé, on réduit les consommations d'énergie totales de **40.48%**.

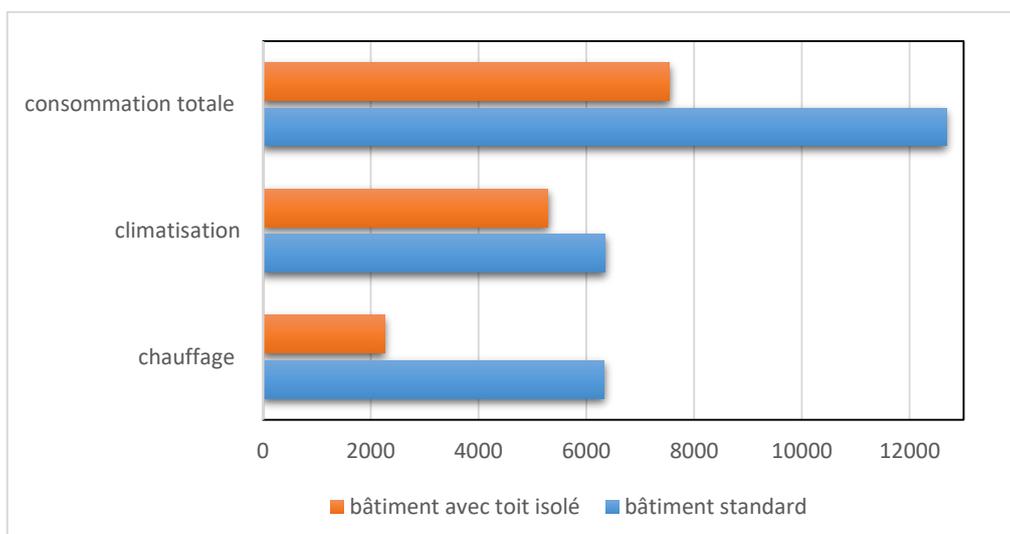


Figure 46: Influence de l'isolation du toit sur les consommations annuelles. Bechar

### 3.2.6. Influence des stores et protections

Les résultats des besoins de chauffage, climatisation et totaux avec chaque procédé : protections, stores, protections et stores combinés sont donnés par les figures 47, 48 et 49 respectivement.

On remarque dans la figure 47 que les besoins en chauffage sont plus importants dans le cas de l'utilisation des protections comparés aux stores. Ceci est dû au fait que les protections produisent de l'ombre sur toute l'année (donc même en hiver) ce qui réduit le rayonnement transmis par les vitrages et augmente donc les besoins de chauffage.

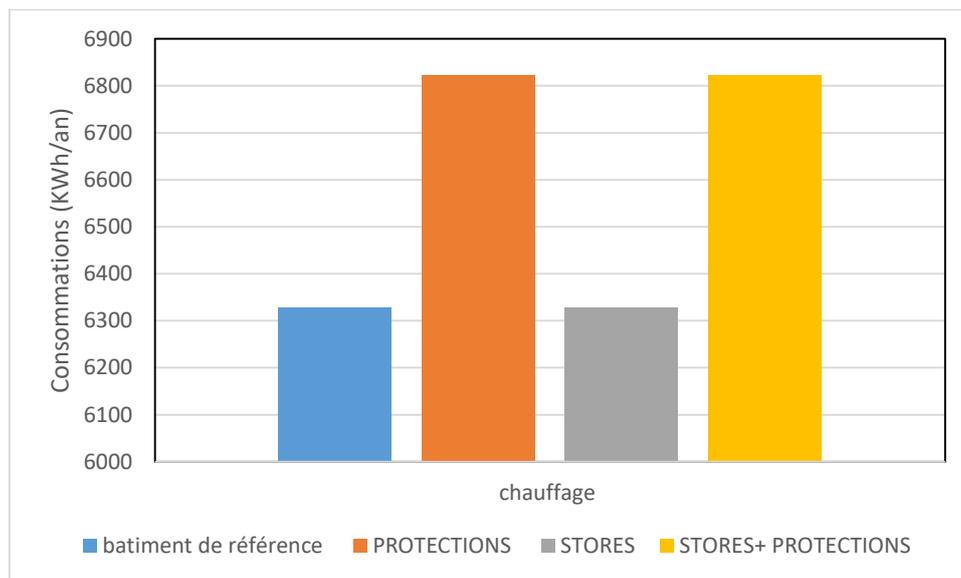


Figure 47: Influence des stores & sur les besoins de chauffage. Bechar

Pour la climatisation en période d'été, il est clair que les protections combinées aux stores sont plus efficaces que les deux séparément vu que chaque type d'ombrage est conçu pour réduire le passage des rayonnements solaires comme le montre la figure 48.

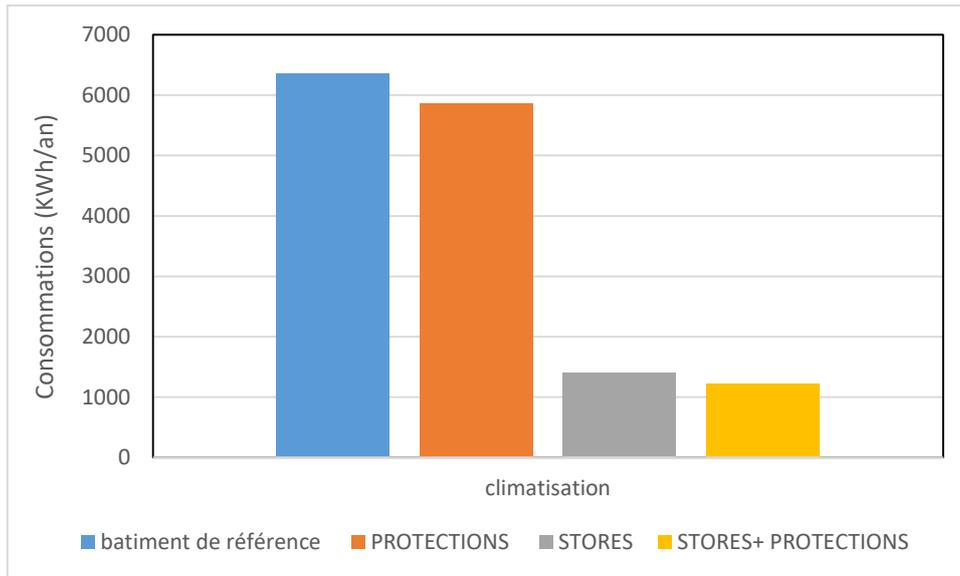


Figure 48: Influence des stores & protections sur les besoins de climatisation. Bechar

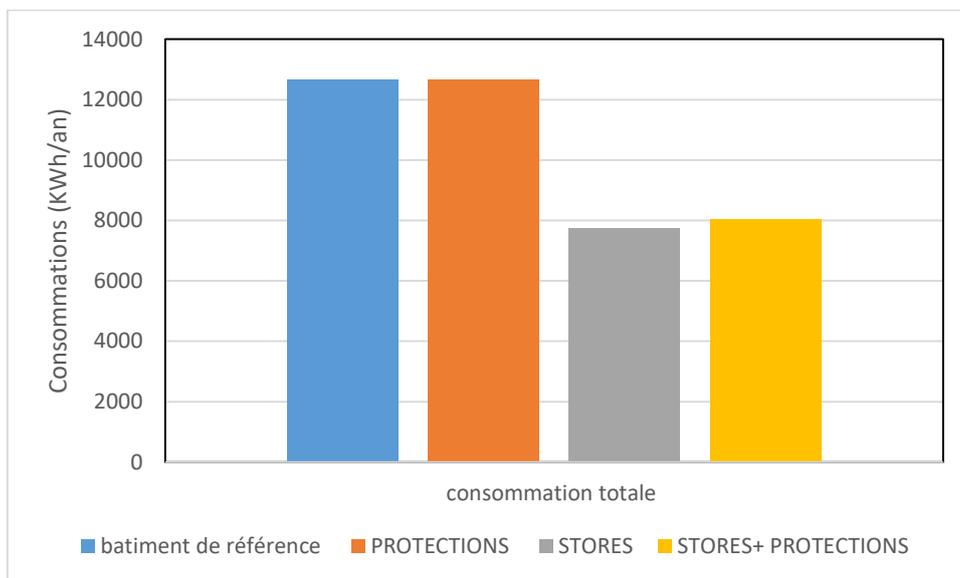


Figure 49: Influence des stores & protections sur les consommations totales. Bechar

Le taux de réduction des consommations d’énergie, par rapport au bâtiment standard sans aucune protection, a été calculé pour chaque procédé d’ombrage (figure 50). Nous avons noté une réduction de **38,97%** avec les stores alors que les protections réduisent les besoins seulement de **0,03%**. Ceci a conduit à une réduction de **36,47%** avec les stores et les protections ensemble.

On conclut que les protections réduisent les besoins en climatisation mais augmente beaucoup la demande en chauffage ce qui nous conduit à privilégier les stores mobiles.

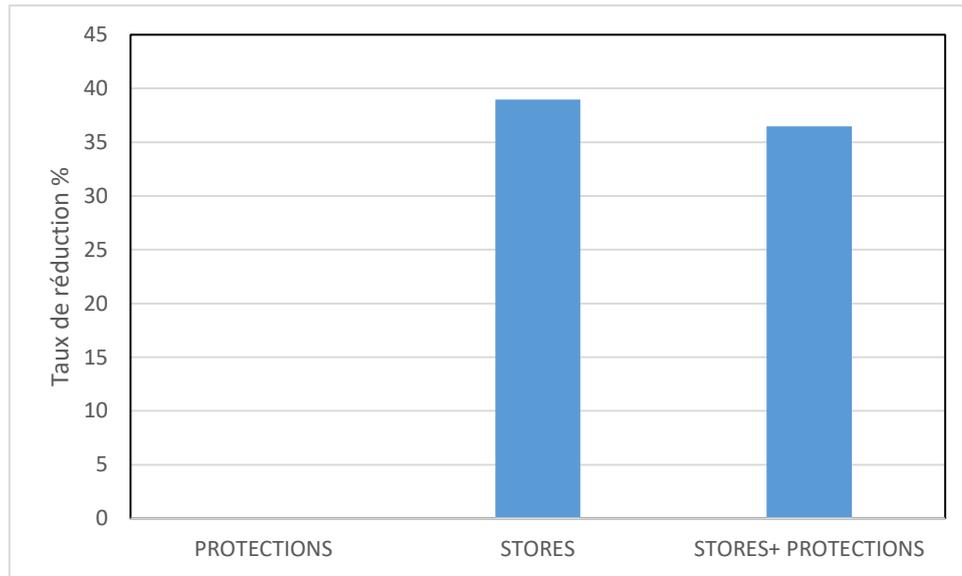


Figure 50: Taux de réduction des besoins en fonction du type de protection choisi. Bechar

### 3.2.7. Influence des rénovations totales

Les différents scénarios de rénovation ont été appliqués sur le bâtiment standard. On a créé un bâtiment dans TRNbuild comportant toutes les rénovations (Double vitrage, isolation des murs et de la toiture avec 5 cm de polystyrène extrudé, utilisation des LED pour l'éclairage et les stores). Les résultats obtenus sont représentés sur la figure 51.

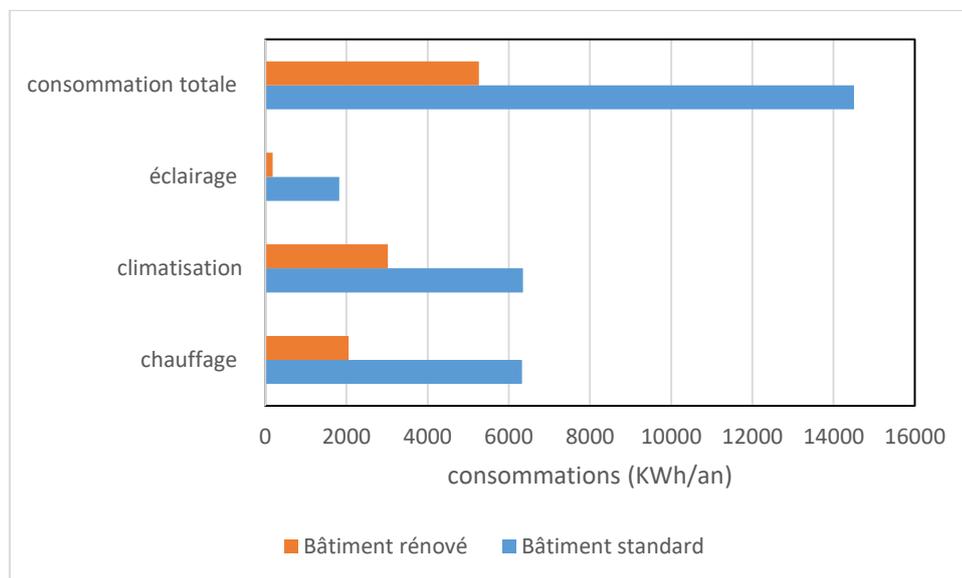


Figure 51: Comparaison entre les besoins du logement standard et les besoins du logement rénové.

D'après le graphique ci-dessus on constate que les besoins énergétiques, après toutes les rénovations proposées, ont baissé d'une manière considérable.

Le taux d'abaissement calculé pour chaque poste est représenté dans la figure 52. Il est respectivement de **67,5%**, **52,42%** et de **63,73%** pour le chauffage, la climatisation et total par rapport au bâtiment initial.

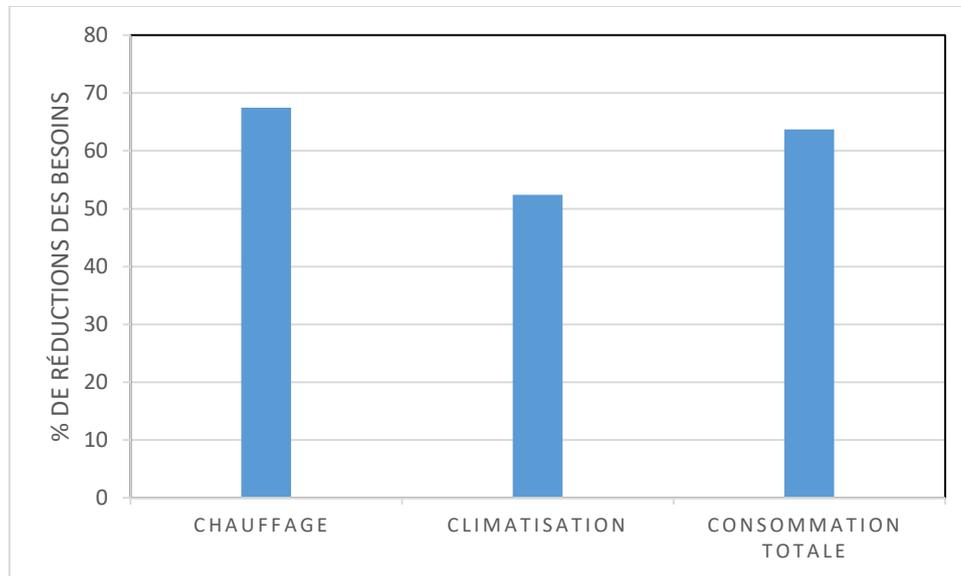


Figure 52: Influence des rénovations totales sur les consommations.

## 4. Evaluation du confort thermique

La sensation thermique humaine est principalement liée à l'état thermique de tout le corps. Cet état est fortement influencé par l'activité physique et l'habillement ainsi que par des paramètres environnementaux : température de l'air, vitesse de l'air et humidité de l'air...

Parmi les indicateurs de confort, nous avons choisi l'évaluation de l'indice PPD (Predicted Percent Dissatisfied) qui établit une prévision quantitative du pourcentage de personnes insatisfaites thermiquement, susceptibles d'avoir trop chaud ou trop froid. L'indice PPD est calculé à partir de l'indice PMV (Predicted Mean Vote ou vote moyen prévisible) [27].

### 4.1. Définition des indices de confort

Le PMV est un indice qui donne l'avis moyen d'un groupe important de personnes exprimant un vote de sensation thermique en se référant à l'échelle à 7 niveaux suivante:

- +3 très chaud
- +2 chaud
- +1 légèrement chaud
- 0 ni chaud, ni froid

- -1 légèrement froid
- -2 froid
- -3 très froid

L'indice PMV peut être déterminé lorsque l'activité (production d'énergie métabolique) et le vêtement (résistance thermique) sont estimés, et lorsque les paramètres de l'environnement suivants sont mesurés: température de l'air, température moyenne de rayonnement, vitesse relative de l'air et pression partielle de vapeur d'eau [27]. Ces paramètres sont introduits dans le Comfort Type Manager de Trnbuild (figure 53)

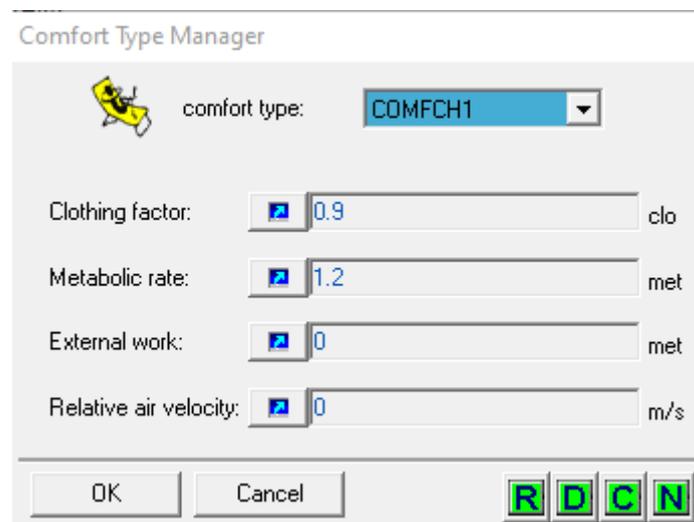


Figure 53: Définition des paramètres de confort.

L'indice **PPD prédit** quantifie le pourcentage de personnes insatisfaites, car trouvant l'ambiance thermique trop chaude ou trop froide et qui voteraient -3, -2, +2, +3.

La figure ci-dessous donne la correspondance entre les indices PMV et PPD.

Lorsque les valeurs PMV ont été déterminées, le PPD peut être trouvé d'après la figure 54 ou déterminé d'après l'équation suivante [27] :

$$PPD = 100 - 95 \times e^{-(0,033\ 53 \times PMV^4 + 0,217\ 9 \times PMV^2)}$$

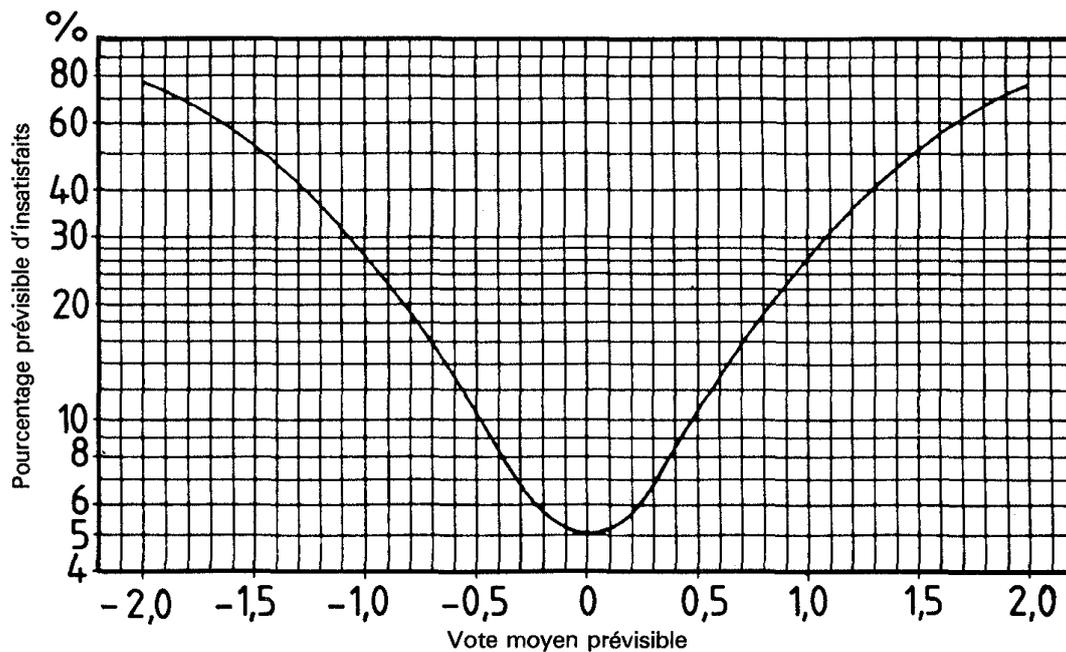


Figure 54 : Pourcentage prévisible d'insatisfaits (PPD) en fonction du vote moyen prévisible (PMV) [27].

On remarque que :

- dans la situation optimale ( $PMV = 0$ , ni chaud ni froid), le taux d'insatisfaction est de 5% parmi des personnes connaissant les mêmes conditions thermiques, métaboliques et vestimentaires ;
- le taux d'insatisfaction augmente de la même manière si le PMV s'écarte de 0 vers le froid et vers le chaud.

Pour obtenir une situation de confort thermique, il est recommandé que le PPD soit inférieur à 10%, ce qui correspond à un PMV compris entre -0,5 et +0,5.

Nous avons admis les données initiales suivantes pour la prévision des indices du confort thermique:

- activité physique légère (appartements) : Production d'énergie métabolique de  $70 \text{ W/m}^2$  ce qui correspond à 1.2 met [27];
- la valeur vestimentaire a été fixée à 0.9 clo, ce qui correspond à une résistance thermique de  $0.1395 \text{ (m}^2\text{K/W)}$  [27].

### 4.2. Résultats de l'évaluation du PPD

Le pourcentage prévisible d'insatisfaits (PPD) a été calculé pour chacun des modèles avant et après chaque rénovation du bâtiment.

Pour évaluer le confort dans le logement, nous avons calculé le nombre d'heures dans l'année où le PPD est inférieur ou égale à 10% (heures de confort). Les résultats obtenus dans les deux villes sont présentés sur les figures 55 et 56.

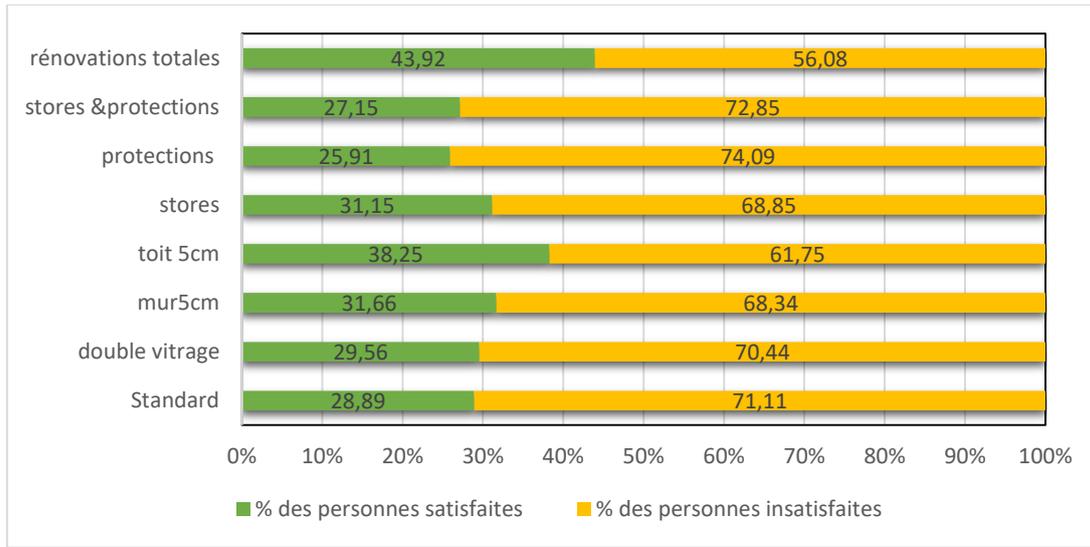


Figure 55: Nombre d'heures de confort (inconfort) simulé (%) après chaque procédé de rénovation. Bejaia

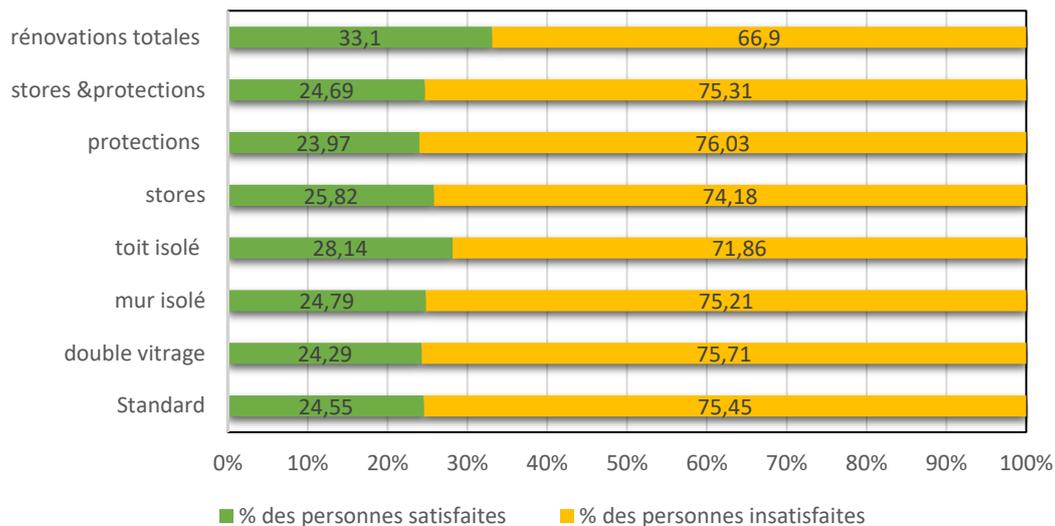


Figure 56: Nombre d'heures de confort (inconfort) simulé (%) après chaque procédé de rénovation. Bechar.

On remarque que les heures d'inconfort sont plus importantes à Bechar ce qui prouve que ce type de logement est inadapté au climat aride. Les différents procédés de rénovation apportent une amélioration du confort dans les deux villes, cependant elle est plus significative à Bejaia.

Pour mieux voir l'impact de chaque rénovation sur le confort, nous avons calculé le taux d'amélioration (ou de réduction) du confort par rapport au cas standard. Les résultats sont montrés sur les figures 57 et 58.

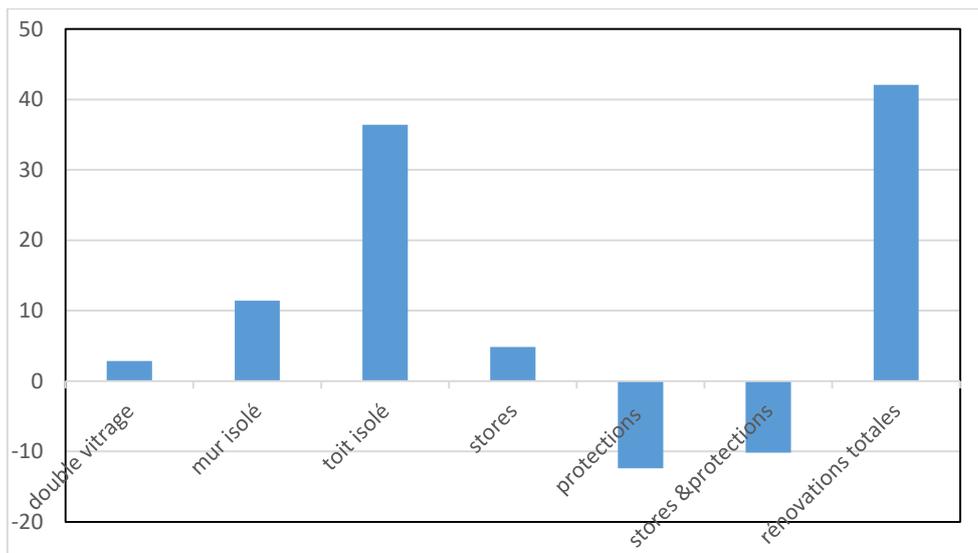


Figure 57: Influence des rénovations sur le confort. Bejaia

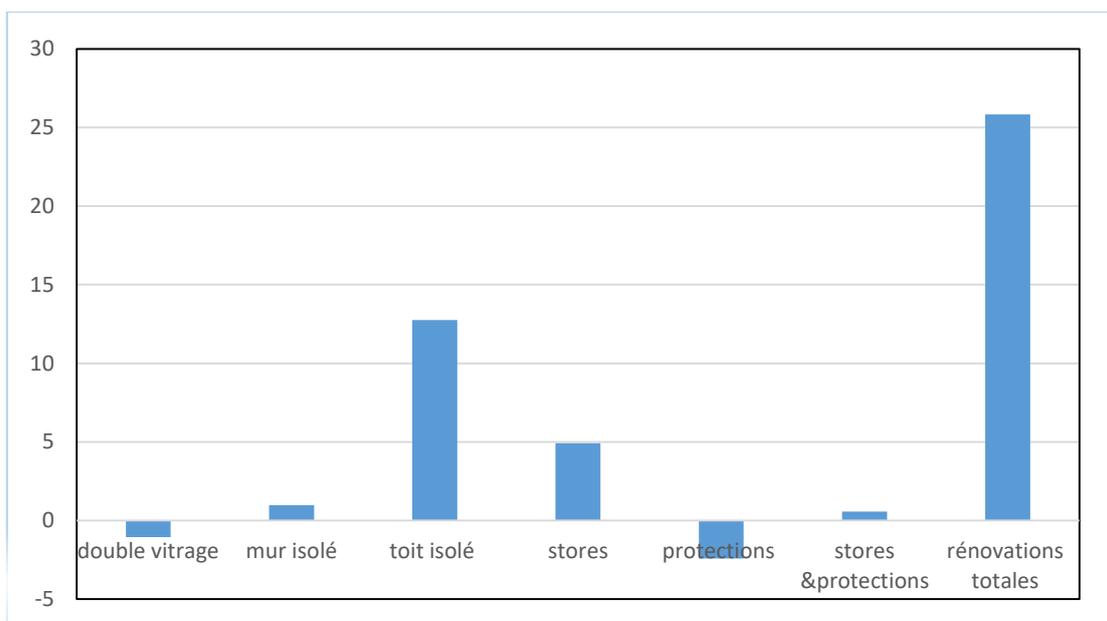


Figure 58: Influence des rénovations sur le confort. Bechar

On remarque qu'à Bejaia, chaque rénovation permet d'accroître les heures de confort excepté l'ajout des protections que nous avons installé sur toutes les fenêtres. Celles-ci empêchent probablement la pénétration des rayons solaires en hiver ce qui réduit le confort d'hiver et par conséquent le confort annuel.

A Bechar, ce sont l'utilisation du double vitrage et des protections solaires qui réduisent les heures de confort.

## **5. Conclusion**

La simulation a donné les résultats des besoins énergétiques pour deux zones ; Bejaia et Bechar pour un logement-type étudié. Une comparaison entre le logement standard et le logement rénové, avec quelques procédés de rénovation, a été établie.

Les techniques de rénovation étudiées dans ce travail sont : le remplacement du vitrage simple, le changement des lampes à incandescence par des lampes LED, l'isolation des parois par le polystyrène, la mise en place de protections solaires et de stores mobiles.

Tout d'abord, l'influence du vitrage double et triple a été étudiée. Il a été constaté que le passage du double au triple vitrage réduit les besoins de 2,93% et de 2,43% pour Bejaia et Bechar respectivement. Nous avons alors opté pour le choix du double vitrage pour la rénovation du logement.

Le choix entre le polystyrène expansé et extrudé, dans l'isolation des parois, a aussi été testé. Les résultats de simulation ont montré que le taux de réduction des consommations d'énergie est plus important avec l'utilisation du polystyrène extrudé, ce qui nous a conduits à opter pour la rénovation des parois avec ce dernier.

L'influence de l'épaisseur du polystyrène a ensuite été analysée. Une épaisseur de 5 cm a été adoptée vu que le passage de 5 à 10 cm n'augmente le taux de réduction que de 3.2% pour l'isolation des murs et 11.4% pour l'isolation du toit.

L'étude de l'impact des différentes techniques de rénovation a montré que chaque procédé a une influence positive sur la réduction des besoins annuels mis à part les protections solaires sur les fenêtres qui augmentent les besoins en chauffage.

Il a été mis en évidence que le logement standard étudié est inadapté au climat aride. Les besoins sont plus importants et les différentes rénovations ont conduit à une amélioration énergétique moindre comparée à celle obtenue dans le climat tempéré de Bejaia.

Il a été trouvé que l'isolation du toit donnerait la meilleure performance énergétique à Bejaia suivi de l'utilisation des LED, l'isolation du mur, le double vitrage et des stores. De même pour Bechar une performance énergétique optimale a été obtenue par l'isolation du toit suivi des stores, l'utilisation des LED, l'isolation du mur, le double vitrage.

L'évaluation du pourcentage prévisible d'insatisfaits (PPD) a permis d'évaluer le nombre d'heures annuel d'inconfort dans les deux climats. Le logement rénové permet d'obtenir le confort dans 44% de temps à Bejaia contre 33% à Bechar. Le taux d'amélioration du temps de confort enregistré est de 42% à Bejaia et 25% à Bechar.

# **Conclusion générale**

## **Conclusion générale**

En Algérie comme dans le monde entier, plusieurs domaines (transport, fabrication, construction, etc.) ont recours à l'énergie. Les bâtiments consomment la plus grande quantité d'énergie de tous les secteurs, représentant 47 % de la consommation énergétique nationale totale qui dépend des énergies fossiles. Par conséquent, l'objectif de réduction de la consommation d'énergie est à la fois un défi économique, environnemental et climatique précoce, en raison de l'impact négatif sur l'environnement découlant des émissions de gaz à effet de serre.

Pour aborder ce contexte énergétique nous avons présenté dans cette étude une simulation thermique dynamique de l'influence des solutions d'efficacité énergétique dans un bâtiment résidentiel pour deux villes différentes représentant deux climats distincts.

Après avoir rappelé la situation de la consommation énergétique en Algérie et les différentes techniques de rénovation énergétiques des bâtiments existants, une étude a été menée à l'aide du logiciel TRNSYS pour évaluer les variations de consommation d'énergie et de confort thermique entre les logements standards non rénovés et les logements ayant subi des procédés d'économie d'énergie dans les Wilayas de Bejaia et de Béchar. Celles-ci incluent l'installation de fenêtres à double vitrage, l'utilisation d'éclairage LED, l'isolation des parois par du polystyrène extrudé et la mise en place de protections solaires et de stores mobiles.

Selon les résultats, il a été trouvé que l'isolation du toit est la solution la plus efficace pour réduire la consommation d'énergie dans les deux climats. L'isolant est installé à l'extérieur, offrant ainsi plusieurs avantages en permettant de minimiser les ponts thermiques, et de préserver l'aménagement intérieur de la maison.

Il a été constaté que le choix des luminaires a un impact significatif sur la consommation d'énergie. L'utilisation des lampes à faible consommation (lampes à LED) peut s'avérer être une solution favorable et avantageuse. L'isolation des murs et le remplacement de vitrage donne des taux de réduction des consommations assez similaires.

De plus, les stores mobiles empêchent l'introduction des rayons solaires et réduisent les surchauffes en été surtout en climat aride car les températures en cette saison sont très élevées. Du même principe les protections apportent une solution permanente qui permet de réduire la consommation de climatisation mais augmentent les besoins de chauffage en hiver.

## ***Conclusion générale***

---

Il a été trouvé que la combinaison des différentes mesures de rénovation pouvait rendre le bâtiment beaucoup moins énergivore et plus confortable en fonction des conditions climatiques. La réduction de la facture énergétique peut atteindre jusqu'à 75% et l'amélioration du confort thermique jusqu'à 42% à Bejaia.

D'autres axes doivent être abordés dans le futur, à savoir :

- L'optimisation des protections solaires selon l'orientation des fenêtres et de leurs dimensions.
- Etudier d'autres types de vitrages, comme le vitrage à faible émissivité et le vitrage réfléchissant.
- L'intégration des énergies renouvelables.

L'amélioration énergétique des bâtiments existants est une démarche écologique qui permet de lutter contre le réchauffement climatique. La réhabilitation thermique peut donc être un levier important pour réduire notre consommation d'énergie.

# **Références bibliographiques**

## **Références bibliographiques**

- [1] United Nations Environment Programme. 2022 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi. 2022.
- [2] Ministère de l'énergie et des mines. Bilan énergétique national 2021. Algérie, 2022, p1- 48.
- [3] EL JAOUHARI Younes. Audit énergétique d'un bâtiment institutionnel : stratégies d'efficacité énergétique. Mémoire de master. RIMOUSKI : UNIVERSITÉ DU QUÉBEC,2020, 127.
- [4] VU Brigitte, LAUDE Pascal. Rénovation des bâtiments et performance énergétique. Ed Dunod. France,2020, p 208.
- [5] RAHMOUNI Sofiane. Evaluation et amélioration énergétiques de bâtiments dans le cadre du programme national d'efficacité énergétique. thèse de doctorat. Université Mostepha Ben Boulaid- Batna 2, 2020,120.
- [6] C. S. H. M. I. BOULKARAA, "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.
- [7] De Bouw, M., Dubois, S., & Vanhellemont, Y. Energy Efficiency and Comfort of Historic Buildings. Belgique, 2016, p 327. Consulté à l'adresse [https://www.eechb.eu/wp-content/uploads/2016/12/Proceedings\\_EECHB.pdf](https://www.eechb.eu/wp-content/uploads/2016/12/Proceedings_EECHB.pdf)
- [8] Meijer, F., Itard, L., & Sunikka-Blank, M. (2009). Comparing European residential building stocks : performance, renovation and policy opportunities. Building Research & Information, 37(5-6), 533-551.
- [9] Krarti, M., & Marchio, D. Guide technique d'audit énergétique. Presses des Mines. France, 2016, p 288.
- [10] M. S. TOUIL Abdessalam, "Au sujet de l'efficacité énergétique –vers des bâtiments moins énergivores, Mémoire de master, UNIVERSIT ABOU BEKR BELKAID TLEMCEN, juin 2017.

- [11] <https://www.energir.com/fr/affaires/espace-client/reduire-votre-consommation/trucs-et-conseils/>.
- [12] BOUTEVEILLE Alain et Ursula. Construire rénover et aménager une maison. Ed le moniteur. France, 2019, p 312.
- [13] KADRI.N, MOKHTARI.A. Contribution à l'étude de réhabilitation thermique de l'enveloppe du bâtiment. Revue des Energies Renouvelables, 2011, Vol, 14 N°2 p 301 – 311.
- [14] Orselli Jean. Recherche et Développement sur les économies d'énergies et les substitutions entre énergies dans les bâtiments, conseil général des ponts et chaussées, rapport n°2004-0189-01, 2005, p96.
- [15] Thierry, R. Les ponts thermiques dans les bâtiments performants, mutuelle des architectes français assurances, les fiches d'informations techniques de la MAF sur la RT. France. 2012.
- [16] Gallauziaux, T., & Fedullo, D. le chauffage électrique et l'isolation thermique. Ed Eyrolles. France : Bld saint-germain, 1996, p 209.
- [17] DUCOULOMBIER Laure. Conception d'un nouveau système d'isolation par l'extérieur pour le bâtiment. Thèse de doctorat. Nord-de-France : Université de Lille, 2014, p 187.
- [18] Blin Erik, EVEILLARD Pascal. Guide la thermique du bâtiment. Saint-Gobain Isover. France, 2007, p 143.
- [19] Vu Brigitte. Maison basse consommation (BBC). Ed Eyrolles. France, 2010, p 126.
- [20] EBERT Rolf. Développement d'un environnement de simulation de systèmes complexes Application aux bâtiments. Thèse de Doctorat. France : Université des ponts et chaussées, 1993, p 222.
- [21] BOYER Harry et al. CODYRUN, outil de simulation et d'aide à la conception thermo-aéraulique de bâtiments. Journée thématique SFT-IBPSA mars 2005.
- [22] LATERCHI Rahil, LATTRAG Fatima. Optimisation des performances énergétiques des bâtiments. Mémoire de Master. M'sila : Université Mohamed BOUDIAF, 2021, p 80.
- [23] AMOES. Tutoriel pour la Simulation Thermique Dynamique sous Trnsys, France, p23.

## ***Références bibliographiques***

---

- [24] La réglementation thermique des bâtiments d'habitation (D.T.R. C3-2), règles de calcul des déperditions calorifiques, Fascicule 1. Alger, 1997.
- [25] Solar Energy Laboratory University of Wisconsin-Madison. Multizone Building modeling with Type56 and TRNBuild. Volume 6, p 6-213.
- [26] BOUQUIAUX Adrien. La simulation thermique dynamique appliquée à la rénovation d'un bâtiment selon le standard passif. Mémoire de Master. Belgique : Université catholique de Louvain, 2017, 65.
- [27] Comité technique ISO/TC 159, Ergonomie. Ambiances thermiques modérées - Détermination des indices PMV et PPD et spécification des conditions de confort thermique ISO 7730. 1984.

# **ANNEXES**

## Annexe

Symboles	Définition des symboles
<b>EJ</b>	Exajoule : unité de mesure d'énergie du système international (SI).
<b>MTep</b>	Mégatonne équivalent pétrole : unité d'énergie qui correspond à un million de tonnes équivalent pétrole.
<b><math>\lambda</math></b>	Conductivité thermique : grandeur physique caractérisant la capacité d'un matériau à diffuser de la chaleur.
<b>R</b>	Résistance thermique : grandeur physique caractérisant la capacité d'un matériau à empêcher la diffusion de la chaleur.
<b>U</b>	Conductance thermique : capacité de transmission surfacique de chaleur.
<b>PVC</b>	PolyChlorure de Vinyle : matière plastique particulière issue de la polymérisation du Chlorure de Vinyle.
<b>LED</b>	Light Emitting Diode : Lampes à Emission Diodes.
<b>HVAC</b>	Heating, ventilation and Air-Conditioning (Chauffage, Ventilation et Climatisation).
<b>PPD</b>	Predicted percent of dissatisfied : Le pourcentage prévisible d'insatisfaits.
<b>PMV</b>	Predicted Mean Vote ou vote moyen prévisible.