

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION
AND SCIENTIFIC RESEARCH
HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES
--T L E M C E N--



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
École Supérieure en
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
-تلمسان-

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur

Filière : Électrotechnique

Spécialité : Energie et environnement

Présenté par :

CHABANE-SARI Amel-Zoulikha

Thème

**Vers la transition énergétique dans le secteur du bâtiment
en Algérie : Analyse et recommandations**

Soutenu, le 30 juin, devant le jury composé de :

CHIALI Anisse	MCB	ESSA-Tlemcen	Président
BENNEKROUF Mohammed	MCA	ESSA-Tlemcen	Directeur de mémoire
AMARA Sofiane	Professeur	Univ de Tlemcen	Co-directeur de mémoire
BOUKLI HACENE Med El Amine	Professeur	Univ de SBA	Examineur 1
CHEMIDI Abdelkarim	MCA	ESSA-Tlemcen	Examineur 2

Année universitaire :2021/2022

Remerciements

Je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné la patience et la volonté d'achever ce travail

J'adresse mes profonds sentiments de reconnaissances et de respect à Monsieur BENNEKROUF Mohammed et Monsieur AMARA Sofiane pour leurs disponibilités et leurs accompagnements tout au long de ce travail avec beaucoup de patience et de pédagogie.

Je tiens à remercier chaleureusement le président et les membres du jury pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Dédicaces

Ce projet de fin d'étude est dédié

A mes très chers Parents qui m'ont poussé et motivé durant toutes mes années d'études. Ils ont toujours été à l'écoute tout en sachant me donner les bons conseils. Ce travail représente l'aboutissement du soutien et des encouragements qu'ils m'ont prodigués tout au long de ma scolarité. En témoignage de l'amour, du respect et de gratitude, que je leur porte, Je ne les remercierai jamais assez pour la patience et la bienveillance qu'ils m'ont toujours donné ; leur présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mes très chères Sœurs SIHAM et MANEL qui sont mes confidentes et mes amies ; je tiens à les remercier pour leurs soutien et leur présence à mes côtés avec beaucoup de conseils et d'encouragements.

A mes très chers neveux CHAIB, RAYANE, YUCEF et *ma très chère nièce* NELIA ; ils ont toujours été à mes côtés durant toute ma carrière universitaire en m'encourageant durant mes examens avec leurs bêtises et leurs amours. Je leur souhaite beaucoup de bonheurs et de réussite dans leurs vies.

Une pensée à ma très chère grand-mère MIMA, qui me récompense après chaque réussite en me souhaitant beaucoup de bonheurs, et qui a été toujours là pour moi à m'encourager.

A ma très chère grand-mère AMA, je tiens à la remercier pour sa bienveillance et son soutien.

Une pensée à mes très chers grands-pères ABDERRAHMANE et CHAIB.

A mes beaux-frères ARSALAN et RYAD, je les remercie pour leurs encouragements.

A mes professeurs L.MAHBOUBI, M.YOUSFI, H.BENESENANE, et Tous les professeurs qui m'ont toujours encouragés dans la voie de mes études

A mon amie CHERIFA, je tiens à la remercier pour sa présence et ses encouragements.

A tous et toutes mes amis(es) et les personnes qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

Résumé

A ce jour, en Algérie, le secteur de l'habitat est en tête par le plus gros consommateur d'énergie. Afin de pouvoir réduire cette consommation d'énergie, le recours vers l'efficacité énergétique devient une évidence. L'objectif global de ce travail est de contribuer à l'amélioration des performances énergétiques des bâtiments, tout en allant vers une meilleure transition énergétique. Pour cela il est nécessaire d'aborder une bonne isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment en tenant compte de toutes les techniques, les équipements et les matériaux d'améliorations qui offrent le confort thermique pour les usagers.

Abstract

To date, in Algeria, the housing sector is the largest energy consumer. In order to be able to reduce this energy consumption, the recourse towards the energy efficiency becomes an evidence. The global objective of this work is to contribute to the improvement of the energy performances of the buildings, while going towards a better energy transition. For that it is necessary to approach a good thermal insulation of the envelope of the building by taking into account all the techniques, the equipment and the materials of improvements which offer the thermal comfort for the users.

ملخص

من أجل التمكن من تقليل استهلاك . حتى الآن ، يحتل قطاع الإسكان في الجزائر الصدارة من قبل أكبر مستهلك للطاقة الهدف العام من هذا العمل هو المساهمة في تحسين أداء الطاقة في . الطاقة هذا ، يصبح اللجوء إلى كفاءة الطاقة واضحاً لهذا ، من الضروري التعامل مع عزل حراري جيد لمغلف المبنى مع . المباني ، مع التحرك نحو انتقال أفضل للطاقة مراعاة جميع التقنيات والمعدات ومواد التحسين التي توفر الراحة الحرارية للمستخدمين

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale.....1

Chapitre I : Suivi de la performance d'un bâtiment.

I. Introduction.....4

II. Les enjeux de suivi d'un bâtiment.....4

II.1 Impacts environnementaux liés aux consommations d'énergie dans le bâtiment.....4

II.1.1. Le changement climatique.....5

II.1.2. Épuisement des matières premières non renouvelables.....5

II.2. Les enjeux spécifiques d'un suivi de bâtiment.....5

II.2.1. Assurer le bon fonctionnement des équipements et la maîtrise des
Consommations.....6

II.2.2. Optimiser les coûts d'exploitation.....6

II.3. Garantir la qualité d'usage.....7

III. Les obligations réglementaires.....8

III.1. La Réglementation Thermique.....8

III.2. La norme d'une installation électrique.....11

III.3. Obligation de comptage pour les logements.....11

III.4. Carnet numérique de suivi et d'entretien du logement pour le climat.....11

III.5. Quelques textes réglementaires.....11

III.5.1. Textes relatifs à la maîtrise de l'énergie.....11

III.5.2. Textes relatifs au développement durable.....12

III.5.3. Textes relatifs à l'APRUE.....12

IV. Les acteurs	12
IV.1. Les rôles identifiés dans le suivi des performances.....	12
IV.1.1.Le pilote.....	13
IV.1.2.Le gestionnaire du bâtiment.....	13
IV.2. Les acteurs impliqués dans le suivi des performances.....	14
V. La méthodologie.....	16
V.1. Préambule.....	16
V.2. Phase programmation.....	16
V.2.1. Définir l'organisation de la gestion technique.....	16
V.2.2.Définir la conduite de la performance énergétique, de la phase études à la phase fonctionnement.....	17
V.2.3.Définir une stratégie de suivi.....	18
V.2.4.Rédiger le programme et le contrat de MOE (Maître d'œuvre).....	22
V.3. Phase conception.....	22
V.3.1. Valider avec la maîtrise d'œuvre l'objectif de performance, la méthode de conduite de la performance et le rôle de chacun.....	22
V.3.2. Définir les consommations prévisionnelles.....	22
V.3.3. Identifier les contraintes d'instrumentation.....	23
V.3.4. Définir le plan de comptage, associé au tableau de bord de suivi des consommations.....	23
V.3.5. S'assurer que le plan de comptage et l'outil de collecte des données envisagé répondent bien aux besoins du pilote, du gestionnaire et des occupants.....	23
V.4. Phase réalisation.....	23
V.4.1. En phase de préparation de chantier.....	23
V.4.2. Définir les paramètres de fonctionnement adaptés pour les équipements techniques.....	23

V.4.3. Réceptionner les systèmes liés au suivi des performances.....	24
V.4.4. Assurer la prise en main des outils de suivi par l'exploitant, le gestionnaire, le pilote.....	24
V.4.5. Associer l'exploitant au suivi des consommations.....	25
V.5. Phase exploitation.....	25
V.5.1. Définir un organigramme des acteurs du suivi et valider le rôle de chacun...	25
V.5.2. Associer les occupants à la performance énergétique dès la réception et tout au long du suivi.....	26
V.5.3. Mettre en place un <<comité de suivi des performances>>.....	26
V.5.4. Analyser les données.....	26
V.5.5. Mettre en place une démarche d'amélioration continue.....	26
V.5.6. Produire des rapports de performance.....	27
V.5.7. Assurer la maintenance de l'instrumentation.....	27
V.5.8. Assurer la continuité dans le temps.....	27
VI. Les points clés d'un suivi réussi.....	28
VI.1. Programmation.....	28
VI.2. Avant-Projet.....	28
VI.3. Dossier de Consultation des Entreprises.....	28
VI.4. Réalisation.....	28
VI.5. Exploitation.....	28
VI.6. Rendement.....	28
VII. Conclusion.....	29
 Chapitre II : Audit énergétique	
I. Introduction.....	31
II. Objectifs de l'audit énergétique.....	31
III. Les différents types d'audit énergétique.....	31

III.1. Audit rapide avec visite du site.....	32
III.2. Analyse des coûts énergétiques.....	32
III.3. Audit énergétique standard.....	32
III.4. Audit énergétique détaillé.....	33
IV. Procédure générale d'un audit énergétique détaillé.....	33
IV.1. Phase I : Pré-audit.....	33
IV.2. Phase II : Phase d'audit.....	35
IV.3. Phase III : Rapport d'audit et le suivi.....	39
V. Qualités impératives.....	41
V.1. Qualités des méthodes de calcul.....	42
V.2. Qualités du diagnostiqueur.....	42
VI. Suivi et compatibilité énergétique.....	42
VII. Modalités de réalisation de la prestation d'accompagnement pour la mise en œuvre des préconisations (phase optionnelle).....	43
VIII. Conclusion.....	44

Chapitre III : Analyse énergétique des bâtiments

I. Introduction.....	46
II. Évaluation et amélioration de l'analyse énergétique des bâtiments résidentiels.....	46
II.1. Confort thermique et qualité de l'air.....	46
II.1.1. Enveloppe du bâtiment.....	47
II.1.2. Ventilation et qualité de l'air.....	50
II.1.3. Élimination de l'humidité.....	51
II.2. L'éclairage.....	52
II.2.1. Fenêtres, éclairage naturel et commandes d'éclairage.....	53
II.2.2. Dispositifs d'éclairage.....	54

II.3. Systèmes électriques.....	55
II.3.1. Principaux appareils consommateurs d'énergie.....	55
II.3.2.Électronique et autres charges énergétiques des bâtiments.....	56
II.4. Système de gestion énergétique.....	56
II.4.1.Capteurs, contrôles et réseaux.....	56
II.4.2. Conception et exploitation des bâtiments.....	58
II.4.3. Distribution et réutilisation de l'énergie thermique.....	59
III. Planification et gestion stratégiques de l'efficacité énergétique.....	59
III.1. Vision nationale de l'efficacité énergétique.....	59
III.2. Pertinence de la gouvernance de l'efficacité énergétique.....	60
III.3. Besoins institutionnels pour la mise en œuvre de l'efficacité énergétique.....	61
III.4. Structure recommandée de l'organisation d'efficacité énergétique.....	62
IV. Objectifs d'efficacité énergétique et de réduction des GES.....	63
V. Efficacité énergétique challenge.....	68
10.1. Conservation d'énergie et efficacité énergétique.....	68
10.2. Développement des énergies renouvelables.....	69
IX. Conclusion.....	71

Chapitre IV : Simulation et Résultats

I.	
Introduction.....	72
II. Description du site.....	72
II.1.Situation géographique.....	72
II.2. Caractéristiques du site.....	73
II.3. données climatiques.....	74
III. Description du logiciel.....	76
III.1. Présentation du logiciel.....	76

III.2. les étapes d'utilisation.....	76
IV. Etude de cas.....	80
IV.1. Etude de la performance énergétique de l'enveloppe de l'étage avec la composition des parois et des fenêtres réelle.....	81
IV.2. Etude de la performance énergétique de l'enveloppe de l'étage avec différents Isolants.....	83
IV.3. Etude de la performance énergétique de l'enveloppe de l'étage en utilisant le polystyrène avec différentes épaisseurs.....	88
IV.4. Etude de la performance énergétique de l'enveloppe de l'étage en comparant entre la construction réelle et la construction avec simple paroi et le polystyrène comme isolant.....	89
V. Conclusion.....	90
Conclusion Générale.....	92

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Dispositifs réglementaire de la RT 2020.....	10
Tableau I.2: les niveaux de suivi des performances d'un bâtiment.....	20
Tableau III.1: Flux d'énergie dans l'enveloppe du bâtiment.....	47
Tableau III.2 : Tableau récapitulatif des émissions de CO2 à éviter à l'horizon 2030.....	63
Tableau IV.1: Les caractéristiques des murs extérieurs.....	73
Tableau IV.2: Les caractéristiques des fenêtres.....	73
Tableau IV.3: La variation de la température de confort (Tc).....	75
Tableau IV.4: Les dimensions de l'étage.....	81
Tableau IV.5: Le pourcentage des ouvertures pour chaque orientation.....	81

Liste des figures

Figure I.1 : La consommation de l'énergie finale en Algérie.....	4
Figure I.2: Les enjeux d'un suivi des performances d'un bâtiment.....	6
Figure I.3: Le cycle de vie du bâtiment.....	7
Figure I.4 : Bâtiment a énergie positive.....	10
Figure I.5: Les étapes nécessaires du pilote et le gestionnaire.....	13
Figure I.6: Organisation des acteurs.....	14
Figure I.7 : Les phases d'un suivi des performances d'un bâtiment.....	16
Figure I.8: Principe de télérelevé.....	21
Figure I.9 : Gestion Technique Centralisée.....	21
Figure II.1: Luxmètre.....	35
Figure II.2: Le thermomètre a thermocouple.....	36
Figure II.3: Principe de fonctionnement.....	36
Figure II.4: Une caméra infrarouge sur une Enveloppe d'un bâtiment.....	37
Figure II.5: Une pince multimètre.....	38
Figure II.6: Analyseur de combustion.....	38
Figure II.7: Détecteur de fuites à ultrasons.....	39
Figure III.1: Distribution de l'énergie de la lumière solaire.....	48
Figure III.2: Les différents modèles de fenêtres.....	49
Figure III.3: Membrane pare-air.....	52
Figure III.4: Efficacité lumineuse spectrale.....	53
Figure III.5: Les commandes des bâtiments intelligents.....	57

Figure III.6: Structure organisationnelle de l'Organisation pour l'efficacité énergétique...	62
Figure III.7: Emissions évitées (en millions de tonnes CO ₂).....	64
Figure IV.1: Situation Géographique.....	72
Figure IV.2 : Une photo réelle de la clinique.....	73
Figure IV.3: Variation de rayonnement global, diffus.....	74
Figure IV.4: Variation mensuelle de l'humidité relative (%)......	74
Figure IV.5 : Variation de la durée d'ensoleillement.....	74
Figure IV.6: La variation de la température maximale et minimale.....	75
Figure IV.7: Choix du projet.....	76
Figure IV.8: Les caractéristiques du bâtiment.....	77
Figure IV.9: Les données météorologiques et le pourcentage des ouvertures.....	77
Figure IV.10: Les types de système de ventilation.....	78
Figure IV.11: Les données du chauffage et de la climatisation.....	78
Figure IV.12: Le gain de l'éclairage.....	79
Figure IV.13: Création du projet.....	79
Figure IV.14: Composition des murs et des fenêtres.....	80
Figure IV.15: Simulation.....	80
Figure IV.16: Composition des murs extérieurs.....	82
Figure IV.17: Composition des fenêtres.....	82
Figure IV.18: La variation des températures.....	83
Figure IV.19: Composition du mur.....	84
Figure IV.20: La variation de la température intérieure pour la laine de verre.....	84
Figure IV.21: Composition du mur.....	85

Figure IV.22: La variation de la température intérieure pour le polyuréthane.....	85
Figure IV.23: Composition du mur.....	86
Figure IV.24: La variation de la température intérieure pour le polyuréthane.....	86
Figure IV.25: Composition du mur.....	87
Figure IV.26: La variation de la température intérieure pour la laine de roche.....	87
Figure IV.27: La variation de la température intérieure pour les quatre isolants.....	88
Figure IV.28: La composition du mur pour les trois épaisseurs.....	89
Figure IV.29: La variation de la température pour les trois épaisseurs de l'isolant.....	89
Figure IV.30: La variation de la température des deux compositions des murs.....	90

INTRODUCTION GENERALE

Le secteur du bâtiment est le plus gros consommateur d'énergie. Il représente pour l'Algérie un gros potentiel de réaction pour la réduction de la consommation d'énergie qui tient une part de 25 à 30 % des émissions des gaz à effet de serre. Ces émissions provoquent une hausse de températures remarquable qui représente une menace potentielle pour les écosystèmes, mais aussi pour les humains ; cette hausse de températures affecte directement le comportement thermique du bâtiment dont les usagers seront obligés d'augmenter en plus la consommation énergétique afin de maintenir le confort hygrothermique.

L'amélioration de l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment occupe une place importante dans les stratégies de la transition énergétique. L'efficacité énergétique est l'une des approches les plus rapides et les plus appropriées pour réduire les émissions des gaz à effet de serre. Pour rendre la conception des bâtiments dans une forme développée et durable, et pour que cette approche soit réalisable, il est nécessaire d'investiguer l'ensemble des techniques, méthodes ainsi que les solutions et les pistes de réflexion qui s'intéressent à l'amélioration des performances énergétique des bâtiments.

Pour, identifier les meilleures solutions énergétiques respectueuses de l'environnement et leur impact économique, est essentiel dans un programme de construction d'habitation.

Le présent travail a pour objectif d'améliorer l'efficacité ainsi que la performance énergétique des bâtiments en Algérie. Tout en réduisant leur consommation d'énergie afin de réduire les émissions des gaz à effet de serre pour assurer la protection de l'environnement.

Notre travail est détaillé dans le présent manuscrit qui se composera d'une partie théorique présentée en trois chapitres. Et la partie simulation qui présente le cas d'étude et la présentation des résultats obtenus avec discussion.

Le chapitre 1 présente l'état de l'art sur l'efficacité énergétique ; tout en abordant les enjeux du suivi des performances énergétique ainsi que la réglementation à suivre durant la conception des bâtiments avec les différents acteurs et la méthodologie du suivi.

Le chapitre 2 présente une définition de l'audit énergétique ainsi que son objectif pour assurer la performance du suivi et l'importance du rapport détaillé d'audit énergétique avec les différentes étapes pour sa réalisation.

Le chapitre 3 présente l'analyse et l'amélioration de la performance du bâtiment en abordant l'isolation de l'enveloppe du bâtiment ainsi que le type des fenêtres et leur performance. Les systèmes d'éclairage et tous les solutions pour rendre un bâtiment performant sont discutés dans une optique d'assurer la transition énergétique.

Le chapitre 4 présente l'étude de cas en détaillant les caractéristiques et les mesures de l'enveloppe de la clinique médicale, les spécificités du climat de la wilaya de Tlemcen ; il s'agit en effet, de présenter l'outil de simulation ainsi que les différentes étapes pour améliorer la performance de l'enveloppe d'un bâtiment en faisant une synthèse sur les résultats obtenus tout en jouant sur la composition et la taille des murs extérieurs.

Finalement, une conclusion générale synthétise les résultats de cette étude avec proposition de perspectives.

CHAPITRE I

I. Introduction :

Le bâtiment constitue probablement l'un des défis majeurs pour les prochaines décennies ; L'enjeu d'aujourd'hui est de maintenir, améliorer le confort des citoyens et de réduire la consommation d'énergie afin de préserver l'environnement en réduisant les émissions de gaz à effet de serre.

L'intérêt de ce chapitre est présenté une vision générale sur les enjeux rencontrés lors de suivis de la mise en œuvre d'un ouvrage d'habitation par rapport changement climatique dans un but de réduire la consommation énergétique. Dans première partie, on parlera sur les enjeux du suivi tels que l'impact environnemental, les coûts d'exploitation en misant à garantir la qualité d'usage. Aussi pour valoriser ces contributions le problème de réglementation selon plusieurs lois est discuté et analysé. Entre autre, au cours de n'importe quelle réalisation, les acteurs de suivis seront bien définis, selon leurs rôles et leur responsabilité. Aussi, dans un cadre bien organisé pour une tels réalisation, la méthodologie de conception de bâtiment avec une meilleure performance énergétique sera détaillée.

II. Les enjeux de suivi d'un bâtiment :

Le secteur du bâtiment est à l'origine de beaucoup d'impacts environnementaux liés à la consommation d'énergie.

II.1 Impacts environnementaux liés aux consommations d'énergie dans le bâtiment :

Le secteur du bâtiment est le premier consommateur d'énergie en Algérie; d'après Une étude menée par l'Agence pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE) la consommation de l'énergie finale dans le secteur de l'habitat est de 41% qui est montrée dans la figure I.1. [1]

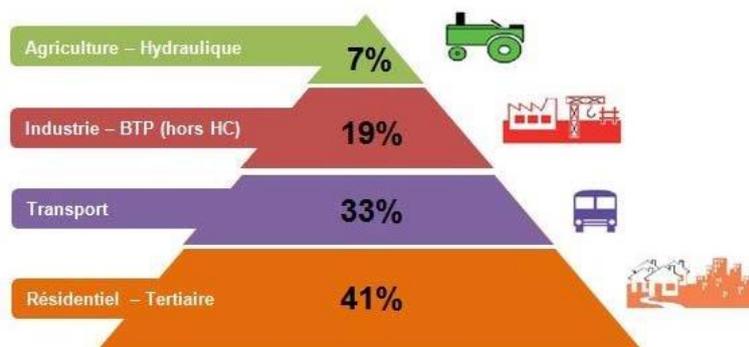


Figure I.1 : La consommation de l'énergie finale en Algérie.[1]

Pour illustrer l'importance de limiter cette consommation, les principaux impacts globaux qui en découlent sont : Le changement climatique et l'épuisement des matières premières non renouvelables. [2]

II.1.1.Le changement climatique :

Les bâtiments sont le principal consommateur d'énergie et la plus grande fraction des émissions de gaz à effet de serre en Algérie d'après L'APRUE ;L'analyse des données climatiques de 1931 à 1990 dans le nord de l'Algérie révèle qu'une hausse de la température de 2 °C est attendue d'ici 2050.[3] Ce réchauffement climatique est dû à la consommation des énergies fossiles ; Par conséquent, la prévision de la consommation d'énergie est essentielle et aide à faire une bonne planification, des stratégies à long terme, des initiatives efficaces pour réduire les émissions et contrôler la consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment.

II.1.2.Épuisement des matières premières non renouvelables :

Il existe deux types de matières premières nécessaires à l'exploitation d'un bâtiment : les matériaux nécessaires à la construction et le combustible nécessaire à l'exploitation.

Si les estimations dépendent de la découverte du gisement et de l'évolution technologique, les ressources estimées en combustible ne dépassent pas la durée de vie humaine (70 ans), sauf pour le charbon (estimé 100 à 200 ans). [2]

II.2. Les enjeux spécifiques d'un suivi de bâtiment :

Les bâtiments sont des investissements à fort potentiel de rentabilité. Sur le marché actuel, les bâtiments doivent être confortables pour les occupants et doivent fonctionner efficacement pour rester compétitifs. Les propriétaires de bâtiments qui parviennent à cet équilibre bénéficient d'importantes économies de coûts et d'une position de leader sur le marché.

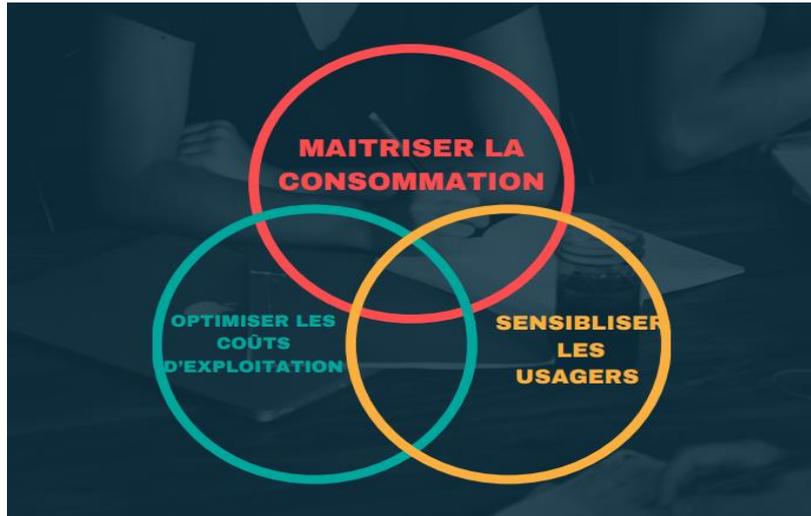


Figure I.2: Les enjeux d'un suivi des performances d'un bâtiment.

La figure I.2 nous montre que les trois principaux enjeux d'un suivi des performances d'un bâtiment sont :

II.2.1. Assurer le bon fonctionnement des équipements et la maîtrise des consommations :

Les outils de suivi des performances qui se concentrent sur la visualisation des données de consommation d'énergie sont largement utilisés dans le secteur du bâtiment. Il existe plusieurs guides qui fournissent les meilleures pratiques pour l'utilisation de ces outils. Cependant, les fonctionnalités les plus avancées de ces outils, telles que la détection des défauts et les diagnostics, sont encore à l'état embryonnaire. Plusieurs raisons expliquent le manque de disponibilité des outils de détection de défauts et de diagnostic :

- Les défauts dans les systèmes CVC (Chauffage, Ventilation, Chauffage) causent rarement des pertes économiques considérables ou des dangers pour la sécurité ou la santé.
- Manque de capteurs adéquats installés sur les systèmes HVAC (Heating, Ventilation and Air-Conditioning).
- Les algorithmes intelligents sont souvent négligés dans la pratique.

II.2.2. Optimiser les coûts d'exploitation :

Les coûts du cycle de vie est un facteur essentiel lors de la construction de bâtiments.

Coût Global = Coût de construction + coût d'exploitation + coût de maintenance + coût gestion de la fin de vie (+ coût environnemental)

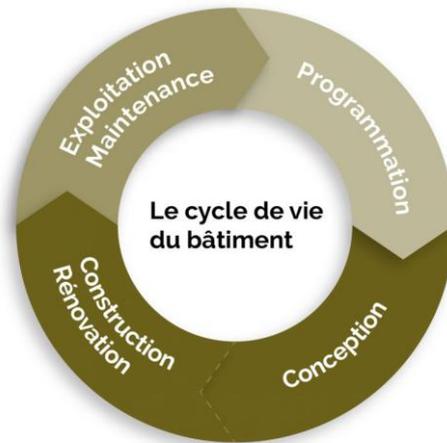


Figure I.3: Le cycle de vie du bâtiment.

Lors de l'analyse des coûts du cycle de vie d'un bâtiment (Figure I.3), il faut tenir compte des coûts de planification et de construction, y compris les coûts d'investissement et de financement, ainsi que les coûts d'utilisation pour exploiter le bâtiment. La propriété comprend la rénovation, la consommation en énergie, la modification, la démolition, la climatisation, le chauffage. Les bâtiments conçus et construits en termes d'écologie et de durabilité se sont avérés être la variante la plus rentable dans de nombreux cas, même s'ils coûtent plus cher à construire.

Aujourd'hui, il existe des méthodes techniques ou économiques afin de pousser plus loin l'optique du coût global. Les améliorations portent par exemple sur des matériaux isolants à forte inertie thermique, sur la qualité de la couverture, ou encore sur l'installation en énergie renouvelable. Ces innovations permettent de réaliser des bâtiments pérennes et économes sur le long terme.

II.3. Garantir la qualité d'usage :

Afin d'assurer le confort pour les usagers dans le bâtiment il faut appliquer les critères suivants :

❖ Organisation Architecturale :

L'organisation architecturale répond au besoin d'organisation fonctionnelle ; elle prend en compte la cohérence de l'agencement des différents espaces ainsi que leur dimensionnement. Outre la notion d'ordre pratique, les organisations du bâtiment sont également fortement dictées par les contraintes de sécurité (principalement la sécurité incendie). [4]

❖ Qualité de l'Air :

En moyenne, nous passons 80 % de notre temps à l'intérieur des bâtiments et la qualité de l'air que nous respirons est un enjeu majeur de santé publique. L'air intérieur est abondant et provient de nombreuses sources. En effet, les polluants qui « polluent » l'air intérieur peuvent provenir aussi bien de l'intérieur des bâtiments (produits d'entretien, brûleurs fioul, finitions...) que de l'extérieur (polluants agricoles, émissions des véhicules...).

Les systèmes de ventilation naturelle, hybride ou mécanique doivent pouvoir régénérer l'air intérieur pour éliminer ces contaminants et assurer une bonne qualité de l'air. D'une part, il assure le système de ventilation installé en termes de performances et de facilité d'entretien, et les performances d'air suivantes :

- Sa concentration en COV (composés organiques volatils) et particules,
- La vitesse de l'air et le ressenti de l'utilisateur,
- L'humidité relative et le ressenti de l'utilisateur.

❖ Qualité Acoustique :

La qualité acoustique d'un bâtiment prend en compte le confort de ses usagers par rapport au bruit généré par les autres occupants, au bruit extérieur et au bruit généré par les équipements techniques du bâtiment (chauffage, ventilation, ascenseurs, équipements informatiques...). [4]

❖ Confort Hygrothermique :

Le confort hygrothermique d'une personne dans un environnement donné correspond à son ressenti selon trois critères : la température, l'humidité et la vitesse de l'air. On différencie confort d'été et confort d'hiver. [4]

III. Les obligations réglementaires et normes :

III.1.La Réglementation Thermique:

RT 2020 : La Réglementation Thermique 2020 appelée aussi RE 2020 (Réglementation Environnementale), est une nouvelle norme thermique ; elle prend en compte l'empreinte environnementale des bâtiments, son objectif est que toute nouvelle construction doit produire plus d'énergie qu'elle n'en consomme.

Les bâtiments soumis à la RT 2020 doivent respecter les 3 normes clés :

- Avoir une consommation de chauffage faible :

L'objectif est d'avoir une consommation de chauffage inférieure à 12 KWhep/m²/an(kilowatt-heure d'énergie primaire par m² et par an). [5]

Afin d'atteindre cet objectif il faut :

- Avoir une excellente isolation thermique, aussi bien au froid qu'à la chaleur.
- Mettre en place des matériaux à faible conductivité thermique tels que le bois, la paille ou encore le verre cellulaire.

- Réduire sa consommation totale d'énergie :

L'objectif est d'avoir une consommation d'énergie totale (chauffage, eau chaude sanitaire, éclairage et appareils électriques) inférieure à 100 kWh/m²/an.[5]

Pour cela il faut : une bonne isolation et des appareils moins énergivores.

- Produire une énergie renouvelable pour avoir un bilan énergétique passif ou positif :

L'objectif est d'intégrer au bâtiment un ou plusieurs dispositifs de production d'énergie tels que les panneaux solaires photovoltaïques.

La RT 2020 (Tableau I.1) va donc permettre le développement de bâtiments plus respectueux de l'environnement. [6]

Tableau I.1 : Dispositifs réglementaire de la RT 2020. [5]

Types de bâtiments	Usages pris en compte	Type de consommation visé	Principaux éléments pris en compte
RT 2020 Bâtiments à énergie positive (BEPOS)	<ul style="list-style-type: none">• Refroidissement ;• chauffage ;• production d'eau chaude sanitaire ;• éclairage ;• auxiliaires ;• appareils ménagers ;• appareils électroménagers.	Suppression du gaspillage énergétique à l'aide d'une gestion intelligente de la consommation.	<ul style="list-style-type: none">• Isolation thermique des bâtiments ;• production d'énergie ;• empreinte environnementale.

La RT 2020 repose sur le principe des bâtiments à énergie positive BEPOS (Bâtiments à Energie Positive).

-BEPOS : Le Bâtiment à énergie positive (Figure I.4) est un logement qui produit plus d'énergie qu'il en consomme.



Figure I.4 : Bâtiment a énergie positive.[5]

Le stockage et la récupération de la chaleur nécessitent une bonne utilisation des murs, des toitures et des fenêtres de ces nouvelles habitations, ainsi qu'un certain nombre d'équipements de production d'énergie répondant aux exigences suivantes :

- Une isolation thermique renforcée ;
- Une captation de l'énergie solaire ;

- Des fenêtres de haute qualité ;
- Une ventilation avec récupération de chaleur sur l'air vicié ;
- La limitation des consommations énergétiques des appareils ménagers.

III.2. La norme d'une installation électrique :

Les installations électriques du fait de leur importance en termes de sécurité, font l'objet de nombreuses normes de construction.

C'est la norme NF C 15-100 qui a vocation à s'appliquer.

Cette norme permet de sécuriser encore davantage les installations électriques en imposant par exemple la présence d'un appareil général de coupure de protection.

Un dispositif différentiel de type A doit être installé sur le circuit alimentant les gros appareils électroménagers et au moins 20 % du tableau électrique doit être présent dans le logement. [6]

III.3. Obligation de comptage pour les logements :

L'obligation de fixer séparément les charges de chauffage ne concerne que les bâtiments dont la consommation énergétique dépasse un certain seuil :

- Les bâtiments dont au moins 20% de leurs radiateurs sont équipés de vannes thermostatiques ont une énergie finale de 150 kWh/m².an ;
- pour les autres radiateurs ont une énergie finale de 190 kWh/m².an. [6]

III.4. Carnet numérique de suivi et d'entretien du logement pour le climat :

Le carnet numérique vise à assurer la transparence, l'accessibilité, la pérennité et la fiabilité des données sur le logement grâce à des outils dynamiques et collaboratifs.

Il est conçu pour aider les usagers, car le carnet numérique contient toutes les informations utiles pour une bonne utilisation, à l'entretien et à l'amélioration progressive de l'efficacité énergétique résidentielle.

III.5. Quelques textes réglementaires :

III.5.1. Textes relatifs à la maîtrise de l'énergie :

- Loi n°99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie ;

- Décret exécutif n°2000-90 du 24 avril 2000 portant réglementation thermique dans les bâtiments neufs ;
- Décret exécutif n°05-16 du 11 janvier 2005 fixant les règles spécifiques d'efficacité énergétique applicables aux appareils fonctionnant à l'électricité, aux gaz et aux produits pétroliers ;

III.5.2. Textes relatifs au développement durable :

- Décret présidentiel n° 94-465 du 25 décembre 1994 portant création du Haut conseil de l'environnement et du développement durable et fixant ses attributions, son organisation et son fonctionnement ;
- Loi n° 01-20 du 12 décembre 2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire ;
- Décret exécutif n° 02-115 du 03 avril 2002 portant création de l'Observatoire national de l'environnement et du développement durable ;
- Loi n° 04-09 du 14 août 2004 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.

III.5.3. Textes relatifs à l'APRUE :

- Décret exécutif n°04-314 du 25 septembre 2004 modifiant et complétant le décret n°85-235 du 25 août 1985, modifié et complété, portant création d'une Agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie.

IV. Les acteurs :

Les acteurs d'une opération de construction ou de rénovation sont nombreux et variés selon le contexte des travaux. Par conséquent, leur rôle dans la surveillance de la performance énergétique varie d'une exploitation à l'autre. Nous fournissons ci-dessous une description des acteurs et de leurs rôles dans le suivi des performances. [2]

IV.1. Les rôles identifiés dans le suivi des performances :

Deux rôles principaux s'opposent dans le suivi des performances :

IV.1.1. Le pilote :

Le terme <<pilote des performances énergétique>> désigne la personne garante de la mise en place du suivi et de l'exploitation du bâtiment ; dont le rôle consiste à planifier et à coordonner les actions des différents professionnels du bâtiment, le pilote doit aussi prendre toutes les mesures nécessaires pour assurer le bon déroulement du suivi en terme de qualité des résultats, de délai et de coût.[2]

Dans la phase de programmation c'est le maître d'ouvrage qui doit décider qui sera le pilote du suivi sur l'opération.

IV.1.2. Le gestionnaire du bâtiment :

Le gestionnaire du bâtiment est responsable du suivi des performances tout au long de la phase d'exploitation et doit aussi assurer la sécurité et la sûreté des usagers, de coordonner et de gérer les activités d'entretien et de réparation, et d'assurer la liaison avec les fournisseurs pour assurer le bon déroulement des opérations quotidiennes du bâtiment.[2]

Son rôle est donc très important dans la phase exploitation, et devrait être associé dans la phase de programmation si possible. Sinon, au moins jusqu'à ce que le travail soit fait.

Le schéma ci-dessous (Figure I.5) montre les étapes de ces deux rôles et le temps nécessaire au recoupement des informations entre le pilote et le gestionnaire.

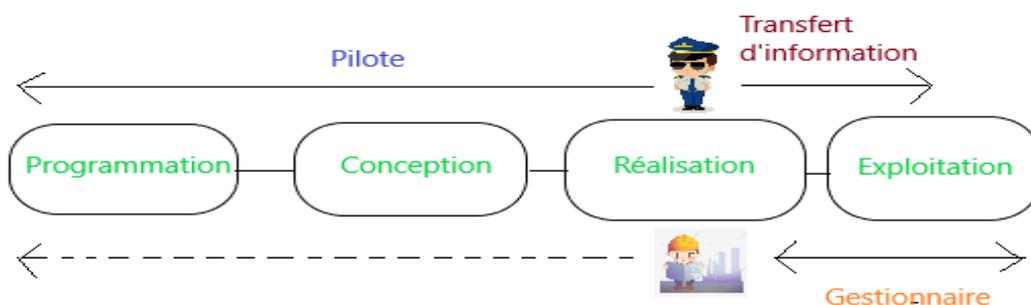


Figure I.5: Les étapes nécessaires du pilote et le gestionnaire.

Chacun de ces rôles peut être joué par différents acteurs selon le contexte de la tâche.

Dans la partie suivante nous allons identifier les acteurs principaux impliqués dans le suivi du bâtiment.

IV.2. Les acteurs impliqués dans le suivi des performances :

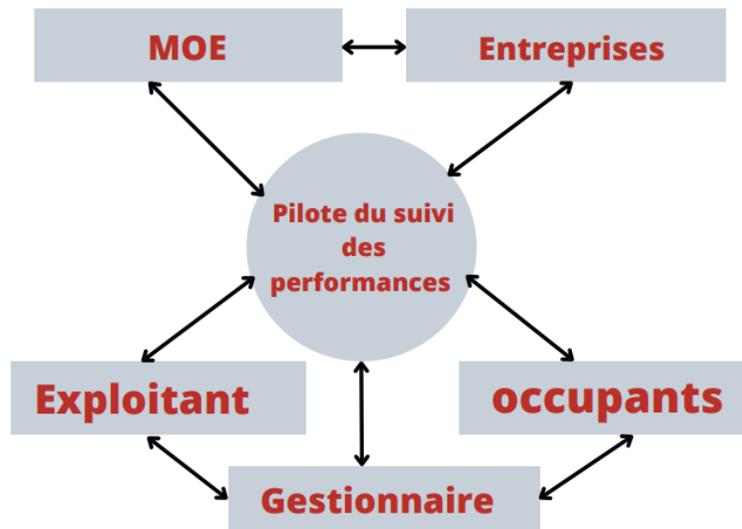


Figure I.6: Organisation des acteurs.

Le pilote joue un rôle important dans la coordination des différents acteurs du projet pour le suivi des performances (Figure I.6). Il doit avoir un contact direct avec chaque acteur du processus de construction et d'exploitation. et dans la dernière étape, il prend contact avec l'exploitant, le gestionnaire et au moins un représentant des occupants.

Les principaux acteurs impliqués dans le suivi des performances du bâtiment sont :

- Maître d'ouvrage (Mo) : il est responsable des travaux de construction ou de rénovation ; de l'étape de programmation à la mise en service du bâtiment. Les responsables des opérations peuvent être soutenus par des responsables de l'énergie. [2]
- Conseiller en Energie Partagée ou Econome de Flux (CEP/EFX) : il peut jouer deux rôles celui du pilote et/ou du gestionnaire ; il peut ainsi soutenir le maître d'ouvrage dans la mise en place du suivi. [2]
- AMOQE : Assistant au maître d'ouvrage qualité environnementale, son rôle est d'assurer le suivi des deux premières années, il peut jouer le rôle du pilote. [2]

- Occupants : le gestionnaire peut faire partie des occupants de l'immeuble ; sinon on peut désigner un ou plusieurs représentants des occupants qui sont identifiés comme des personnes-relais afin de transmettre les informations aux occupants d'une part et signaler les difficultés rencontrés au pilote et au gestionnaire d'une autre part.
- Maître d'œuvre (MOE): le maître d'œuvre est responsable de l'exécution des travaux et du suivi du chantier lors des étapes de la réalisation du projet de bâtiment, ainsi que du respect des normes de qualité.

Et peut intervenir pendant différentes étapes de conception :

- Lors de la conception, il planifie les travaux et les interventions de diverses entreprises.
- pendant le chantier, Supervise la construction ou la rénovation du bâtiment.
- à la réception et clôture des travaux, il s'assure de la finition et de la qualité de l'ensemble avec le maître d'ouvrage. [7]

- Le bureau d'études Qualité Fluide et/ou Qualité Environnementale seront prioritaires. Le maître d'ouvrage s'assure que la personne responsable de la tâche de surveillance possède les compétences et l'accompagnement nécessaires pour la surveillance, l'instrumentation et l'optimisation énergétique. L'accompagnement peut également inclure la participation de l'architecte.

- Bureau d'études externe à la maîtrise d'œuvre : Les tâches de suivi après livraison peuvent être confiées à un bureau d'études externe. Par exemple, si le maître d'œuvre n'a pas les compétences nécessaires en interne. Dans ce cas, il est recommandé de démarrer les travaux du prestataire externe dès la phase DCE(Dossier de Consultation des Entreprises) pour s'assurer que l'ensemble de l'instrumentation est intégré aux marchés de travaux. [2]
- Entreprises : les entreprises jouent un rôle important dans le suivi des performances ; car elles permettent d'effectuer la réalisation et les modifications durant l'exécution, et de régler les installations ainsi que l'instrumentation, et transmettre les informations aux opérateurs, aux gestionnaires et aux résidents.
- Exploitant : le rôle de l'exploitant est essentiel au contrôle des performances. Il permet d'assurer l'optimisation et la supervision de l'ensemble pour le bon fonctionnement du bâtiment comme : la maintenance (plomberie, CVC, électricité) ; la sécurité ... etc.

V. La méthodologie :

V.1.Préambule :

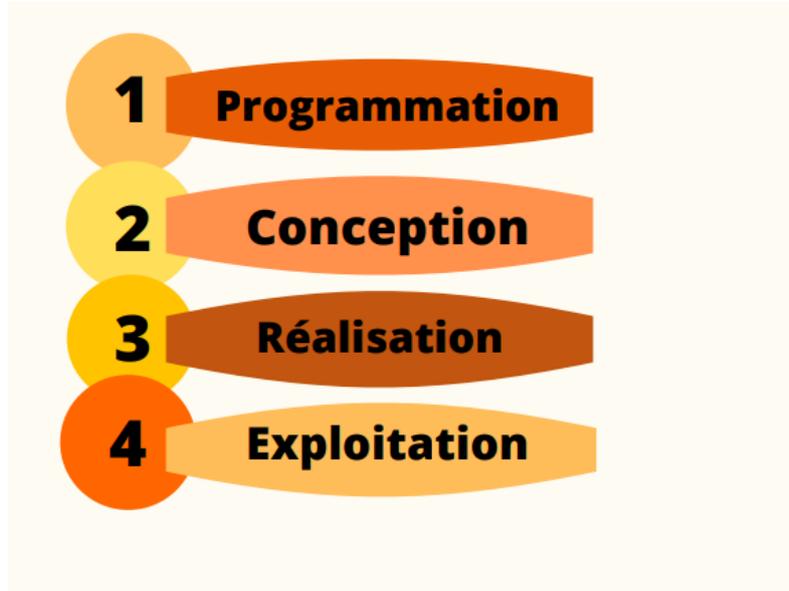


Figure I.7 : Les phases d'un suivi des performances d'un bâtiment.

Il existe quatre phases (Figure I.7) pour le suivi des performances d'un bâtiment ; on va définir les méthodes utilisées dans chaque phase.

V.2.Phase Programmation :

Lors de la phase programmation, il est important de penser au type de suivi de bâtiment souhaité. Cette étape dépend de la pérennité de l'installation et de son utilité compte tenu du coût élevé de mise en œuvre. Les besoins sont identifiés lors des phases de planification technique et fonctionnelle du bâtiment. Pendant la phase programmation technique et fonctionnelle du bâtiment, les besoins sont identifiés non seulement en termes d'utilisation, mais également en termes d'exploitation et de maintenance. De plus, les directives établies pour les méthodes de construction, les types d'énergie et les types d'équipements ont un impact significatif sur les pratiques de gestion technique.

V.2.1. Définir l'organisation de la gestion technique :

- Définir le gestionnaire du bâtiment ;

- Prévoir des formations pour ceux qui assurent la gestion technique ;
- Réfléchir au rôle de l'opérateur ainsi que son implication dans le suivi des performances.

Les méthodes utilisées dans cette action sont :

- Le rôle du gestionnaire : le gestionnaire a pour mission de surveiller ; de piloter et superviser ; d'optimiser et suivre l'efficacité énergétique.
 - Surveiller : il s'agit de la maintenance corrective par exemple maintenir la fonctionnalité des systèmes et de Minimiser le temps d'exécution indisponible.
 - Piloter et Superviser : c'est de la maintenance préventive, il s'agit de piloter ou bien gérer l'installation de chaque système et de connaître leur fonctionnement.
 - Optimiser et Suivre l'efficacité énergétique: on parle de la gestion énergétique le but est d'optimiser et améliorer la performance énergétique.
- Le contrat d'exploitation à intéressement : Le contrat à intéressement est un outil très important qui engage les opérateurs à surveiller la performance énergétique d'un bâtiment. L'intéressement Il comprend principalement les postes de chauffage et d'eau chaude, mais peut également inclure la ventilation ou le refroidissement. [2]

V.2.2.Définir la conduite de la performance énergétique, de la phase études à la phase fonctionnement :

- Définir le pilote de la performance énergétique ;
- Estimer le temps de mobilisation du pilote ;
- Mettre en place un contrat spécifique ;
- Intervention éventuelle d'un économiste de flux ou d'un conseiller en énergie partagé. [2]

Les méthodes utilisées dans cette action sont :

- Le rôle du pilote : durant la phase de conception le pilote permet d'organiser des réunions liées à la thématique, et d'assurer l'intégration de la thématique au processus de conception aussi de donner un avis sur chaque étape du MO (Maitre d'Ouvrage) ; pendant la phase de réalisation il permet de contrôler le bon déroulement des missions confiées au MOE (maître d'œuvre), sur les éléments spécifiques à la thématique suivi ; et en phase d'exploitation il permet d'assurer la mise en place d'actions correctives ainsi que l'implication des occupants, du gestionnaire et de l'exploitant.

➤ Méthodes et outils contractuels de conduite de la performance : il existe plusieurs types de missions, contrats et certifications qui font partie des outils mis à la disposition de la maîtrise d'ouvrage pour assurer la maîtrise totale ou partielle pour le suivi des performances d'un bâtiment.

- La mission de commissionnement : fait référence à tous les travaux qui doivent être effectués pour assurer la performance énergétique d'un bâtiment.

La mission de commissionnement porte sur : la phase études, réalisation et la phase fonctionnement.

- La mission de suivi après livraison : la mission de suivi est établie si la mission de commissionnement n'a pas été mise en place, et elle peut être confiée au maître d'œuvre ou à un prestataire externe, dans la mesure où il a les compétences pour assurer les échanges avec les exploitants, les occupants et l'optimisation énergétique.

[2]

- Le contrat de performance énergétique (CPE): Le contrat prévoit une Garantie de Performance Energétique (GPE), qui garantit que le niveau de consommation réelle du propriétaire après exploitation ne dépasse pas une certaine valeur.

Il existe trois types de CPE :

- ✓ Fournitures et services
- ✓ Travaux et services
- ✓ Contrats de performance énergétique globaux (conception, réalisation, exploitation)
- Le protocole IPMVP : L'IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) permet de mesurer l'énergie consommée pendant une période de référence, analyser les variables et l'équation d'ajustement ; et aussi de mesurer l'énergie consommée pendant une période de suivi, après la mise en œuvre des actions d'amélioration de la performance énergétique. [8]
- La certification ISO 50 001 :La norme NF EN ISO 50001 "Systèmes de management de l'énergie – exigences et recommandations de mise en œuvre" est destinée à aider les organismes de toute taille à développer une gestion méthodique de l'énergie pour améliorer leur performance énergétique. [9]

V.2.3.Définir une stratégie de suivi :

- Définir les objectifs du suivi ;

- Déterminer les besoins de transmission et de traitement des données de consommation et de température ;
- Estimer le budget alloué à ces équipements ;
- Vérification de la faisabilité technique de l'instrumentation et les équipements existants ;
- Consulter l'exploitant ;
- Convaincre les occupants à participer dans le suivi des performances ;
- Déterminer les indicateurs de suivi. [2]

Les méthodes utilisées dans cette action sont :

- Définir les objectifs du suivi : les différents enjeux de suivi du bâtiment sont :
 - L'organisation des postes de consommations ;
 - La sensibilité de consommation selon le mode d'occupation;
 - L'intérêt pour une étude détaillée d'une zone ou d'un point de consommation spécifique en fonction du poids ou de la représentativité énergétique ;
 - Vulnérabilité et complexité des équipements.
- Un suivi énergétique ou un suivi élargi a d'autres thématiques :

Il est parfois nécessaire de mesurer d'autres paramètres que l'énergie tels que L'hygrométrie pour le confort thermique ; La consommation d'eau ; L'éclairage réel pour le confort visuel ; Le temps de réverbération pour apprécier le confort Acoustique ; les mesures de la qualité de l'air intérieur et la qualité de l'eau ; l'étanchéité à l'air ainsi que des mesures de champs électromagnétiques tout ça pour une évaluation plus complète des performances environnementales d'un bâtiment et du confort des occupants.
- Les trois niveaux de suivi : on distingue (tableau I.2) trois niveaux de suivi des performances d'un bâtiment :

Tableau I.2: Les niveaux de suivi des performances d'un bâtiment.

	1 ^{er} Niveau	2 ^{ème} Niveau	3 ^{ème} Niveau
	Suivi des consommations	Suivi thermique global	Suivi analytique
OBJECTIFS	<ul style="list-style-type: none"> - Quantifier les consommations d'énergie par usage (Chauffage, climatisation, ECS, éclairage, auxiliaires thermiques) + productions d'énergie ; - sensibiliser les occupants et gestionnaires. [10] 	<ul style="list-style-type: none"> - Suivi de consommation (niveau1) + identification des besoins thermiques : Etablir le bilan thermique de l'enveloppe du bâtiment (déperditions et apports) ; - Quantifier les besoins d'ECS (si besoins ECS significatifs) + Evaluer le confort thermique. [10] 	<ul style="list-style-type: none"> - Suivi thermique global + Identifier finement la dynamique des besoins thermiques (chaud et froid) ; - Évaluer le fonctionnement réel des systèmes thermiques (production, distribution, gestion) ; - connaître le fonctionnement réel de bâtiments ou systèmes innovants. [10]
MESURES	Compteurs	Niveau 1 + compteur thermiques + capteurs autonomes	Niveau 2 + capteurs des états des systèmes (températures, marche, pression...) + gestion des automates
Le TEMPS DES MESURES	Année/mois	Semaine/jour	Heure/minute
OUTILLAGE DE SUIVI	Tableau de bord	Tableau de bord	GTB (Gestion Technique du Bâtiment)
COÛTS	Environ 3 euros/m	Environ 5 euros/m	Environ 5 euros/m

- Les modes de collecte des données : les principaux modes de collectes sont :
- Le relevé de compteur manuel par l'utilisateur : il peut faciliter la sensibilisation des utilisations.

- Le télérelevé : C'est un accès à distance aux informations collectées par un compteur communicant (Figure I.8) ou intelligent par le gestionnaire de réseau grâce à un boîtier de télé-report. [11]

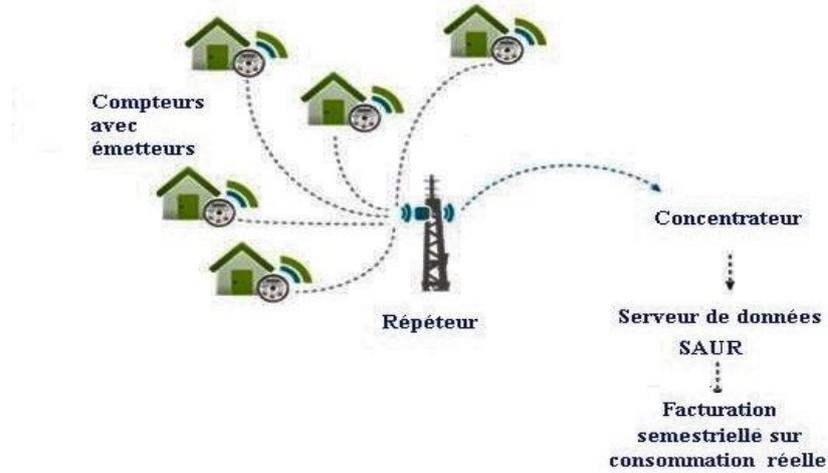


Figure I.8: Principe de télérelevé. [11]

- + Économie de temps et erreurs évitées ;
- + Investissement ou coût de fonctionnement.

- Gestion Technique Centralisée (Figure I.9) :



Figure I.9 : Gestion Technique Centralisée. [12]

- Contrôle plus facile et à distance de l'alimentation du bâtiment.

- Formation de base pour les gestionnaires et les utilisateurs pour assurer la compréhension et l'utilisation. [2]
- Définir les indicateurs de suivi : Les indicateurs sont des outils de mesure de la performance et du suivi des projets. Ils favorisent la transparence, l'échange et la valorisation de l'action.
L'indicateur est utilisé pour suivre l'évolution d'une action dans le temps et peut être soit quantitatif soit qualitatif.

V.2.4.Rédiger le programme et le contrat de MOE (Maître d'œuvre) :

Pour la rédaction du programme et le contrat de maitre d'œuvre il faut préciser :

- L'usage qui sera fait du bâtiment et le mode de maintenance ;
- Les Responsables de la gestion technique de l'exploitation et de la gestion de l'énergie ;
- La méthode retenue de suivi de la performance énergétique ;
- Mettre en œuvre une Gestion Technique du Bâtiment. [2]

Les méthodes utilisées dans cette action sont :

- Méthodes et outils contractuels de conduite de la performance.
- C'est quoi une GTB : Les systèmes de gestion des bâtiments (GTB) surveillent et contrôlent les services tels que le chauffage, la ventilation et la climatisation pour s'assurer qu'ils fonctionnent de la manière la plus efficace et la plus économique. Ceci est rendu possible en optimisant l'équilibre entre les conditions environnementales, la consommation d'énergie et les exigences opérationnelles.

V.3.Phase Conception :

Lors de la phase de conception, le maître d'ouvrage doit demander au maître d'œuvre de discuter des mesures mises en place pour assurer le suivi et d'organiser des réunions spécifiques au suivi. Les pilotes sont chargés d'animer ces réunions et doivent inviter les personnes chargées de surveiller le bâtiment après la réception.

V.3.1. Valider avec la maitrise d'œuvre l'objectif de performance, la méthode de conduite de la performance et le rôle de chacun :

- Organisation de réunion de travail.

V.3.2. Définir les consommations prévisionnelles :

- A établir sur la base d'hypothèses réelles d'occupation et de climat ;
- Les débits estimés ne doivent pas être basés sur des calculs thermiques standards. [2]

V.3.3. Identifier les contraintes d'instrumentation :

- Limiter le périmètre si nécessaire pour réduire les contraintes ;
- Évaluer les problèmes liés à des équipements spécifiques.

V.3.4. Définir le plan de comptage, associé au tableau de bord de suivi des consommations :

- Le plan de comptage doit indiquer clairement quels compteurs vérifieront les prévisions de consommation.

La méthode utilisée pour cette action est de Définir les indicateurs de suivi.

V.3.5. S'assurer que le plan de comptage et l'outil de collecte des données envisagé répondent bien aux besoins du pilote, du gestionnaire et des occupants :

- S'avoir qui va assurer le suivi technique, le suivi des consommations et de confort ;
- Qui aura l'accès aux données et à quel niveau ;
- Comment les occupants seront associés.

V.4. Phase Réalisation :

Pendant la phase de construction, le chef de projet supervise l'installation des instruments.

Le rôle du pilote est de s'assurer que les étapes suivantes ont été effectuées correctement.

V.4.1. En phase de préparation de chantier :

- Inscrire au planning de chantier les actions à mener dans le cadre du suivi des performances ;
- Vérifiez le mode de pose et la méthode d'installation du compteur : type de compteur, étalonnage, analyse de la fonction GTB, exemple d'affichage graphique, etc. [2]

La méthode utilisée pour cette action est de Définir les indicateurs de suivi.

V.4.2. Définir les paramètres de fonctionnement adaptés pour les équipements techniques :

- Le BET (Bureau d'Etudes Techniques) et l'entreprise fournissent généralement du temps et des conseils pour l'équipement technique. Ces appareils sont inefficaces Uniquement lorsque les paramètres de fonctionnement correspondants sont sélectionnés : temps de fonctionnement tels que l'éclairage, la ventilation, le chauffage, la consigne de T°, la consigne de niveau de CO2, le niveau de luminosité, la temporisation du détecteur de présence, etc....

La méthode utilisée pour cette action est de Définir les indicateurs de suivi.

V.4.3. Réceptionner les systèmes liés au suivi des performances :

- Vérifiez la présence et l'état de fonctionnement de l'instrument en lisant les valeurs à tous les points de mesure à différentes périodes.

V.4.4. Assurer la prise en main des outils de suivi par l'exploitant, le gestionnaire, le pilote :

- Rédiger et transmettre : notices d'utilisation, plans de repérage des compteurs et sondes de température ;
- Organiser : formations, réunions d'échange. [2]

Les méthodes utilisées dans cette action sont :

- Assurer la prise en main par les gestionnaires et exploitants :

Si la tâche de suivi est externalisée et que la personne désignée ne fait pas partie de la gestion de projet, la communication avec la maîtrise d'œuvre doit commencer avant la réception du bâtiment. Afin de mieux comprendre le système d'instrumentation installé et ses fonctions ; l'exploitant ou bien le personnel chargé du suivi des performances doivent être présent aux opérations préalables à la réception et avoir une formation sur l'instrumentation mise en place. Quel que soit le système d'instrumentation utilisé, les installateurs d'équipements doivent programmer une formation en présence de la maîtrise d'œuvre, de la maîtrise d'ouvrage, des opérateurs et du personnel chargé du suivi afin de mieux présenter les interfaces qui permettent le contrôle des consommations, le chauffage, le refroidissement, la ventilation, l'éclairage et d'autres paramètres de contrôle. [2]

La maîtrise d'œuvre ne doit pas manquer l'occasion de fournir aux pilotes de suivi énergétique un tableau de bord de suivi avec les principaux indicateurs qu'ils doivent

vérifier dans le cadre de leurs travaux, l'utilisation des différents types d'énergie et d'eau, et la facilité d'utilisation.

La documentation qui peut être utilisée pour la prise en main par les exploitants et gestionnaires :

- DEM ou DUEM : Dossier d'Exploitation Maintenance ou Dossier d'Utilisation, Exploitation et Maintenance. Ce dossier devrait être généré par le maître d'œuvre à partir des fichiers des ouvrages exécutés et des paramètres de fonctionnement et d'exploitation déterminés par le maître d'ouvrage et les occupants. [2]
- Livret gestionnaire - Carnet de suivi : A défaut de dossier d'exploitation maintenance, un document plus court sous forme de « livret gestionnaire » ou de « feuille de suivi » pourra être délivré. Ce document peut inclure une brève description de l'équipement installé, son emplacement, les tâches de service/maintenance à effectuer à cette fréquence, les paramètres de fonctionnement sélectionnés et un tableau de bord des performances.
- Affichage en chaufferie : pour faciliter la participation de l'exploitant dans le suivi des performances, il peut être envisagé d'afficher en chaufferie :
 - ✓ un plan de repérage des compteurs associé à un tableau de relevé ;
 - ✓ un tableau de consommations et productions prévisionnelles d'énergie.

V.4.5. Associer l'exploitant au suivi des consommations :

- Par des accords d'exploitation d'intéressement à la consommation ;
- Par des moyens de communication spécifiques avec l'exploitant ;
- Par un relevé de compteurs par l'exploitant. [2]

La méthode utilisée dans cette action c'est le contrat à intéressement.

- Le contrat à intéressement : Le contrat à intéressement est un outil très important qui engage les opérateurs à surveiller la performance énergétique d'un bâtiment. L'intéressement comprend principalement les postes de chauffage et d'eau chaude, mais peut également inclure la ventilation ou le refroidissement.

V.5. Phase Exploitation :

Le suivi des performances dans le temps nécessite une bonne organisation pour identifier clairement les responsables du suivi, quantifier et évaluer leur travail.

V.5.1. Définir un organigramme des acteurs du suivi et valider le rôle de chacun :

- Définir les acteurs du suivi ;
- Attribuer un rôle pour chacun des acteurs.

V.5.2. Associer les occupants à la performance énergétique dès la réception et tout au long du suivi :

- Informations sur les équipements disponibles, la consommation estimée et les actions mises en place ;
- Écoute des doléances : réunions, enquêtes auprès des occupants.

La méthode utilisée dans cette action :

- Associer les occupants au suivi de la performance Outil : l'association des occupants au suivi des performances est un élément-clé de la réussite, la stratégie pour impliquer les occupants doit être en amont du projet et elle comporte plusieurs niveaux :
 - 1^{er} Niveau : l'information sur les équipements utilisés ainsi que les consommations du bâtiment.
 - 2^{ème} Niveau : la collecte des retours d'usage.
 - 3^{ème} Niveau : la participation au suivi des performances et à la mise en place d'actions correctives.

V.5.3. Mettre en place un << comité de suivi des performances >> :

- Présenter les résultats lors de réunions semestrielles ou annuelles, signaler les éventuelles difficultés rencontrées et mettre en place les actions correctives ;
- Représentation obligatoire des occupants et des exploitants.

V.5.4. Analyser les données :

- Relever les comptages, les températures, collecter les factures et vérifier la cohérence ;
- Comparer la valeur de l'indicateur sélectionné avec la valeur prédite. [2]

V.5.5. Mettre en place une démarche d'amélioration continue :

Les actions correctives sont basées sur une analyse croisée :

- Du comportement général du bâtiment ;
- Des consommations énergétiques ;
- Des coûts énergétiques et d'entretien-maintenance ;
- Des relevés de température ;
- Des retours faits par les occupants ;
- Des retours faits par l'exploitant. [2]

V.5.6. Produire des rapports de performance :

- Au moins une fois tous les 6 mois pour un suivi efficace avec action corrective.

La méthode utilisée dans cette action est :

- Contenu d'un rapport de performance : Un rapport semestriel peut être créé pour valoriser le suivi des opérations et des résultats.

Le rapport contient :

- Les caractéristiques du bâtiment ;
- Le tableau de bord de suivi des performances ;
- Un bilan de charges énergétiques ;
- Les relevés de température ainsi que les autres mesures sur les confort ;
- La synthèse des actions menées depuis la livraison.

V.5.7. Assurer la maintenance de l'instrumentation :

- Puisque les compteurs ont une durée de vie limitée, ils doivent être entretenus et remplacés de la même manière que les autres équipements techniques pour éviter la perte de données de suivi ;
- installer régulièrement des outils de sauvegarde et de surveillance des données.

V.5.8. Assurer la continuité dans le temps :

- Assurer une transition entre le pilote et le gestionnaire et l'occupant ;
- Assurer un nouveau gestionnaire ou nouvel exploitant et transfert de la prestation de suivi des performances ;
- Obliger le gestionnaire ou l'exploitant sortant à renseigner exhaustivement le carnet de suivi sur les événements survenus et modifications apportées aux réglages avec leur justification. [2]

VI. Les points clés d'un suivi réussi :

VI.1. Programmation :

La phase programmation est le point de départ d'un projet ; c'est la phase préliminaire pour établir les exigences fonctionnelles, identifier les surfaces utiles, analyse des contraintes, spécification des objectifs et de méthodologie, c'est durant cette phase que l'on fixe le calendrier prévisionnel et estimer le budget de financement.

Une fois que l'étude de faisabilité est faite on passe à la phase programme afin d'approfondir les objectifs à atteindre ainsi que le budget et détaillé la programmation technique du projet.
[13]

VI.2. Avant-Projet :

- Détermination des conditions de consommation et de confort.
- Créer un tableau de bord de consommation associée à des plans de mesures.
- Confirmer auprès des gestionnaires, exploitants et occupants que les outils de suivi énergétique prévus répondent à leurs besoins et que leur utilisation est durable.

VI.3. Dossier de Consultation des Entreprises :

Décrire précisément l'instrumentation à installer, emplacement dans le bâtiment, les révisions à effectuer à la réception, formation/instructions à fournir par l'installateur.

VI.4. Réalisation :

- Mettre en place tout ce qui est nécessaire pour réaliser l'opération ;
- organisation et coordination des chantiers (réunions de sécurité, organisation des interfaces entre chantiers, gestion du planning... etc.) ;
- suivi de la planification générale opérationnelle (cahier des charges, contrôle d'accès... etc.).

VI.5. Exploitation :

- Assurer la maintenance de l'instrumentation ;
- Faire une analyse régulière des consommations ;
- Associer les occupants et exploitants au suivi de la performance. [2]

VI.6. Rendement :

Le rendement indique la quantité d'unités d'ouvrage qui doit être réalisée en une durée donnée, généralement arrêtée à une heure ou à une journée.

Le temps unitaire (TU) et le rendement (R) sont ainsi inverses l'un de l'autre.

$$R = \frac{1}{TU}$$

Détermination des temps unitaires et des rendements :

Les temps unitaires et les rendements lors de l'étude d'un projet se déterminent par la méthode dite des trois points :

La durée est considérée comme une variable aléatoire.

On ne connaît pas la durée, mais la probabilité des différentes durées.

$$\text{Temps espéré} = \frac{TO + 4TM + TP}{6}$$

Avec:

- TM : temps moyen estimé (travail dans des conditions normales) ;
- TO : temps optimiste (conditions idéales, pas d'obstacle, temps minimum pour accomplir la tâche) ;
- TP : temps pessimiste (temps maximum pour accomplir la tâche dans les pires conditions).

VII. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons fait une synthèse sur les enjeux du suivi du bâtiment et les différents éléments de base de l'efficacité énergétique ainsi que la réglementation. Nous avons définis les différents acteurs ainsi que la méthodologie et les points clés du suivi des performances énergétiques des bâtiments.

Dans le chapitre suivant, nous allons aborder l'audit énergétique dans le cadre de la construction énergétique.

CHAPITRE II

I. Introduction :

Un audit énergétique est nécessaire pour élaborer un plan de maîtrise de l'énergie dans le cadre de la transition énergétique d'un bâtiment. Les audits énergétiques varient en complexité et varient selon l'organisation, mais chaque audit comprend généralement :

- Collecte et examen des données ;
- Enquêtes sur les installations et mesures du système ;
- Observation et examen des pratiques d'exploitation ;
- Analyse des données.

Par conséquent, les audits énergétiques visent à déterminer où, quand, pourquoi et comment l'énergie est utilisée pour améliorer l'efficacité, réduire les coûts énergétiques et réduire les émissions de gaz à effet de serre qui contribuent au changement climatique.

Dans cette partie de mémoire, nous définissons les objectifs d'un audit énergétique en détaillant ses différents types et la procédure générale pour la réalisation de cet audit.

II. Objectifs de l'audit énergétique :

Il existe de nombreuses raisons de réaliser un audit énergétique

- Améliorer la performance énergétique et minimiser l'impact environnemental ;
- Identifier les opportunités techniques en évaluant les composantes significatives de l'énergie consommée dans le processus, notamment les chaudières, les groupes frigorifiques, les systèmes de ventilation, les performances du bâtiment ;
- Fournir des informations financières claires sur les opportunités d'économie d'énergie ;
- Participer au processus de certification d'un système formel de gestion de l'énergie, tel qu'ISO 50001.

III. Les différents types d'audit énergétique :

Les moyens affectés à l'audit énergétique de bâtiments vont de simples visites de site avec des suggestions d'amélioration à une analyse détaillée via des simulations horaires avec des implémentations d'instrumentation plus ou moins détaillées. Quelle que soit la structure que peut adopter un service, on peut distinguer quatre types d'audits énergétiques : [14]

III.1.Audit rapide avec visite du site :

Cet audit consiste en une brève visite sur site pour identifier les domaines où des actions simples et peu coûteuses qui peuvent réduire immédiatement les coûts d'exploitation et la consommation d'énergie. En plus des avenants au contrat, Les préconisations portent principalement sur l'abaissement de la consigne de température de chauffage, la recherche des infiltrations, l'isolation des canalisations et le réglage du mélange air-combustible dans la chaudière. [14]

III.2.Analyse des coûts énergétiques :

L'objectif principal de ce type d'audit est une analyse approfondie des coûts d'exploitation de l'installation. En règle générale, plusieurs années de données de consommation d'énergie sont évaluées pour identifier les modèles de consommation d'énergie, y compris les pics de puissance. Pour effectuer cette analyse, les auditeurs sont encouragés à effectuer une enquête sur site pour se familiariser avec l'installation et le système de gestion de l'énergie. Cela suppose de :

- Vérifier les factures d'énergie et s'assurer qu'aucune erreur n'a été commise ;
- Déterminer les charges dominantes ;
- Mesures d'économie de la demande de pointe ;
- Vérifier si des combustibles alternatifs rentables peuvent être utiles.

III.3.Audit énergétique standard :

En plus des prestations précédentes, les audits énergétiques standards incluent l'établissement de références sur la consommation énergétique des installations, qui sont utilisées pour évaluer les économies d'énergie et les coûts. Un audit énergétique standard implique généralement un compteur ponctuel (mesure température instantanée, analyse des fumées, vitesse du vent). [14]

L'audit énergétique standard permet :

- l'analyse complète des systèmes énergétiques ;
- le développement d'une base de référence (de la consommation d'énergie du bâtiment) :
 - Identification des utilisations de l'énergie ;

- Évaluation des économies d'énergie.

Plusieurs méthodes mathématiques sont utilisées tels que :

- Les méthodes des degrés-jours ;
- Les méthodes de régression linéaire ;
- L'analyse simple du retour sur investissement. [15]

III.4. Audit énergétique détaillé :

Un audit complet fournit un plan détaillé de mise en œuvre d'un projet énergétique pour une installation, puisqu'il évalue tous les principaux systèmes consommateurs d'énergie. Ce type d'audit offre l'estimation la plus précise des économies d'énergie et des coûts. Il prend en compte les effets interactifs de tous les projets, tient compte de l'utilisation de l'énergie de tous les principaux équipements, et comprend des calculs détaillés des économies d'énergie et du coût du projet. Dans un audit détaillé, l'un des éléments clés est le bilan énergétique. Celui-ci est basé sur un inventaire des systèmes consommateurs d'énergie, des hypothèses sur les conditions de fonctionnement actuelles et des calculs de la consommation d'énergie.

IV. Procédure générale d'un audit énergétique détaillé :

Un audit énergétique détaillé est réalisé en trois étapes :

IV.1. Phase I :Pré-audit :

- Étape 1 : Visite préliminaire rapide :

La visite initiale du site peut durer une journée et permet à l'auditeur/ingénieur énergétique de rencontrer le personnel concerné, de se familiariser avec le site et d'évaluer les procédures nécessaires à la réalisation de l'audit énergétique.

Au cours de la visite initiale du site, l'auditeur/ingénieur énergétique doit effectuer les actions suivantes :

- Discuter avec le responsable du site des objectifs de l'audit énergétique ;
- Discuter des directives économiques associées aux recommandations de l'audit ;
- Analyser les principales données de consommation d'énergie avec le personnel concerné ;

- Obtenir les plans du site lorsqu'ils sont disponibles - plan du bâtiment, distribution de la vapeur, distribution de l'air comprimé, distribution de l'électricité, etc.

Les principaux objectifs de cette étape sont :

- Finaliser l'équipe d'audit énergétique ;
- Identifier les instruments existants et les compteurs supplémentaires nécessaires ;
- Décider si des compteurs doivent être installés avant l'audit ;
- Identifier l'instrumentation nécessaire à la réalisation de l'audit ;
- Planifier avec un calendrier ;
- Collecter des données macro sur les ressources énergétiques, les principaux centres de consommation d'énergie ;
- Sensibiliser par des réunions/programmes. [16]

- Etape 2 : Analyses des données préliminaires :

Les objectifs de cette étape sont :

- Déterminer le profil énergétique historique ;
- Déterminer le type de combustible qui a le plus d'impact sur la consommation d'énergie ;
- Identifier les pics de consommation par type de combustible ;
- Évaluer si l'installation est pénalisée en raison d'un mauvais facteur de puissance ou d'une mauvaise sélection de puissance ;
- Voir si le carburant peut être remplacé par un carburant moins cher ;
- Analyser l'influence de la production ou de climat sur la consommation énergétique. [17]

- Etape 3 : Planning d'intervention :

La visite réalisée par le responsable du bureau d'études permet de préparer un planning des tâches restantes, à savoir :

- Planifier et organiser l'équipe choisie pour commencer l'audit énergétique ;
- Appareils de mesures (types, quantités, étalonnage,...) ;
- Prévoir des équipements de sécurité pour les auditeurs. [17]

IV.2. Phase II : Phase d'audit :

- Etape 1 : Réunion de démarrage :

L'objectif de la réunion de démarrage est d'établir le contexte de l'audit énergétique ; de confirmer son champ d'application, d'impliquer tout le personnel concerné de l'organisation dans le processus d'audit et de demander des informations spécifiques sur l'énergie. Ces informations doivent permettre d'évaluer de l'utilisation actuelle de l'énergie et du système de gestion de l'énergie de l'organisation cliente.

- Etape 2 : Diagnostics et mesures par appareils sophistiqués :

a. Mesure de l'éclairage : luxmètre

Un luxmètre (Figure II.1) est un appareil utilisé pour mesurer les niveaux de lumière d'une pièce (chambre, salon, cuisine....etc.).



Figure II.1: Luxmètre.[17]

b. Mesures de températures :

b.1. Le thermomètre à thermocouple :

Le thermomètre à thermocouple (Figure II.2) utilisé doit être soigneusement adapté à l'application et placé correctement afin :

- De mesurer la température de l'ambiance ;
- D'enregistrer la température ;
- De mesurer la température d'une paroi, d'un ballon d'eau chaude mal isolé ;
- De mesurer la température des fumées d'une chaudière. [17]



Figure II.2: Le thermomètre a thermocouple.[17]

b.2. Caméra infrarouge :

Une caméra infrarouge (également connue sous le nom de caméra thermique) détecte et mesure l'énergie infrarouge des objets. La caméra convertit ces données infrarouges en une image électronique qui montre la température de surface apparente de l'objet mesuré (Figure II.3). [18]

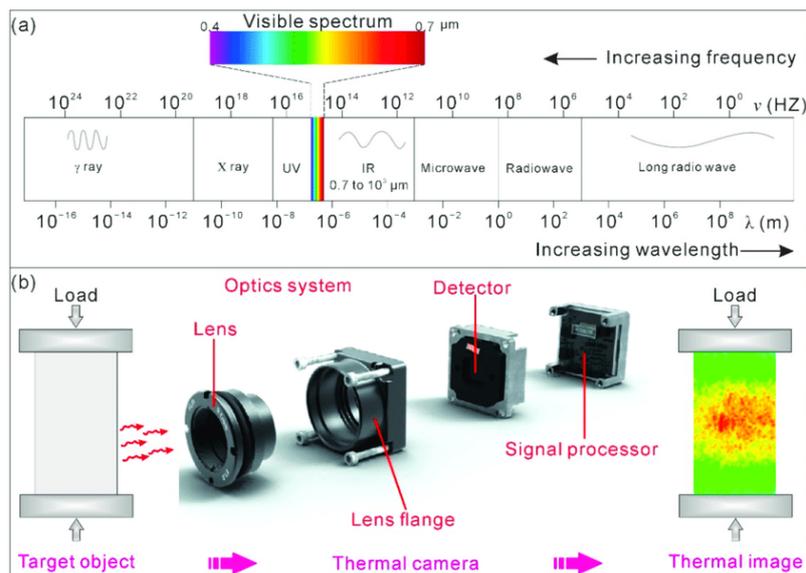


Figure II.3: Principe de fonctionnement.[18]

- Principe de fonctionnement :
 - Tout corps dont la température dépasse le zéro absolu (0 Kelvin) émettent un rayonnement électromagnétique ;
 - Lorsque la température augmente, l'agitation augmente et le rayonnement émis devient visible lorsque sa longueur d'onde correspond à la couleur rouge (1µm).

- A des niveaux de température typiques sur Terre (environ -50°C à 2000°C), les ondes naturellement émises par un matériau se situent dans une gamme appelée infrarouge thermique (Figure II.4). [17]

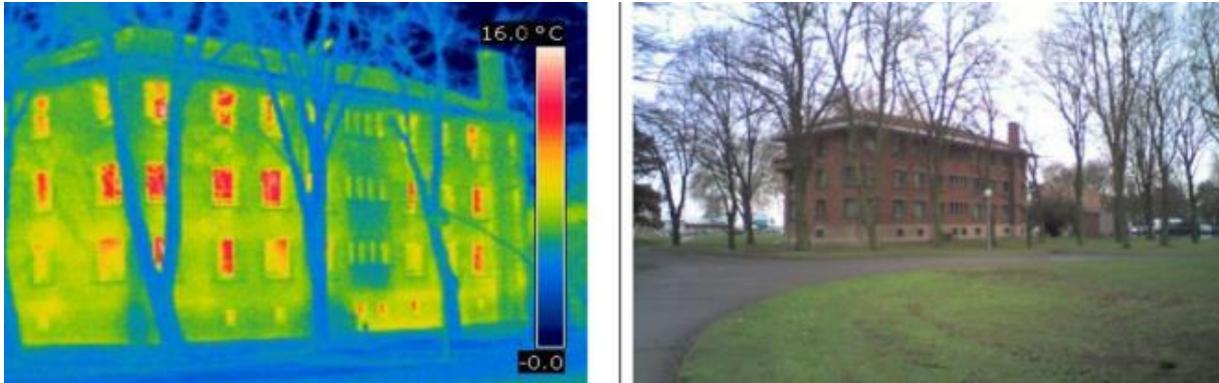


Figure II.4: Une caméra infrarouge sur une Enveloppe d'un bâtiment.[17]

c. Mesures électriques :

c.1. Pince multimètre :

Une pince multimètre (Figure II.5) est un appareil utilisé pour :

- Mesurer le courant de manière efficace, pratique et sûre sans utiliser de cordons de test est connu sous le nom de pince-mètre ; [19]
- Mesurer les puissances instantanées et de faire un bilan de puissance des départs ;
- Mesurer la puissance à vide et en charge d'un compresseur d'air comprimé ;
- Mesure la puissance fournie d'une batterie de condensateur fixe et de la comparée la valeur obtenue à sa valeur nominale, pour s'assurer de son fonctionnement ...etc. [17]

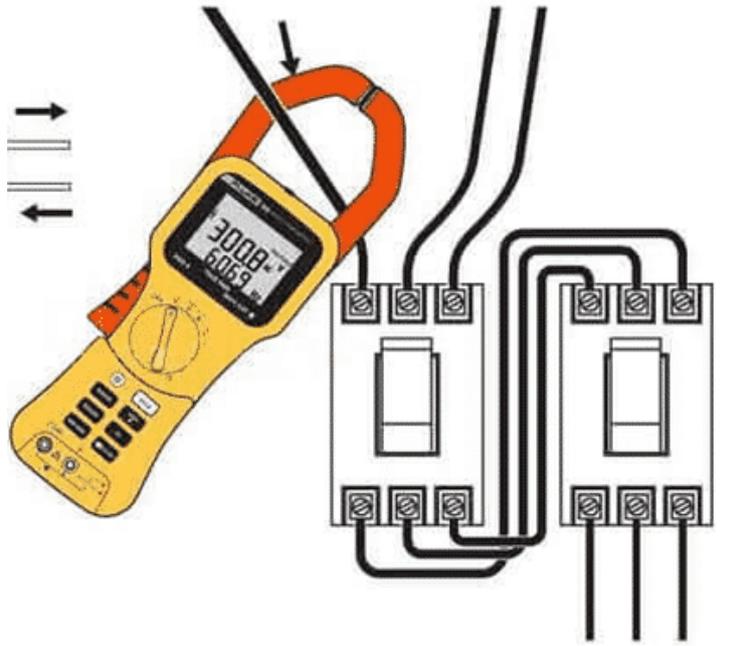


Figure II.5: Une pince multimètre. [19]

d. Analyseur de combustion :

Un analyseur de combustion (Figure II.6) est un appareil électronique portable utilisé pour mesurer l'efficacité de combustion des chaudières, des fours, etc. [17]



Figure II.6: Analyseur de combustion. [20]

L'analyseur possède un écran et une imprimante qui donne les résultats suivants :

- CO₂: pourcentage en volume ;
- O₂: pourcentage en volume ;
- CO: parts par million, ppm ;

- Excès d'air : en pourcentage ;
- Rendement de la combustion : en pourcentage.

e. Détecteurs de fuites à ultrasons :

Un détecteur de fuites à ultrasons (Figure II.7) est un instrument utilisé pour déterminer les fuites d'air par ultrasons.



Figure II.7: Détecteur de fuites à ultrasons. [21]

Il Détecte les fuites dans les systèmes de :

- Réfrigération et de climatisation/ chauffage ;
- Purgeurs de vapeur ;
- Les systèmes d'air comprimé ;
- Autour des portes et fenêtres et joints ;
- fuites d'eau dans les toits.

IV.3. Phase III : Rapport d'audit et le suivi :

- Etape 1 : Rapport d'audit énergétique :

Un rapport d'audit énergétique doit contenir :

Introduction : Description d'état des lieux :

- Une description du bâtiment et une évaluation de ses caractéristiques architecturales, urbaines, et paysagères ainsi que de ses qualités d'usages ;
- Une brève description des principes de construction et, le cas échéant, des désordres évidents ;

- Caractéristiques du bâtiment (données météorologiques locales, composition du site, zones climatiques et utilisations du bâtiment) en fonction des facteurs climatiques à l'extérieur et à l'intérieur du bâtiment ;
 - Inspection du site et description détaillée des bâtiments et des installations (état des bâtiments et des installations, planification des réseaux d'adduction d'eau) ;
 - Un contrôle du fonctionnement des installations avec des outils d'investigations appropriés (débit de ventilation, température de consigne, mesure de l'humidité ambiante, mesure de la combustion, éclairage moyen, etc.) ;
 - Un examen des modes de gestion des énergies (tarification, nature et durée des contrats).
- [22]

Bilan énergétique :

- L'évaluation est basée sur les conditions d'emploi et les conditions d'exploitation du bâtiment, la qualité de l'enveloppe du bâtiment, la qualité et le fonctionnement de la régénération de l'air, des installations thermiques et autres équipements consommateurs d'énergie ;
- Etablir Un bilan énergétique global du site pour tous les usages principaux (consommation pour le chauffage et le refroidissement, consommation pour d'autres usages thermiques (pour l'eau chaude), pour l'utilisation normale de l'électricité (pour l'éclairage et les appareils auxiliaires) ; et consommation d'énergie pour d'autres usages spécifiques ;
- Une énumération des améliorations possibles, y compris les actions correctives qui procurent des avantages immédiats (programmation des équipements de chauffage, modification des contrats de maintenance et d'exploitation, optimisation des prix de l'énergie, remplacement des ampoules, maintien de la température de consigne) et nécessitent des investissements isolation des murs et des planchers, remplacement des menuiseries, gestion d'équipements - également centralisée, remplacement d'équipements, remplacement d'énergie, etc.) ;
- Analyse générale des impacts énergétiques et environnementaux des recommandations.

Programmes d'améliorations :

- Action corrective (température de chauffage et de climatisation, changement de contrat d'exploitation, modification d'un composant et de la période de programmation de la minuterie, etc.) qui est liée aux conditions d'utilisation et à un meilleur fonctionnement du bâtiment ;

- Travaux techniquement envisageables sur le bâtiment, les installations thermiques et autres équipements ou usages particuliers, en tenant compte des interactions entre les améliorations proposées (par exemple : équilibrage et rééquilibrage des régulations pour les travaux d'isolation des murs).

Conclusion : résumé des recommandations :

- Action à court terme : Maintenance :
 - Entretien : chaudières, échangeurs ... etc. ;
 - Pertes d'énergie : fuites de vapeur, isolation thermique... etc. ;
 - Électricité.
- Action à moyen et à long terme : Réseau de distribution et d'utilisation de la chaleur :
 - Achat et remplacement des équipements par d'autre de haute rendement ;
 - Contrôle automatique et optimisé des unités de production et d'utilisation ;
 - Récupération de chaleur ;
 - Changement du principe de fabrication.

Etape 2 : Présentation du rapport d'audit :

La présentation du rapport d'audit se fait sous forme de réunion ; qui a pour but d'organiser un échange entre l'auditeur et le responsable de l'établissement sur la mise en œuvre du plan d'action proposé. [17]

Etape 3 : Réalisation du plan d'actions et accompagnement :

Après avoir terminé toutes les étapes précédentes, les responsables de l'établissement doivent commencer à mettre en œuvre le projet pour améliorer l'efficacité énergétique qu'ils jugent bénéfique et rentable et de valider l'économie d'énergie estimée dans le rapport de l'audit pour chaque action retenue. [17]

V. Qualités impératives :

Cette étude préalable repose sur la considération des caractéristiques architecturales et de conception, la considération de la qualité d'usage, la rigueur des raisonnements et des calculs, la rigueur des analyses et des propositions, prise en compte ou considérations commerciales, c'est-à-dire des caractéristiques de la marque ou de l'énergie des équipements.

V.1. Qualités des méthodes de calcul :

Ces méthodes et outils doivent avoir :

- De la clarté et de la précision : il est essentiel de fournir des références de méthode, des détails sur les étapes et des hypothèses de calcul ;
- De la Cohérence et l'adaptation : Il est vain de traiter tel point et tel point en détail, et en même temps utiliser des éléments forfaitisés par ailleurs ;
- Des grandeurs physiques : utiliser des coefficients et des ratios qui peuvent constituer des points de repère utiles ;
- La rigueur et la souplesse nécessaires pour permettre d'effectuer une comparaison des consommations dites réelles, avec les consommations calculées et pour la simulation des combinaisons d'améliorations possibles ;
- De l'automatisation : sans être impératif, le traitement informatique des données recueillies est plus fiable, plus rapide et plus souple. [22]

V.2. Qualités du diagnostiqueur :

Les meilleures méthodes et outils ne sont rien sans le discernement du diagnostiqueur qui doit avoir :

- Une bonne connaissance technique et pratique des bâtiments existants et de leurs équipements techniques, notamment énergétiques ;
- Capacité à faire des suggestions d'amélioration en temps opportun, discuter des mécanismes de financement et prendre des décisions administratives, esprit critique et imagination suffisante ;
- Un bon contact humain nécessite de la psychologie pour éviter les conflits avec l'interlocuteur car les données à collecter sont à la fois qualitatives et quantitatives ;
- une rigoureuse indépendance de considération commerciale est indispensable. [22]

VI. Suivi et compatibilité énergétique :

En plus du programme de travail convenu, l'audit est tenu de proposer et d'aider à la mise en place de la comptabilité énergétique des bâtiments. Cette comptabilité peut prendre plusieurs formes, depuis de simples tableurs de relevés de compteurs hebdomadaires et mensuels et de

factures jusqu'à des outils informatiques de suivi en temps réel et de gestion technique centralisée.

la mise en œuvre des diagnostics doit fournir un niveau d'efficacité de "zéro", des référentiels énergétiques en fonction de l'état des équipements et des valeurs cibles en fonction des travaux prévus réalisés.

La comptabilité énergétique est donc un instrument destiné à pouvoir enregistrer, analyser, évaluer et relater la consommation en énergie à travers le temps. Afin de la normalisée, la suppression des variations dues au climat en ramenant les consommations à une année climatique normale doit être établie, ce qui nous donne :

$$\text{Consommation normalisée} = \frac{\text{consommation observée} \times \text{Degrès Jours Normalisés}}{\text{Degrès Jours observés}}$$

L'audit énergétique réalisé doit permettre un affichage des consommations et des performances en cohérence avec les éléments du diagnostic de performance énergétique (DPE). [22]

VII. Modalités de réalisation de la prestation d'accompagnement pour la mise en œuvre des préconisations (phase optionnelle) :

La phase d'accompagnement à la mise en œuvre des recommandations ne se substitue pas à d'éventuelles études de faisabilité ou d'ingénierie. Le prestataire de services choisi peut être différent du prestataire qui a effectué l'audit.

Le rôle du prestataire est d'accompagner le maître d'ouvrage dans la mise en œuvre de tout ou partie des préconisations du diagnostic sous forme de journées de concertation.

- La prestation d'accompagnement sera composée de :
 - La validation avec le maître d'ouvrage de la ou des préconisations à accompagner, voire d'actions nouvelles ;

- La définition d'un plan de travail sur la période d'accompagnement choisie et les modalités de l'accompagnement. [22]

VIII. Conclusion :

Un audit énergétique est une inspection et une analyse systématiques de l'utilisation et de la consommation d'énergie d'un bâtiment, dans le but d'identifier les flux d'énergie et le potentiel d'amélioration de l'efficacité énergétique. Dans ce chapitre on a définis le but d'un audit énergétique pendant le suivi des performances énergétique du bâtiment. Ainsi que l'importance et l'utilité d'un rapport d'audit énergétique. Et les éléments de mesures utilisés durant le suivi. Grace à cet effort de synthèse et analyse en se basant sur la lecture d'une bibliographie importante, nous avons réussis à concrétiser ce rapport sur l'audit énergétique qui servira à la suite les experts, les utilisateurs à ce référencier pour développer leurs recherches et travaux. Dans le chapitre suivant, nous parlerons de l'évaluation et l'amélioration de l'analyse énergétique des bâtiments.

CHAPITRE III

I. Introduction :

Introduire une amélioration de l'efficacité énergétique dans les bâtiments résidentiels permet d'entretenir la consommation d'énergie minimale sans compromettre la fonction du bâtiment afin de réduire les gaz à effet de serre et d'assurer le confort pour les occupants.

Les principaux domaines de consommation d'énergie dans les bâtiments sont le chauffage, la ventilation, et climatisation ; l'éclairage ; les appareils ménagers (chauffage de l'eau, réfrigérateurs et congélateurs, séchoirs). Dans chaque cas, il existe des possibilités à la fois d'améliorer les performances des composants du système et d'améliorer la façon dont le système est utilisé. Dans ce chapitre, les performances pour améliorer l'efficacité énergétique par rapport aux équipements et actions qui peuvent réduire les pertes de charge ou bien la rationalisation d'utilisation de l'énergie seront discutées et analysés

II. Évaluation et amélioration de l'analyse énergétique des bâtiments résidentiels :

Les principales possibilités d'évaluation et d'amélioration de l'efficacité énergétique dans les bâtiments sont les suivantes :

II.1. Confort thermique et qualité de l'air :

Offrir un environnement intérieur confortable et sain est l'une des fonctions essentielles des systèmes énergétiques des bâtiments. Pour assurer ce confort, il faut environ un tiers de la consommation totale d'énergie des bâtiments. Les nouvelles technologies de chauffage, de refroidissement et de ventilation permettent non seulement de réaliser d'importants gains d'efficacité, mais aussi d'améliorer la façon dont les systèmes de construction répondent aux besoins et aux préférences des occupants en offrant un meilleur contrôle, en réduisant les variations de température indésirables et en améliorant la qualité de l'air intérieur. Les possibilités d'amélioration se répartissent dans les catégories de base suivantes :

- Une bonne conception des bâtiments ;
- Amélioration de l'enveloppe du bâtiment, y compris les toits, les murs et les fenêtres ;
- Des équipements améliorés pour chauffer et refroidir l'air et éliminer l'humidité ;
- le stockage de l'énergie thermique, qui peut faire partie de la structure du bâtiment ou constituer un équipement séparé ;

- Amélioration des capteurs, des systèmes de contrôle et des algorithmes de contrôle pour optimiser les performances du système.

La conception du bâtiment et le choix de l'équipement dépendent du climat dans lequel le bâtiment fonctionne.

II.1.1. Enveloppe du bâtiment :

Les murs, les fondations, le toit et les fenêtres d'un bâtiment relient l'environnement extérieur à l'environnement intérieur de manière complexe ; Les propriétés isolantes de l'enveloppe du bâtiment et la qualité de la construction déterminent la façon dont la chaleur et l'humidité entrent ou sortent du bâtiment (Tableau III.1). La couleur de l'enveloppe du bâtiment et d'autres propriétés optiques détermine la manière dont l'énergie solaire est réfléchi et dont l'énergie thermique (chaleur) est rayonnée par le bâtiment. Les fenêtres font entrer la lumière et l'énergie du soleil dans le bâtiment. Environ 50 % de de la charge de chauffage dans les bâtiments résidentiels résulte des flux à travers les murs, les fondations et le toit.

Tableau III.1 : Flux d'énergie dans l'enveloppe du bâtiment. [23]

Élément de construction	Chauffage	Refroidissement
Toits	1.00	0.49
Murs	1.54	0.34
Fondation	1.17	-0.22
Infiltration	2.26	0.59
Fenêtres (conduction)	2.06	0.03
Fenêtres (gain de chaleur solaire)	-0.66	1.14

➤ Les fenêtres :

La qualité d'une fenêtre est mesurée par sa valeur d'isolation et sa transparence à la lumière visible et infrarouge du soleil.

Une fenêtre idéale offrirait des niveaux d'éclairage attrayants sans éblouissement, des niveaux élevés d'isolation thermique, et permettrait à la lumière infrarouge de pénétrer lorsqu'elle est utile pour le chauffage, mais la bloquerait lorsqu'elle ajouterait aux charges de refroidissement comme le montre la figure III.1.Elle bloquerait également le rayonnement ultraviolet (lumière noir) qui peut endommager la peau et les matériaux. [24]

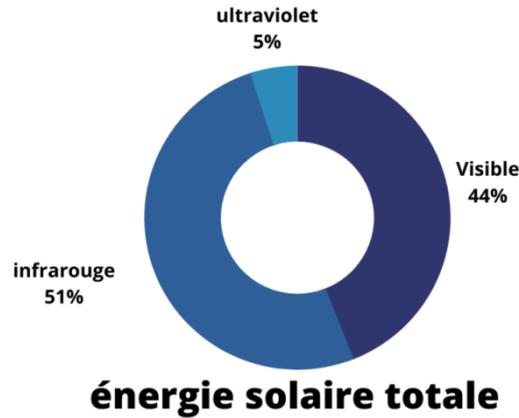


Figure III.1 : Distribution de l'énergie de la lumière solaire.

Les fenêtres doivent également être des éléments efficaces des systèmes de contrôle du climat et d'éclairage du bâtiment. Sans un contrôle actif des propriétés optiques, les exigences statiques des fenêtres dépendront du climat, de l'orientation et de l'utilisation de l'espace intérieur. Si les charges de refroidissement dominant, les fenêtres qui bloquent la partie invisible (c'est-à-dire l'infrarouge) du spectre solaire sont souhaitables.

- Les différents types de fenêtres :

Selon la contribution à la stabilité structurelle de l'enveloppe du bâtiment, plusieurs types courants de fenêtres et de cadres sont brièvement décrits (Figure III.2) ; Ces cadres sont en aluminium, en aluminium avec coupures thermiques, en bois, en vêtu bois, en vinyle, en vinyle isolant, en matériaux composites, en fibre de verre et en hybride / double hybride ; Ces différents cadres confèrent à la fenêtre des propriétés différentes d'absorption de la lumière solaire.



Figure III.2: Les différents modèles de fenêtres. [25]

Des progrès considérables ont été réalisés dans la technologie des fenêtres ; Les innovations comprennent les revêtements de verre qui réduisent l'absorption et la réémission de la lumière infrarouge, les améliorations de la conductivité thermique (par exemple, les vitres multiples, le remplissage des espaces entre les vitres à l'aide des gaz d'argon, de krypton ou de xénon, et conception améliorée du cadre) et l'utilisation de verre à faible teneur en fer pour améliorer la clarté visible. [24]

L'isolation est évaluée de deux façons, la valeur R et la valeur U. La valeur R est un calcul qui mesure le flux de chaleur à travers un produit isolant, ou sa résistance à la chaleur. La valeur U est un calcul qui mesure la quantité de chaleur qui s'échappe du matériau isolant. Si le matériau isolant a une valeur R élevée et une valeur U faible, c'est un meilleur isolant. [26]

➤ Construction des murs, des toits et des fondations :

Les murs, les toits et les fondations des bâtiments contrôlent également les flux de chaleur, d'humidité et d'air. Leur tonalité, qui plus est, d'autres propriétés optiques influencent la façon dont la chaleur est consommée et comment la structure transmet à nouveau la chaleur dans l'air, cependant, ils devraient le faire de manière à respecter les directives élégantes et à servir des capacités telles que la sécurité de la structure et l'imperméabilité au feu. Les matériaux idéaux sont minces, légers et faciles à installer, et offrent la possibilité d'ajuster leur résistance aux flux de chaleur et d'humidité. Les matériaux légers offrant des degrés de protection indéniables sont importants pour toutes les applications de structure, mais sont particulièrement importants pour les rénovations, car l'espace pour une protection supplémentaire est régulièrement restreint. [27]

De nouveaux matériaux de toiture sont accessibles qui aident à réduire les charges de refroidissement dans les structures, à prolonger l'avenir des matériaux de toiture et à réduire l'impact « îlot de chaleur » dans lequel les structures et autres fausses surfaces réchauffées par le soleil incrémentent la température englobant des communautés urbaines. Il a été démontré qu'il est difficile de trouver des matériaux qui peuvent à la fois refléter l'énergie du soleil et émettre de la chaleur pendant la journée (au moment où le refroidissement radiatif serait généralement important).

Récemment un matériau composé de sept couches d'oxyde d'hafnium et de dioxyde de silicium a été testé qui réfléchit 97% de l'énergie des ondes courtes du soleil tout en émettant de la chaleur infrarouge à un taux si élevé que le matériau était de 5 ° C en dessous englobant

des températures, même en plein jour. Il accomplit cela en ayant des débits de sortie élevés dans la mince portée de l'infrarouge où l'environnement est simple à infrarouge (entre huit et treize micromètres). [27]

II.1.2. Ventilation et qualité de l'air :

Une ventilation inadéquate peut rendre une pièce étouffante et inconfortable. L'exposition aux polluants intérieurs tels que les moisissures, le radon, la fumée secondaire, les produits en bois pressé (qui peuvent contenir du formaldéhyde), et d'autres matériaux peuvent avoir des effets sur la santé, notamment l'asthme et le cancer du poumon. Les accumulations d'humidité peuvent également entraîner des dommages structurels au bâtiment. [28]

Afin d'éviter ces problèmes et offrir un confort total pour les occupants et améliorer l'efficacité énergétique il faut minimiser les sources polluants dans le bâtiment en améliorant la conception et l'exploitation du bâtiment, ainsi que par des systèmes permettant d'introduire de l'air extérieur filtré et d'évacuer l'air intérieur contaminé ; L'air frais peut s'infiltrer dans le bâtiment de manière non intentionnelle par des fuites ou par une ventilation contrôlée.

Il existe de nombreuses façons de réduire les pertes d'énergie dans les systèmes de ventilation, dont les suivantes :

- Réduire les fuites dans les enveloppes et les conduits des bâtiments : La réduction des fuites d'air consiste à détecter et à sceller d'une façon systématique le plus de fuites d'air possible en posant des coupe-bise, des produits de calfeutrage, des joints d'étanchéité et du ruban adhésif. [29]
- Utiliser la ventilation naturelle lorsque cela est possible : Dans certains climats et à certaines périodes de l'année, la ventilation naturelle peut être utilisée pour introduire de l'air frais en utilisant la circulation naturelle ou des ventilateurs ; une bonne conception du bâtiment, une orientation soigneusement choisie, des fenêtres qui s'ouvrent et des événements de faîtage sont quelques-unes des nombreuses stratégies qui peuvent être utilisées. [24]
- Utiliser des dispositifs d'échange de chaleur et d'humidité : Des économies d'énergie encore plus importantes peuvent être réalisées en utilisant d'échangeurs de chaleur qui permettent à l'air froid entrant d'être chauffé par l'air chaud du bâtiment qui est évacué (ou l'inverse si le bâtiment est refroidi).

Les systèmes avancés peuvent également échanger de l'humidité (c'est-à-dire des échangeurs d'enthalpie). Ces systèmes sont abordés dans la section consacrée aux pompes à chaleur.

II.1.3. Élimination de l'humidité :

Une enveloppe de bâtiment et des fondations bien conçues peuvent réduire considérablement l'infiltration d'humidité, mais l'humidité résiduelle associée à l'humidité générée par les personnes et le fonctionnement du bâtiment, continuera à faire de l'élimination de l'humidité une priorité dans les systèmes énergétiques des bâtiments. Un certain nombre de nouvelles approches ne nécessitent pas de pompes à chaleur et pourraient permettre d'importants gains d'efficacité. Les technologies membranaires laissent passer la vapeur d'eau mais bloquent le passage de l'air sec ou peuvent être utilisées pour séparer l'humidité de l'air en utilisant uniquement la différence de pression de vapeur, en faisant passer l'énergie thermique de l'air sortant à l'air entrant ; Ces systèmes peuvent également créer un vide d'un côté de la membrane (Figure III.3), puis comprimer et évacuer la vapeur d'eau retirée. Ces systèmes peuvent être combinés avec des étages de refroidissement par évaporation pour assurer à la fois la déshumidification et la réfrigération. [24]



Figure III.3: Membrane pare-air. [30]

Un système pare-air consiste en une membrane en feuille ou appliquée par pulvérisation. Il est conçu pour réguler la circulation non désirée de l'air vers l'intérieur et l'extérieur de l'enveloppe du bâtiment. [30]

II.2. L'éclairage :

La qualité de l'éclairage joue un rôle essentiel dans l'attrait et la sécurité des espaces intérieurs et extérieurs. Des systèmes d'éclairage bien conçus peuvent améliorer la productivité, tandis que l'éblouissement et d'autres caractéristiques d'éclairage brutal peuvent la réduire. [31]

Les stratégies clés pour améliorer l'efficacité et la qualité de l'éclairage sont une bonne conception des bâtiments et de l'éclairage, les technologies de fenêtres et de couvre-fenêtres (comme les stores et les diffuseurs), les capteurs et commandes d'éclairage (y compris les détecteurs de présence et les capteurs de lumière), et les dispositifs d'éclairage (LED et autres). Une bonne conception de l'éclairage peut garantir que les niveaux de lumière sont adaptés aux besoins des utilisateurs.

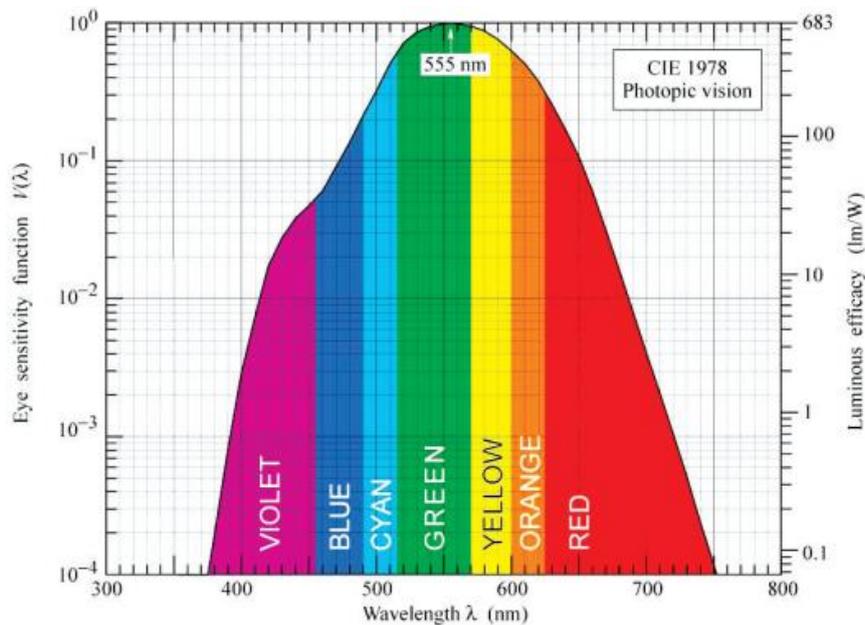


Figure III.4: Efficacité lumineuse spectrale.

La figure III.4 montre qu'un watt d'énergie sous forme de lumière verte produit 683 lm. Cela signifie que la limite absolue de l'efficacité d'un dispositif lumineux est de 683 lm/W. Le blanc, bien sûr, est un mélange de nombreuses couleurs différentes, et sa vision nécessite donc des récepteurs oculaires beaucoup moins efficaces que le pic vert. [24]

II.2.1. Fenêtres, éclairage naturel et commandes d'éclairage :

La lumière du jour fournie par les fenêtres peut apporter une contribution majeure non seulement à l'ambiance des environnements intérieurs mais aussi à la réduction de la demande de lumière artificielle d'un bâtiment.

Du point de vue de l'éclairage, une fenêtre optimale fournirait des niveaux de lumière intéressants tout au long de la journée, tout en évitant, l'éblouissement et une lumière intense désagréable. Elle permettrait à l'utilisateur de contrôler la quantité de lumière du jour visible transmise par la fenêtre, en modifiant éventuellement la direction de la lumière transmise et en ajustant la transmission par couleur. Les fenêtres aux propriétés optiques variables peuvent être construites en utilisant des systèmes mécaniques tels que des stores ou des persiennes réglables. Les vitrages peuvent avoir des propriétés optiques réglables comme les fenêtres thermo-chromiques qui modifient automatiquement la transmissivité en fonction de la température et les fenêtres électrochromes qui changent avec la température. [32]

L'énergie nécessaire pour commander un dispositif actif de fenêtre est généralement faible par rapport à la lumière solaire disponible. Les systèmes de contrôle des fenêtres et de l'éclairage peuvent donc récolter l'énergie nécessaire à leur fonctionnement à partir de la lumière du soleil, ce qui simplifie grandement l'installation.

Les bons systèmes d'éclairage dépendent également de capteurs et de commandes peu coûteux. Il s'agit notamment de détecter l'entrée des personnes dans un espace et la mesure des niveaux de lumière et de couleur des surfaces clés.

II.2.2. Dispositifs d'éclairage :

Bien que de nombreuses technologies d'éclairage soient disponibles sur le marché, la technologie la plus susceptible de dominer l'avenir est la LED ; Il existe deux grandes catégories de LED : les dispositifs à semi-conducteurs cristallins, qui présentent de nombreuses caractéristiques des puces informatiques à base de silicium, et les LED organiques (OLED), qui utilisent des matériaux organiques ayant les caractéristiques des semi-conducteurs.

Trois approches ont été adoptées pour produire une LED à haut rendement et de qualité lumineuse acceptable. Ce sont les suivantes :

- Combinaison de trois ou quatre LED de couleur unique pour produire une approximation acceptable d'une source lumineuse à incandescence. Elles sont choisies pour correspondre aux récepteurs de l'œil rouge, vert et bleu. Des LED ambrées sont parfois ajoutées pour obtenir une meilleure qualité de couleur. L'un des avantages de cette approche est que les différents dispositifs à LED peuvent être gradés séparément, ce qui permet aux utilisateurs de contrôler la couleur ;
- Utilisation de LED bleues à haute efficacité pour éclairer un luminophore, qui rediffuse ensuite la lumière dans une large gamme de couleurs ;
- Les approches hybrides qui utilisent les couleurs des LED avec une efficacité comparativement élevée et produisent du vert ou d'autres couleurs en utilisant un phosphore. [24]

Autres technologies avancées :

Diverses stratégies innovantes ont été proposées pour amener la lumière naturelle dans les espaces intérieurs. Elles incluent les suivantes :

- Des conduits de lumière à réflexion interne qui amènent la lumière des collecteurs de toit dans les espaces intérieurs.
- Les dispositifs photovoltaïques qui sont transparents à la lumière visible mais convertissent les infrarouges et d'autres parties de la lumière solaire en électricité (ces dispositifs peuvent réduire les coûts d'installation des systèmes autoalimentés).
- Des systèmes combinés qui produisent de l'électricité dans des unités PV en toiture et transmettent la lumière visible par des systèmes de fibre optique vers les espaces intérieurs.

II.3. Systèmes électriques :

II.3.1. Principaux appareils consommateurs d'énergie :

Les chauffe-eau, les réfrigérateurs, les sèche-linge et plusieurs d'autres appareils sont de gros consommateurs d'énergie et sont responsables d'environ 18 % de la consommation d'énergie totale des bâtiments. Il existe un grand nombre de technologies conçues pour améliorer la performance énergétique de l'ensemble du bâtiment discutées précédemment qui peuvent également être utilisées pour augmenter l'efficacité de ces appareils. Par exemple, l'efficacité du chauffage de l'eau peut être améliorée grâce à des pompes à chaleur perfectionnées, des

moteurs à vitesse variable peu coûteux, une isolation mince et d'autres conceptions améliorées. [24]

Des gains importants ont été réalisés en matière de performance des réfrigérateurs au cours des dernières décennies. Comme L'amélioration des pompes à chaleur, des cycles thermiques avancés, des échangeurs de chaleur et des matériaux minces et hautement isolants (par exemple, l'isolation sous vide) peuvent permettre des gains de performance importants. D'autres gains sont possibles en utilisant des compresseurs séparés optimisés pour les congélateurs et les réfrigérateurs, ainsi qu'en utilisant des variateurs de vitesse et de nouveaux capteurs et commandes pour refléter les températures ambiantes et réagir aux changements de température.

Les nouveaux sèche-linge actuellement sur le marché utilisent des pompes à chaleur pour faire circuler de l'air chaud sur les vêtements dans un tambour, faire passer l'air sur un échangeur de chaleur refroidi par la pompe à chaleur, condenser l'eau contenue dans l'air, puis réchauffer et recycler l'air. Puisque l'air est recyclé, il n'y a pas besoin de conduit d'air. Ces appareils fonctionnent à des températures plus basses (ils sont donc plus doux pour les vêtements) et réduisent les pics de consommation. Puisque leurs pics de consommation électrique représentent un cinquième de ceux des sèche-linge classiques. Cette technologie est intéressante pour les conceptions qui permettent le lavage et le séchage dans le même appareil à chargement frontal. [33]

II.3.2.Électronique et autres charges énergétiques des bâtiments :

Environ 36 % de la consommation d'énergie des bâtiments est répartie sur un large éventail de systèmes, dont la majorité sont électriques. Il s'agit de divers appareils électroniques tels que les ordinateurs, les téléviseurs, les équipements d'imagerie (par exemple, les imprimantes et les appareils multifonctions), les équipements audio/vidéo autres que les écrans, les appareils de téléphonie et les réseaux, Les appareils de cuisine et les appareils ménagers sont également inclus.

➤ Ordinateurs et autres appareils électroniques :

Les ordinateurs et autres appareils électroniques (téléviseurs, four, etc.) sont de plus en plus nombreux dans les logements et que certains consomment beaucoup d'énergie, L'affichage énergétique de plusieurs catégories d'équipements ménagers prend la forme d'un classement

sur une échelle de A à G ; afin de limiter efficacement leur consommation d'énergie, il faut choisir les appareils selon les classes A+, A++ ou A+++ . [34]

II.4. Système de gestion énergétique :

II.4.1. Capteurs, contrôles et réseaux :

L'éclairage, les fenêtres, les équipements de chauffage, de ventilation et de climatisation, les chauffe-eau et d'autres équipements de bâtiment commencent à être équipés de contrôleurs intelligents et souvent de capacités de communication sans fil. Ces systèmes offrent de nombreuses possibilités d'améliorer l'efficacité des bâtiments, de gérer les charges de pointe et de fournir des services utiles pour contrôler le coût. Ils offrent également de nombreux avantages non énergétiques qui peuvent intéresser davantage les propriétaires et les occupants des bâtiments ; il s'agit notamment de l'amélioration de la sécurité, du contrôle d'accès, de la détection et de la gestion des incendies et autres situations d'urgence, et de l'identification des problèmes de maintenance avant qu'ils ne se transforment en problèmes graves. Les capteurs et les commandes à faible coût permettent également aux individus d'avoir un meilleur contrôle sur les conditions thermiques et d'éclairage et, si nécessaire, sur la qualité de l'air ambiant.

Bien que les sous-systèmes individuels, tels que l'éclairage, nécessitent leur propre contrôle, le bâtiment dans son ensemble fonctionnera plus efficacement si tous les systèmes du bâtiment sont contrôlés dans le cadre d'un système intégré. Des systèmes de contrôle bien conçus peuvent augmenter l'efficacité d'un bâtiment jusqu'à 30 % sans qu'il soit nécessaire de moderniser les appareils existants. [35]



Figure III.5: Les commandes des bâtiments intelligents. [35]

La figure III.5 illustre le large éventail d'acteurs et d'interactions qui caractérise le système intégré de bâtiment et de réseau.

Les systèmes doivent être capables de faire ce qui suit :

- Contrôler les températures, l'humidité et les taux de ventilation des pièces, les fenêtres réglables, les persiennes variables et les lumières à gradation.
- Contrôler les gros appareils - la plupart des appareils sont contrôlés en les éteignant ou en les allumant, mais la nouvelle génération d'appareils permet un réglage plus sophistiqué du fonctionnement.
- Utiliser les prévisions météorologiques pour élaborer des stratégies optimales de préchauffage ou de refroidissement de la structure.
- Détecter et identifier les défaillances des composants et rechercher les signes indiquant que l'équipement est sur le point de tomber en panne.

II.4.2. Conception et exploitation des bâtiments :

Des bâtiments, des systèmes et des stratégies de contrôle bien conçus peuvent améliorer les niveaux de confort, augmenter la fiabilité et réduire les coûts en optimisant l'utilisation des technologies des composants ; Souvent, ces bâtiments à faible consommation d'énergie peuvent être construits avec peu ou pas de frais supplémentaires. Les logiciels avancés qui modélisent les bâtiments en tant que systèmes intégrés fournissent un ensemble d'outils

puissants pour assurer une conception et une gestion efficaces des bâtiments, Ces systèmes peuvent prédire la consommation d'énergie d'un bâtiment à partir d'une description de sa géométrie, de sa construction, de ses systèmes, de son fonctionnement, de son occupation et des conditions météorologiques locales.

La modélisation énergétique de l'ensemble du bâtiment permet aux architectes, aux ingénieurs et aux consultants en énergie de concevoir l'enveloppe, les systèmes et les schémas d'exploitation d'un bâtiment en fonction de son profil d'utilisation prévu. Ainsi que les conditions locales, et de maximiser l'efficacité énergétique ou le rendement et le retour sur investissement tout en respectant des contraintes telles que le coût initial et l'innovations dans le processus de construction lui-même, comme l'utilisation accrue de composants modulaires qui pourraient minimiser les fuites d'air et d'autres problèmes liés à la construction sont à investiguer. [24]

En plus de soutenir la conception au niveau du système, la modélisation énergétique de l'ensemble du bâtiment peut également être utilisée pour maintenir, diagnostiquer et améliorer la performance énergétique du bâtiment pendant son occupation. La comparaison des opérations modélisées au fonctionnement réel permet de détecter et de diagnostiquer les défaillances des équipements et des commandes, Le contrôle prédictif par modèle utilise la modélisation de l'énergie, ainsi que les prévisions météorologiques en temps réel et les signaux du réseau pour adapter les stratégies de contrôle à court terme à la réduction de la consommation d'énergie. Les modèles énergétiques peuvent servir d'interface intelligente pour les capacités de production, de stockage d'énergie et de stockage thermique d'un bâtiment.

Les défis techniques pour la modélisation énergétique des bâtiments sont les suivants :

- Amélioration continue des outils de modélisation à code open-source afin de les rendre plus rapides, plus précis et plus faciles à utiliser, tout en tenant compte des technologies émergentes du bâtiment, notamment en ce qui concerne les composants, les systèmes de contrôles de CVC ;
- Validation et étalonnage empiriques des moteurs de modélisation énergétique, y compris de nouvelles stratégies pour l'étalonnage des résultats des modèles par rapport à un grand nombre de bâtiments bien surveillés (facilité par des capteurs, contrôles et

capacités de communication à faible coût). Cela nécessitera des informations mesurées sur la température, l'utilisation des équipements, l'occupation, les taux d'infiltration et d'autres variables critiques ;

- Développement de conceptions de systèmes qui minimisent le risque de mauvaises conceptions et installations et qui détectent et diagnostiquent les défauts des équipements ;
- Logiciel amélioré pour l'intégration des réseaux de distribution intelligents et des contrôles avancés des bâtiments. [24]

II.4.3. Distribution et réutilisation de l'énergie thermique :

Les équipements de réfrigération, les sèche-linge, les machines à laver et de nombreux autres systèmes énergétiques des bâtiments génèrent de la chaleur qui est généralement rejetée dans l'air ambiant, Il est toutefois possible de capter et de faire circuler cette chaleur pour la réutiliser (éventuellement après l'avoir réchauffée) ; La chaleur résiduelle de la réfrigération pourrait être utilisée pour aider à chauffer l'eau et peut également provenir de systèmes de production combinée de chaleur et d'électricité.

III. Planification et gestion stratégiques de l'efficacité énergétique :

III.1. Vision nationale de l'efficacité énergétique :

L'Algérie accorde une attention particulière à l'efficacité énergétique dans le cadre de son modèle de développement socio-économique, compte tenu de son rôle dans le renforcement des droits fondamentaux des citoyens, la protection de l'environnement, la protection du secteur de la santé publique, la réduction de la dépendance énergétique et la rationalisation des budgets nationaux.

Il est primordial que les décideurs politiques formulent une vision de l'efficacité énergétique visant à relever les défis de développement spécifiques au pays. Une consultation devrait avoir lieu avec tous les décideurs impliqués dans l'élaboration des politiques nationales afin d'améliorer leur compréhension du rôle, que l'efficacité énergétique peut jouer pour assurer le développement et la réduction de la demande d'énergie. Une compréhension approfondie des principaux moteurs de l'efficacité énergétique, tant au niveau national que régional/mondial, est essentielle avant d'entreprendre une analyse équilibrée des forces, faiblesses, opportunités et menaces nationales. Elle permet aussi d'élaborer des scénarios de voies d'efficacité énergétique qui peuvent être suivies pour mieux atteindre les objectifs nationaux. Cet exercice

garantira non seulement le soutien politique nécessaire au plus haut niveau national pour donner la priorité à l'efficacité énergétique dans tous les aspects du développement socio-économique, mais aussi la mobilisation des ressources adéquates pour la mise en œuvre de ces mesures. [36]

III.2. Pertinence de la gouvernance de l'efficacité énergétique :

L'intervention des pouvoirs publics est donc cruciale pour transformer le "cercle vicieux" de l'inefficacité énergétique en un "cercle vertueux" d'efficacité énergétique en s'attaquant aux obstacles qui empêchent de dissocier la consommation d'énergie de la croissance économique. Les initiatives du gouvernement peuvent inclure des mesures telles que la rationalisation des tarifs de l'énergie, l'internalisation des coûts sociaux de la pollution (et des risques liés au changement climatique), le soutien à la recherche et au développement, l'introduction d'incitations à l'adoption de technologies propres et à haut rendement énergétique, la correction des défaillances du marché, l'application de nouvelles normes d'efficacité et la garantie de la cohérence des politiques à long terme. Le défi d'accroître l'efficacité énergétique au niveau national est énorme si l'on considère le fait que l'approvisionnement en énergie est géré par un nombre limité d'acteurs, alors que la gestion de la demande d'énergie concerne tous les consommateurs d'énergie dans la société.

Les activités peuvent commencer par la déclaration de la politique gouvernementale pour formuler une stratégie d'efficacité énergétique et entreprendre des initiatives qui justifient l'intervention du gouvernement ; formuler les objectifs généraux, les politiques et les stratégies pour atteindre les cibles fixées ; prendre des dispositions institutionnelles pour élaborer des lois, des décrets et un cadre incitatif et mettre en œuvre des programmes ciblés ; et allouer les ressources nécessaires et les mécanismes de financement pour soutenir les activités d'efficacité énergétique. Il peut également s'agir du développement de mécanismes pour coordonner les politiques et les programmes d'efficacité énergétique au entre les différents niveaux de gouvernement, le lancement de processus consultatifs pour impliquer les principales parties prenantes, l'établissement de cadres et de programmes cohérents pour encourager les investissements dans l'efficacité énergétique, et la définition du processus d'intégration de l'efficacité énergétique aux autres objectifs de développement, environnementaux et sociétaux. [36]

III.3. Besoins institutionnels pour la mise en œuvre de l'efficacité énergétique :

Dans le processus global de gouvernance de l'efficacité énergétique, il est essentiel de créer une agence ou une organisation d'efficacité énergétique qui serve d'institution efficace qui a pour rôle d'exécuter les politiques et les stratégies du gouvernement en coordonnant les politiques et les programmes d'efficacité énergétique, y compris la conception des programmes, l'administration, la gestion, le suivi, l'évaluation, etc. Une telle agence doit faire preuve d'un leadership fort et avoir la capacité de coordonner entre les niveaux du gouvernement, et engager les parties prenantes clés dans des processus consultatifs pour aider à construire un consensus ; Le rôle de l'institution d'efficacité énergétique est de prendre la tête de la promotion, du soutien et de la facilitation de la création d'un environnement propice à l'exécution des activités par les parties prenantes susmentionnées afin d'avoir les meilleurs impacts sur l'environnement. [36]

Les différents types d'organisations d'efficacité énergétique que l'on peut rencontrer peuvent être classés comme suit :

- a) Les agences gouvernementales qui s'occupent de tous les aspects de l'énergie : sécurité énergétique, approvisionnement, prix, législation, efficacité et conservation, énergies renouvelables, etc. ;
- b) Les agences gouvernementales spécialisées dans l'efficacité énergétique, les énergies renouvelables, ou l'énergie propre ;
- c) Autorités statutaires indépendantes ayant pour mandat d'exécuter les politiques et stratégies gouvernementales en matière d'efficacité énergétique ;
- d) Sociétés "parapubliques" chargées de la mise en œuvre du programme d'efficacité énergétique ;
- e) Partenariats public-privé pour promouvoir l'efficacité énergétique ;
- f) Organisations non gouvernementales spécialisées dans la mise en œuvre de programmes d'efficacité énergétique programmes d'efficacité énergétique. [36]

Le gouvernement peut décider d'adopter le modèle d'organisation de l'efficacité énergétique qui convient le mieux aux priorités politiques, culturelles et économiques du pays.

L'aspect le plus critique pour le succès d'une agence d'efficacité énergétique c'est les personnes qui l'organisent. Ces personnes doivent avoir une formation appropriée et adaptée à leur travail et doivent faire preuve de leadership et de professionnalisme dans leurs activités quotidiennes impliquant une interaction avec les principales parties prenantes et les bénéficiaires. L'autonomie d'administration et de gestion devrait leur être accordée et des

ressources financières adéquates devraient être mises à leur disposition non seulement pour couvrir les dépenses organisationnelles mais aussi pour lancer des programmes et des activités, et ceci afin d'atteindre les objectifs d'efficacité énergétique fixés pour des secteurs spécifiques. [36]

III.4. Structure recommandée de l'organisation d'efficacité énergétique :

Les sections précédentes ont décrit les trois piliers (voie, processus et partenaires) et les secteurs économiques à sélectionner en fonction de leur pertinence dans le pays.

L'organisation responsable de l'efficacité énergétique (Figure III.6) peut être structurée de telle sorte qu'elle dispose d'unités chargées de fixer des objectifs, la planification, la mise en œuvre et le suivi des résultats dans les secteurs ciblés. D'autre part, il est également utile d'avoir des groupes thématiques spécialisés qui se concentrent sur chacune des étapes du chemin idéal décrit. [36]

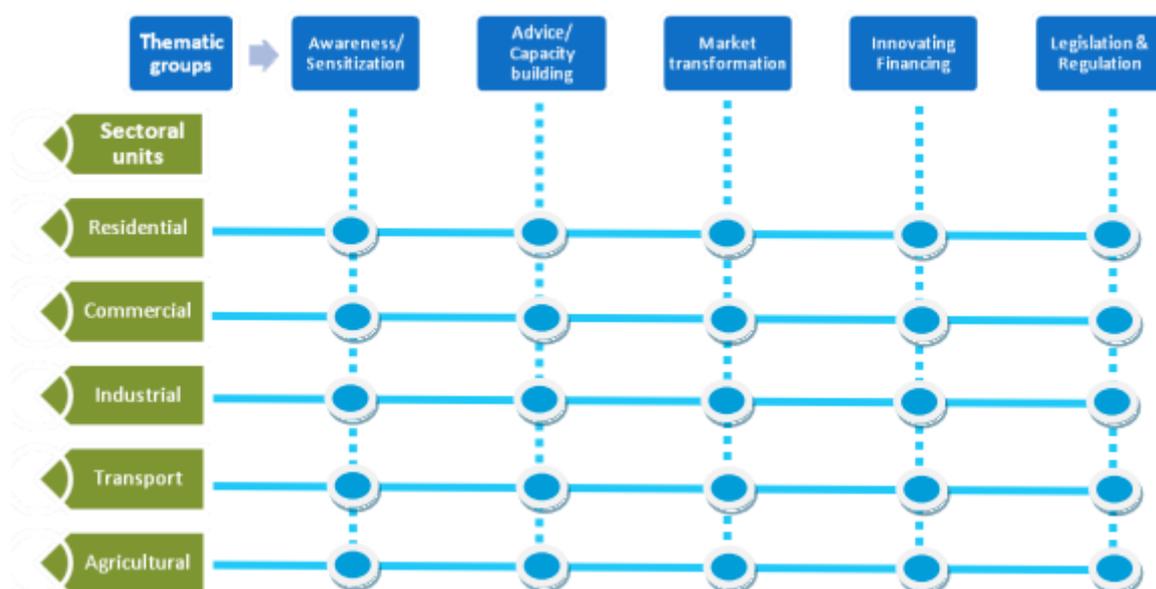


Figure III.6: Structure organisationnelle de l'Organisation pour l'efficacité énergétique. [36]

Les unités sectorielles assument la responsabilité générale et sont responsables de la gestion globale des activités, alors que les groupes thématiques fournissent une technique en termes d'outils et de méthodologies, d'identification et d'interaction avec les partenaires pertinents, la définition des critères de suivi et d'évaluation, etc. [37]

IV. Objectifs d'efficacité énergétique et de réduction des GES :

L'efficacité énergétique combine de multiples actions pour agir positivement tout au long de la chaîne. Notamment dans la production, le transport, le secteur du bâtiment et la consommation d'énergie.

L'efficacité énergétique est un ensemble d'actions qui doivent être prises en compte pour optimiser et rationaliser la consommation d'énergie, y compris la maîtrise de la demande d'énergie et le choix de la bonne technologie (Tableau III.1)

Les résultats attendus (Figure III.7) par la réalisation de ce programme se présentent comme suit :

- un gisement d'économie d'énergie de l'ordre de 63 millions de tep (soit : près de 38 milliards de \$ valorisé à l'exportation) ;
- une puissance évitée de plus de 1500 MW (soit près de 2 milliards de \$) ;
- une réduction de plus de 193 millions de tonnes de CO₂ (soit : 1,1 milliards de \$) ;
- une création de 500000 nouveaux postes d'emploi. [37]

Tableau III.2 : Tableau récapitulatif des émissions de CO₂ à éviter à l'horizon 2030. [37]

Année	2015	2020	2025	2030
Emissions évitées (en millions de tonnes CO ₂)	1.1	32.1	95.9	193.3

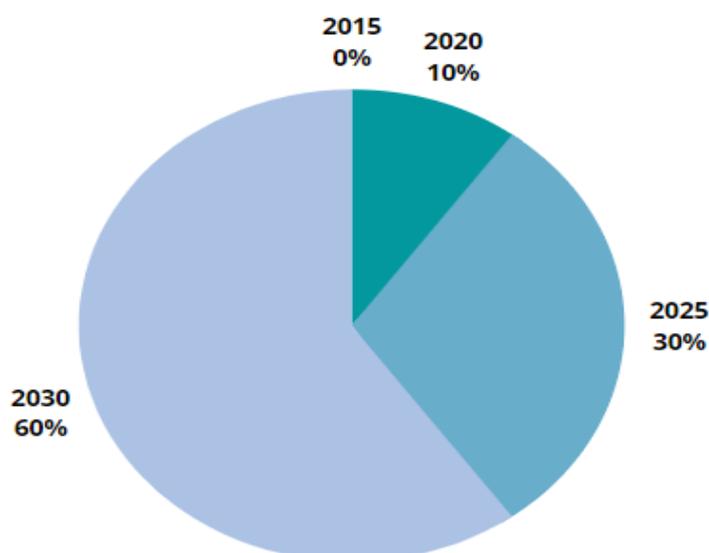


Figure III.7: Emissions évitées (en millions de tonnes CO₂).

- Bilan de réalisation de la première tranche du programme national d'efficacité énergétique :

a. Projets :

1- L'amélioration de l'isolation thermique des bâtiments :

Il est prévu l'isolation de 2000 équivalents logements, dont 1000 logements neufs et 1000 équivalents logements existants. Cette action porte sur l'amélioration de l'isolation thermique des bâtiments neufs et existants par l'introduction de mesures d'efficacité énergétique notamment dans l'isolation des parois et l'introduction du double vitrage. Le marché national en matériaux isolants est suffisant pour alimenter le marché et réaliser ce programme. [38]

Les projets prévus :

- Le renforcement des exigences d'efficacité et de l'économie d'énergie dans les différents dispositifs législatifs et réglementaires de construction et d'urbanisme ;
- La mise en place d'un cahier des charges intégrant les mesures d'efficacité énergétique dans les logements ;
- L'intégration du diagnostic thermique dans les bâtiments existants publics ou privés. Cette action sera accompagnée par la formation professionnelle en diagnostic thermique des bâtiments ;
- Le lancement d'une étude sur la mise en place d'un label Algérien d'efficacité énergétique pour le bâtiment, ce qui permettrait de valoriser les efforts consentis par les promoteurs en matière d'efficacité énergétique et de durabilité ;
- Le renforcement de capacités des entreprises de réalisation par la mise en place de nouvelles spécialités dédiées à l'efficacité énergétique dans la formation et l'enseignement professionnels. [38]

2- Éclairage :

Le parc national de logements est constitué de plus de 08 millions de logements avec environ 80 millions de points lumineux. L'objectif du programme d'économie d'énergie pour ce

secteur est de substituer, graduellement, l'éclairage incandescent par un éclairage plus efficace de type LED. [38]

La réduction de la consommation d'énergie de l'éclairage qui représente plus de 20% de la consommation d'un ménage moyen, est tributaire d'une introduction massive de l'éclairage LED dans les ménages, les bâtiments tertiaires, les administrations et au niveau de l'éclairage public, et ceci passe par :

- La mise en œuvre des programmes dédiés à la promotion de l'éclairage efficace qui permettrait de sensibiliser les citoyens à ce type d'éclairage et de leur démontrer ses avantages ;
- L'encouragement du développement d'une industrie locale de production de produits d'éclairage en exigeant une intégration nationale progressive ;
- L'initiation de la mise en place de normes et de réglementations contraignantes pour protéger le marché national de produits contrefaits et/ou de bas de gamme ;
- L'initiation de la mise en place de laboratoires de certification des lampes et des produits d'éclairage. [38]

Le programme prévoit :

- La diffusion de 3 millions de lampes LED au profit des ménages. [38]

3- Eau chaude sanitaire :

Aussi pour permettre aux habitants des bâtiments collectifs ou semi collectifs de disposer d'un chauffe-eau solaire, l'installation de chauffe-eaux solaires dans les nouvelles constructions collectives ou semi collectives.

Le développement du chauffe-eau solaire en Algérie passe systématiquement par le développement d'une industrie locale de production de chauffe-eau solaires pour notamment :

- Développer une offre permanente de chauffe-eaux solaires sur le marché national, avec des prix accessibles pour les ménages.
- Améliorer la qualité des chauffe-eaux solaires commercialisés sur le marché national par l'introduction de la certification des produits et des services d'installation.

- Mise en place d'un mécanisme financier attractif pour l'acquisition des chauffe-eaux solaires par les ménages. [38]

Le programme prévu :

- L'installation de 3000 chauffe-eaux solaires individuels ;
- La collaboration avec le Ministère de l'Industrie pour la mise en place d'une industrie locale de production des chauffe-eaux solaires ;
- La mise en place de la certification des chauffe-eaux solaires. [38]

4- Amélioration des performances énergétiques des équipements électroménagers :

En partenariat avec le Ministère du Commerce, un intérêt particulier est être accordé au dossier relatif à l'étiquetage énergétique des équipements électroménagers. Il est à rappeler que cette réglementation existe depuis 2009, pour trois équipements électrodomestiques à savoir: les réfrigérateurs, congélateurs et appareils combinés, les climatiseurs et les appareils d'éclairage.

A ce titre, il y a lieu de procéder à la révision de la réglementation y afférente pour la rendre plus dynamique, permettant l'élimination des classes énergétiques les moins performantes au profit du maintien des classes performantes. Cette nouvelle réglementation doit être consolidée par la mise en place d'un réseau de laboratoires de contrôle qui permettra à la fois d'accompagner les industriels pour la mise en place de l'étiquetage énergétique sur les équipements, mais aussi d'assurer un contrôle sur le marché. [38]

Dans ce cadre, il convient de soutenir les actions initiées par le secteur du commerce en vue d'optimiser les infrastructures de contrôle existantes, notamment :

- La restructuration et la fusion du Centre Algérien de Contrôle de la Qualité et de l'Emballage (CACQE) avec le Laboratoire National d'Essais (LNE), sis à sidi Abdallah. Ce dernier sera totalement équipé ;
- La réactivation du Réseau des Laboratoires d'Essais et d'Analyses (RELEA), qui permettra un recensement de l'ensemble des laboratoires existants avec leurs compétences ;

- La mise en place par l'Institut Algérien de Normalisation (IANOR) des règlements techniques ;
- Saisir les opportunités de coopération en matière de certification des équipements électriques et électroménagers, à l'instar de l'inscription d'une action, dans le cadre du programme d'appui de l'Union Européenne au secteur de l'énergie, relative à la certification des équipements électrique. Ceci permettra d'élargir l'étiquetage énergétique à d'autres équipements électriques notamment les lave-linges, les téléviseurs et les moteurs électriques, tout en introduisant des seuils minimums de performance énergétique des équipements et l'écoconception. [38]

Le programme prévu :

- La révision de la réglementation relative à l'étiquetage énergétique des appareils électroménagers ; son élargissement à d'autres appareils et l'introduction de seuils minimums de consommation des équipements ;
- La collaboration avec le Ministère du Commerce pour drainer des financements pour l'acquisition des équipements du Laboratoire National d'Essai pour le volet performances énergétiques des équipements ;
- La mise en place d'un mécanisme de financement attractif pour le développement du marché de l'efficacité énergétique des appareils électroménagers. [38]

✚ Action d'accompagnement :

- Réalisation des formations d'auditeurs énergétique dans le bâtiment ;
- Réalisation des formations d'homme énergie dans le tertiaire ;
- Réalisation d'un état des lieux de la filière de fabrication des matériaux de construction. [37]

V. Efficacité énergétique challenge :

V.1. Conservation d'énergie et efficacité énergétique :

L'efficacité énergétique (EE) et la conservation de l'énergie (EC) sont liées et se complètent ou se chevauchent souvent pour éviter ou réduire la consommation d'énergie. L'efficacité

énergétique fait généralement référence aux performances technologiques des appareils de conversion et de consommation d'énergie et des matériaux de construction. La conservation de l'énergie implique généralement des mesures visant à réduire la quantité d'énergie consommée au final. Par exemple, installer des lampes économes en énergie est une action d'efficacité énergétique, éteindre les lumières lorsqu'elles ne sont pas nécessaires et les éteindre manuellement à l'aide d'une minuterie ou d'un détecteur de mouvement est une action de la conservation de l'énergie.

Les mesures d'efficacité énergétique et de la conservation de l'énergie peuvent contribuer directement à réduire les coûts énergétiques pour les consommateurs et potentiellement réduire les émissions de gaz à effet de serre associées à la consommation d'énergie. Les consommateurs bénéficient également indirectement lorsque la réduction de la demande d'électricité contribue à réduire le coût de production, de transport et de distribution de l'électricité. Une forte demande d'électricité entraîne souvent des coûts de production et de transmission plus élevés, qui sont répercutés sur les consommateurs dans leurs factures de services publics. [39]

Quelques exemples de mesures d'EE et de CE en faveur des consommateurs:

- Acheter des produits éco énergétiques ;
- Utilisation de thermostats programmables pour contrôler les systèmes de chauffage et de refroidissement ;
- Éteindre les lumières et les appareils électriques lorsqu'ils ne sont pas utilisés ;
- Participer aux programmes EE et EC des services publics que les services publics offrent à leurs clients. [39]

L'efficacité énergétique d'un système peut être calculée par la formule suivante :

$$\text{Efficacité Energétique} = \frac{E_{\text{Utile}}(J)}{E_{\text{Consommée}}(J)} \times 100$$

Où

E_{utile} représente la quantité d'énergie utile (J)

$E_{\text{consommée}}$ représente la quantité d'énergie consommée (J)

V.2. Développement des énergies renouvelables :

Le monde doit comprendre que l'utilisation des sources d'énergie renouvelables doit être prise au sérieux en raison des effets nocifs des gaz à effet de serre sur l'environnement et de l'approvisionnement limité en énergie traditionnelle (combustibles fossiles). Des stratégies d'économie d'énergie doivent également être envisagées lors du remplacement des énergies non renouvelables par des énergies renouvelables.

L'énergie est utilisée pour diverses raisons tout au long du cycle de vie d'un bâtiment. 94,4 % de toute l'énergie utilisée dans cette phase est utilisée pour les systèmes de chauffage/ventilation/climatisation (CVC) afin d'assurer le confort pendant la phase d'utilisation ; La réduction de ce taux nécessite l'utilisation de méthodes passives et de sources d'énergie renouvelables au lieu de systèmes mécaniques pour assurer des conditions confortables. De cette manière, il est possible de créer des conditions physiques plus adaptées à la santé humaine à l'intérieur du bâtiment. [40]

- Utilisation des systèmes solaires dans les bâtiments :

Le soleil est une source illimitée de lumière et d'énergie thermique ; le flux d'énergie thermique du soleil est utilisé par conduction, convection et rayonnement. Ces processus naturels sont contrôlés par la structure du bâtiment pour aider à chauffer et refroidir le bâtiment.

Les rayons du soleil atteignant la surface du bâtiment sont réfléchis, transmis ou absorbés par les matériaux de construction. La chaleur générée par le soleil provoque également un mouvement d'air prévisible dans la zone conçue. Les principaux effets de cette chaleur solaire sont l'épaisseur, la densité (δ) (g/cm^3), le coefficient de conductivité thermique (λ) ($\text{W/m}^2\text{K}$), la capacité calorifique spécifique (c) ($\text{Wh/m}^3 \text{K}$), le coefficient d'absorption et de réflexion surfacique, douceur ou rugosité, creux et plénitude. L'énergie solaire peut être utilisée à la fois active et passive grâce aux mesures prises dans la conception architecturale.

- Utilisation de l'énergie géothermique dans les bâtiments :

L'énergie géothermique est obtenue par le fait que la chaleur accumulée dans le sous-sol est libérée des fissures vers la terre. Parfois, il peut être extrait du sous-sol sous forme d'eau chaude, d'eau chaude et de mélange de vapeur d'eau ou de vapeur. [40]

L'énergie géothermique est utilisée pour le chauffage et le refroidissement, Selon la manière dont les fluides géothermiques sont appliqués, les systèmes d'énergie géothermique sont

appliqués de trois manières : les pompes à chaleur, les échangeurs de chaleur de fond de puits et les caloducs. Les caloducs sont couramment utilisés dans les bâtiments. La chaleur peut également être extraite du sol à des températures "normales" à l'aide d'appareils appelés pompes à chaleur.

- Utilisation de l'énergie de l'hydrogène dans les bâtiments :

L'énergie hydrogène peut être utilisée pour le chauffage, fournir de l'eau chaude, cuisiner et répondre aux besoins en électricité. Avant de pouvoir être utilisé, l'hydrogène doit être produit, stocké et transporté. L'hydrogène peut être produit à partir de sources d'énergie renouvelables telles que l'énergie solaire, hydraulique, éolienne et géothermique.

Aujourd'hui, parmi les sources d'énergie renouvelables, le système hybride solaire-hydrogène se distingue comme le système le plus efficace. Dans un tel système, des composants tels que des panneaux photovoltaïques, un électrolyseur, une pile à combustible, un réservoir de stockage d'hydrogène (H_2), un groupe de batteries et un onduleur (convertisseur) sont nécessaires. Le fonctionnement du système dans le système d'énergie solaire-hydrogène de la maison est le suivant :

- Les panneaux photovoltaïques produisent de l'électricité à partir de l'énergie solaire,
- H_2 et O_2 sont produits par électrolyseur ;
- les gaz sont acheminés vers le réservoir de stockage pour le chauffage du sol et de l'eau ;
- chauffer l'air dans le système de ventilation en brûlant de l'hydrogène sans flamme avec un brûleur à hydrogène catalytique (1,5 kW) en hiver ;
- la pile à combustible est activée si de l'électricité supplémentaire est nécessaire ;
- une partie de la chaleur libérée dans la pile à combustible est également utilisée pour chauffer l'eau. [40]

IX. Conclusion

Après avoir présenté les éléments de base de l'analyse énergétique, qui sont l'efficacité et l'amélioration de l'enveloppe du bâtiment ainsi que le rendement énergétiques, nous allons entreprendre dans le chapitre suivant, l'étude de cas, de l'efficacité énergétique d'une clinique

médicale, le travail abordé est original, puisque c'est la première fois que l'étude sera effectuée pour le bâtiment en question.

CHAPITRE VI

I. Introduction :

Sachant que les établissements de service et en particulier les établissements de santé consomment beaucoup d'énergie notamment pour le confort hygrothermique.

Dans ce chapitre on va étudier à l'aide du logiciel trnsys la performance énergétique d'une clinique située à la wilaya de Tlemcen. Notre objectif principal est d'améliorer la performance énergétique suite à la proposition de différents scénarios justifiant l'effet de choix de matériaux isolants sur la réduction de la consommation d'énergie utilisée pendant l'hiver (chauffage) et pendant l'été (climatisation).

II. Description du site :

II.1.Situation géographique :

Notre sujet d'étude se pose sur une clinique située en Algérie à la wilaya de Tlemcen plus précisément la ville de Maghnia (Figure IV.1), a une latitude de 34.86° , une longitude de -1.73° et une altitude de 680m. à lotissement ibn-sina à côté de la mosquée.

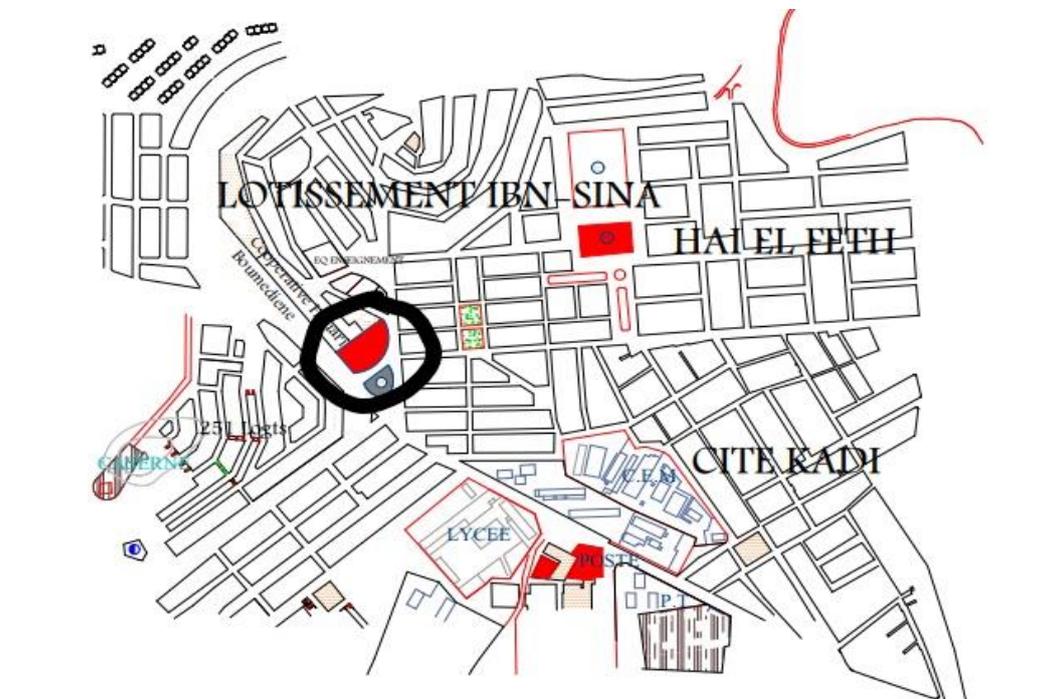


Figure IV.1: Situation Géographique.

II.2. Caractéristiques du site :

Cette espace de santé a une surface bâti de 1350 m² et dégagé de l'extérieur de tout obstacle d'ombrage et de courants d'air froid et chaud ; comme le montre la figure IV.2.



Figure IV.2 : Une photo réelle de la clinique.

La clinique est constituée de 4 étages dont le volume de chaque étage est de 4585 m³. Pour plus de détails les différentes dimensions des parois sont détaillées dans le Tableau IV.1 tandis que celles des fenêtres seront détaillées dans le Tableau IV.2.

Tableau IV.1: Les caractéristiques des murs extérieurs.

La composition des murs	L'épaisseur (cm)	La conductivité thermique (Kj/h m K)
Mortier	1.5	4.15
Brique creuse 75	10	1.70
Lame d'air	5	0.22
Brique creuse 75	15	1.70
Enduit extérieur	3	4.15

Tableau IV.2: Les caractéristiques des fenêtres.

La composition des fenêtres	L'épaisseur (mm)
Verre	4
Gaz d'argon	16
Verre	4

II.3. données climatiques :

Le rayonnement :

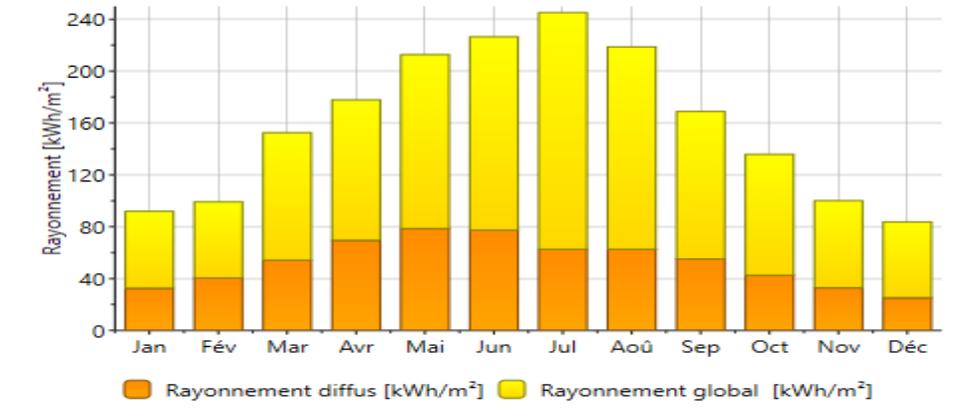


Figure IV.3: Variation de rayonnement global, diffus.

L'humidité :

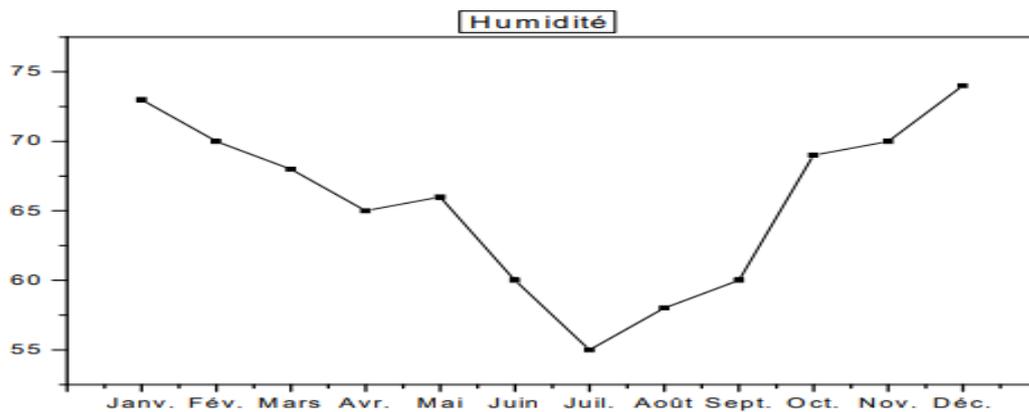


Figure IV.4: Variation mensuelle de l'humidité relative (%).

L'ensoleillement :

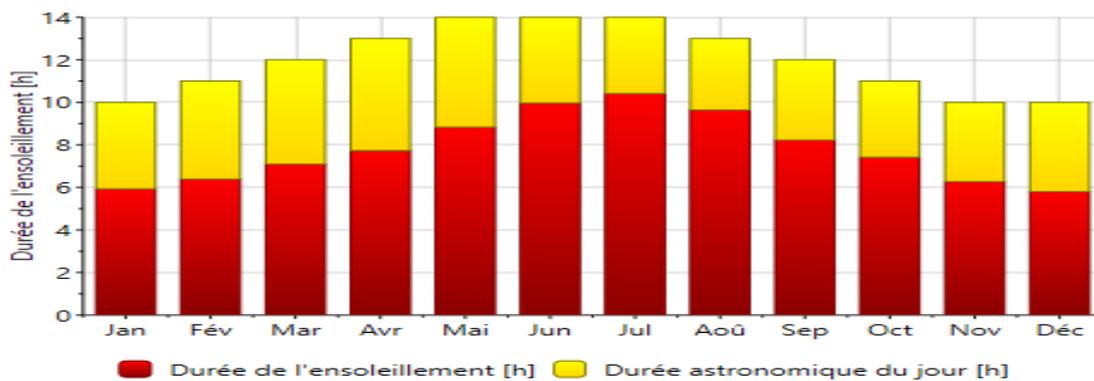


Figure IV.5 : Variation de la durée d'ensoleillement.

La Température :

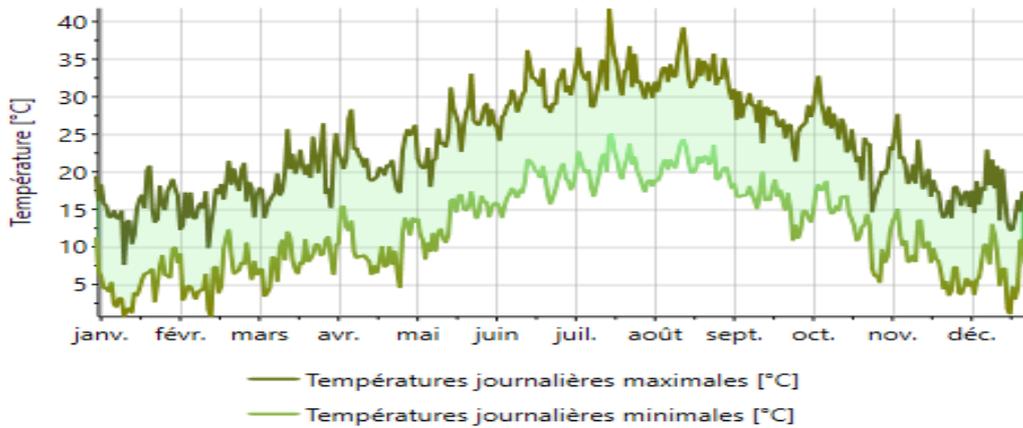


Figure IV.6: La variation de la température maximale et minimale.

Le climat de Tlemcen est méditerranéen froid en hiver et chaud en été la température. En hiver la température, varie entre 5°C et 20°C et entre 20°C et 40°C en été. En ce qui concerne le rayonnement global varie entre 80 KWh/m² et 240 kWh/m², la plus grande croissance est entre le mois de mai et le mois d'aout par contre il y'a une légère croissance pour le rayonnement diffus comme c'est montré sur la figure IV.3. En ce qui concerne la variation de l'humidité de Tlemcen, nous notons que le maximum est observé au cours des mois de janvier et décembre comme c'est montré sur la figure IV.4. Bien que, une légère décroissance qui commence à partir du mois de janvier jusqu'au mois de mars, ainsi qu'un minimum durant le mois de juillet ; la durée de l'ensoleillement varie entre les 6 et 12 h avec une durée maximale durant les mois de juin, juillet et aout (Figure IV.5).

Le Tableau IV.3 représente la température de confort pendant tous les mois de l'année à partir des données climatiques.

Tableau IV.3: La variation de la température de confort (T_c).

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
T _c	19,4184	20,1879	21,4245	22,1697	23,706	25,92	27,2646	27,189	26,109	23,9841	22,0644	20,5119

La température de confort de obtenue à partir de la loi de Humphreys qui a établi une relation entre la température de confort et la température moyenne extérieure :

$$T_c = 5.13 + 54 T_0.$$

III. Description du logiciel :

III.1. Présentation du logiciel :

Trnsys est un programme de simulation de système transitoire pour une structure modulaire qui simule et analyse la performance de l'ensemble des systèmes énergétiques ; Trnsys permet la simulation thermique dynamique appliquée au bâtiment en intégrant toutes ces caractéristiques (emplacement, données météorologiques, les matériaux de construction utilisés ... etc.) mais aussi des systèmes (chauffage, climatisation... etc.) pour but d'étudier en détail le comportement thermique de ce bâtiment.

III.2. les étapes d'utilisation :

Il faut d'abord sélectionner le type de projet ; dans notre cas on utilise building project multizone pour la simulation thermique du bâtiment comme c'est montré sur la figure ci-dessous.

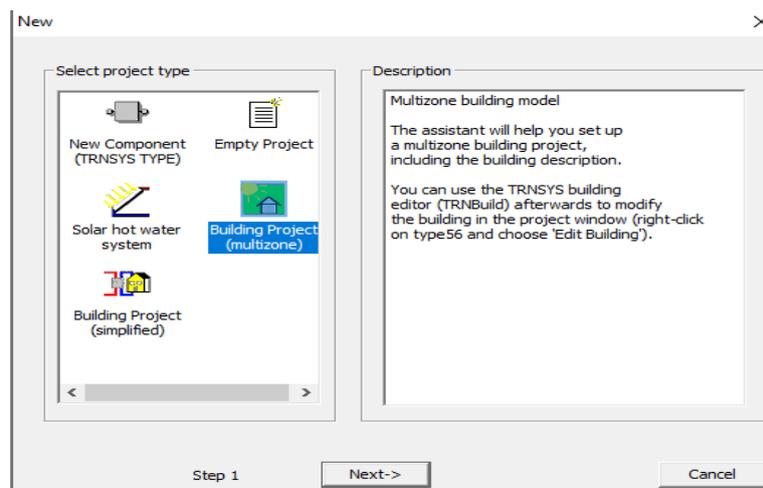


Figure IV.7: Choix du projet.

Après avoir choisi le type de projet ; on doit insérer les caractéristiques du bâtiment demandées telles que la hauteur, la largeur et la longueur pour que le logiciel nous donne le volume de la construction.

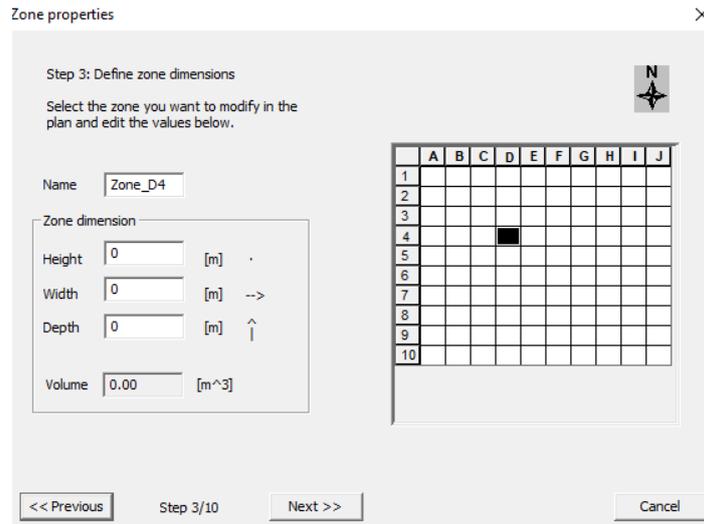


Figure IV.8: Les caractéristiques du bâtiment.

Ensuite on fait rentrer les données météorologiques du site ainsi que le pourcentage des ouvertures sur chaque mur pour plusieurs orientations.

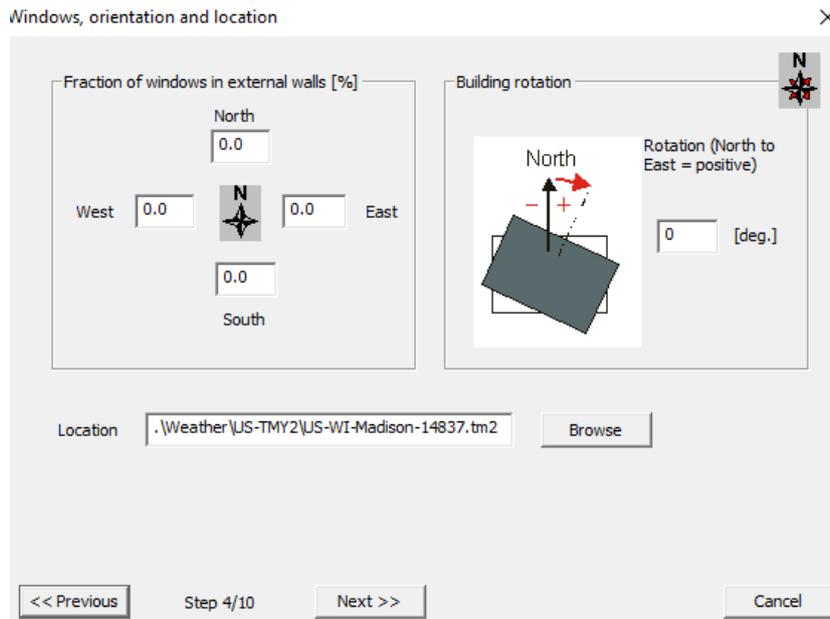


Figure IV.9: Les données météorologiques et le pourcentage des ouvertures

Après on définit le type de système de ventilation

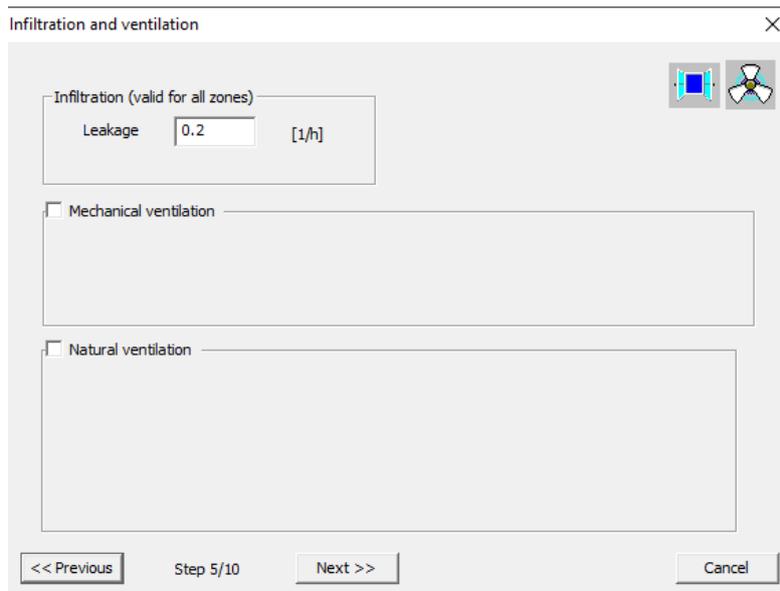


Figure IV.10: Les types de système de ventilation.

Pour l'étape suivante on insère les paramètres du chauffage ainsi que de la climatisation selon les besoins demandés pour avoir un confort hygrothermique comme la montre la figure ci-dessous.

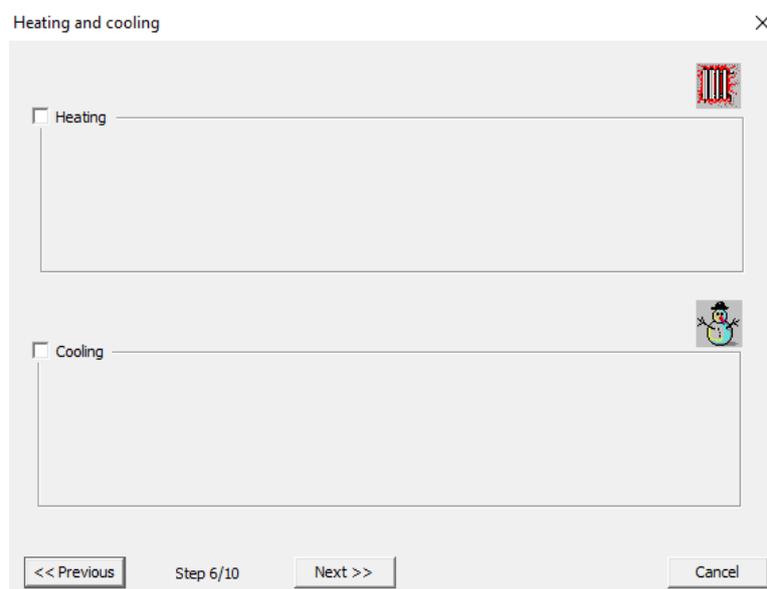


Figure IV.11: Les données du chauffage et de la climatisation.

On définit aussi les données et le gain de l'éclairage.

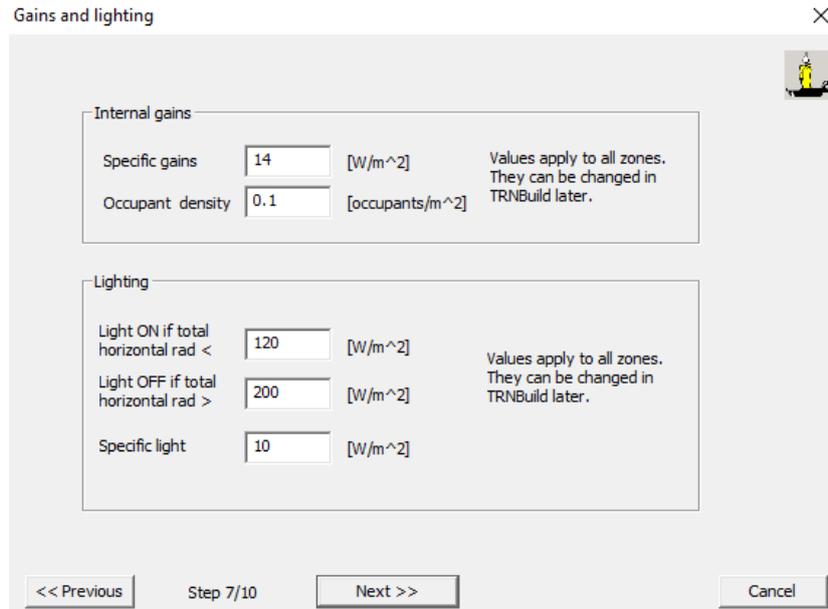


Figure IV.12: Le gain de l'éclairage.

Après avoir passé par toutes ces étapes le projet se crée automatiquement ensuite on clique sur edit building afin de choisir la composition des murs et des fenêtres selon la construction du bâtiment pour pouvoir faire la simulation.

La figure IV.13 représente la création du projet pour pouvoir choisir la composition des murs et des fenêtres sur edit building.

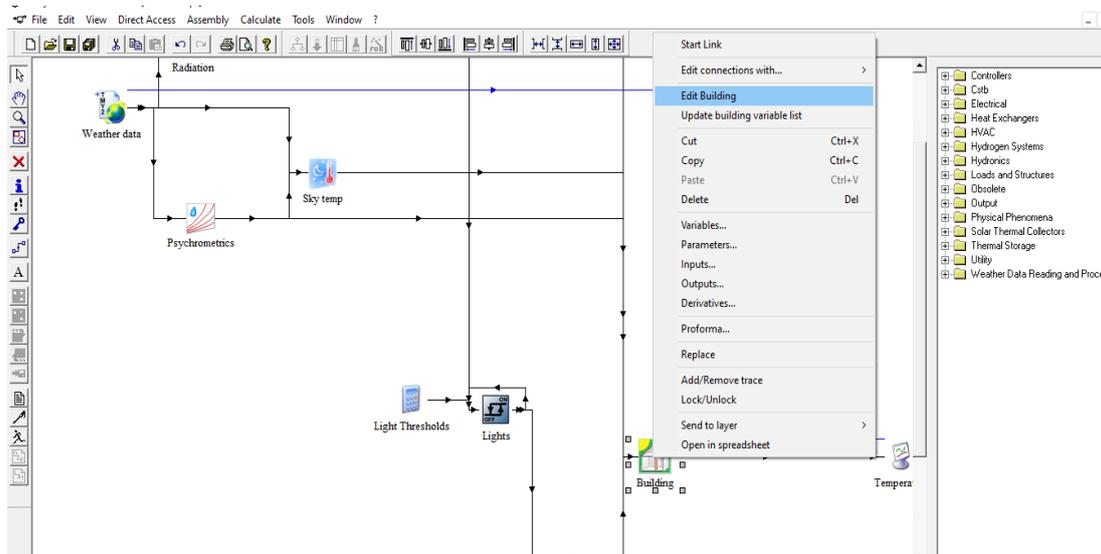


Figure IV.13: Création du projet.

La figure IV.14 représente les dimensions et la composition des murs ainsi que des fenêtres en fonction des caractéristiques du site

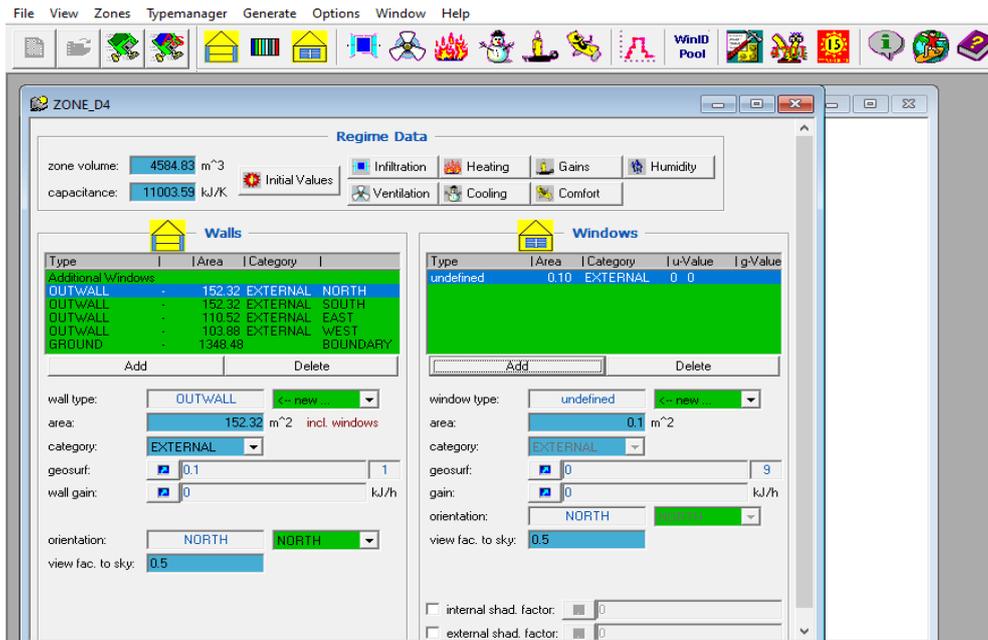


Figure IV.14: Composition des murs et des fenêtres.

La figure IV.15 montre comment on fait la simulation sous trnsys après avoir défini tous les caractéristiques du bâtiment.

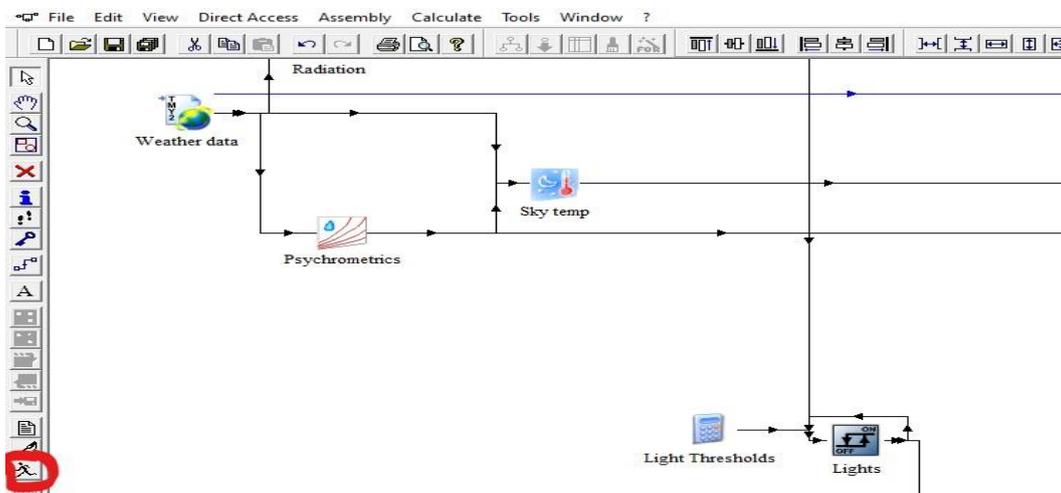


Figure IV.15: Simulation.

IV. Etude de cas :

Notre étude se pose sur le premier étage de la clinique qui a une surface de 1350 m² et un volume de 4585 m³; l'établissement dispose de système de ventilation naturel et d'un gain d'éclairage de 12 W/m²; concernant les dimensions de l'étage sont détaillées dans le tableau 7 et pour le pourcentage des ouvertures sur les murs selon l'orientation sont détaillés dans le tableau 8 dont ces dimensions ont été prises sur le site.

Tableau IV.4: Les dimensions de l'étage.

La hauteur	3,40 m
La largeur	44,8m
La longueur	30,1m

Tableau IV.5: Le pourcentage des ouvertures pour chaque orientation.

L'orientation	Pourcentage (%)
Le nord	0
L'est	16,37
L'ouest	24,34
Le sud	3,08

IV.1. Etude de la performance énergétique de l'enveloppe de l'étage avec la composition des parois et des fenêtres réelle :

On étudie dans ce cas la performance énergétique de l'étage avec une composition des murs extérieurs réels qui se composent d'un isolant de lame d'air caractérisé par une conductivité thermique de 0,22 KJ/h m K, une capacité de 1,23 KJ/Kg K et une densité de 1 Kg/m³ ainsi que des fenêtres double vitrage avec un gaz d'argon .

La figure IV.16 représente la composition des murs extérieurs sous TRNSYS selon la composition de l'enveloppe de la clinique.

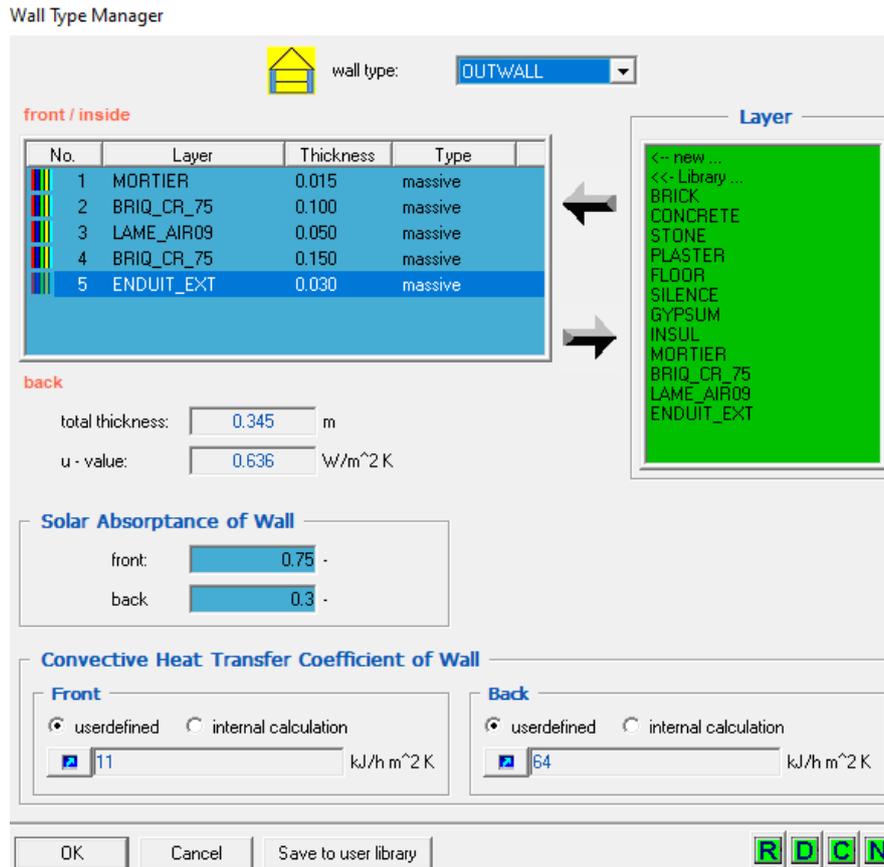


Figure IV.16: Composition des murs extérieurs.

La figure IV.17 représente la composition et les caractéristiques des fenêtres sous trnsys selon les fenêtres construite sur la clinique.

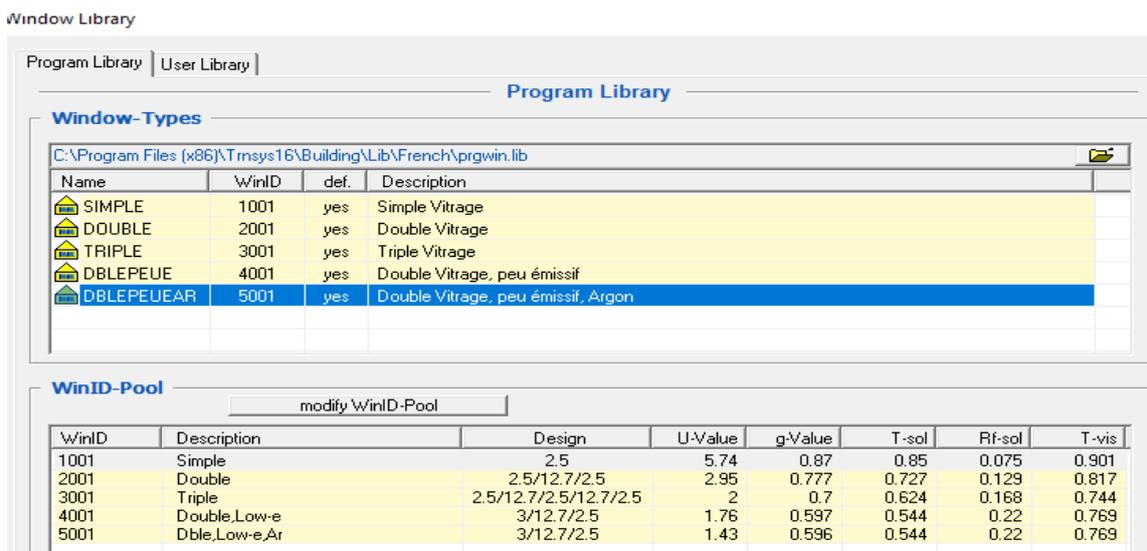


Figure IV.17: Composition des fenêtres.

La figure suivante représente la variation de la température intérieure de la clinique et extérieure en fonction du temps durant toute une année.

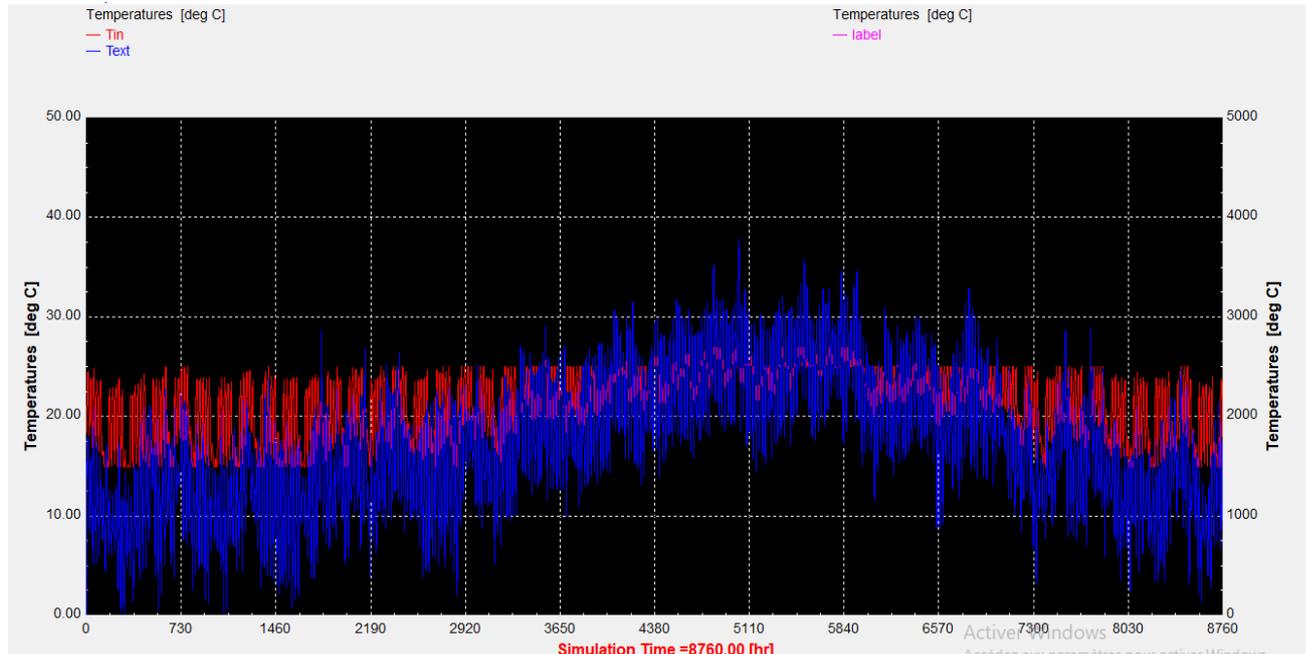


Figure IV.18: La variation des températures.

- la température extérieure varie entre 0°C et 20°C durant les 4 premiers mois. Par contre la température intérieure varie entre 15°C et 25°C. A partir du mois de mai jusqu'au mois de septembre, on remarque une hausse de température qui atteint les 38°C pour celle de l'extérieure et la température intérieure est comprise entre 20°C et 28°. En effet, c'est une période chaude puis à partir du mois d'octobre la variation de la température pour l'extérieure ainsi que l'intérieure revient à son état initiale jusqu'au mois de décembre ce qui est toute a fait normal car les températures sont en fonction des données climatique du site pendant les 4 saisons.
- en ce qui concerne la variation de la température intérieure, elle offre le confort hygrothermique comparée à la température de confort afin de remplir les besoins demandés du propriétaire avec une utilisation réduite du chauffage pendant l'hiver et de la climatisation pendant l'été.

IV.2. Etude de la performance énergétique de l'enveloppe de l'étage avec différents isolants:

Dans cette partie, on a pris différents isolants avec la même épaisseur pour une composition des murs simple parois.

- Utilisation de la laine de verre :

On étudie la performance énergétique de l'enveloppe de l'étage étudié en changeant la composition des murs en simple parois avec l'isolant de la laine de verre qui est caractérisé par une conductivité thermique de 0,15 KJ/h m K, une capacité de 0.84 KJ/Kg K et une densité de 12 Kg/m³. Entre autre, on garde la même composition des fenêtres double vitrage avec gaz d'argon.

La figure IV.19 représente la composition du mur simple parois et l'isolant de la laine de verre avec les épaisseurs détaillées sous le logiciel trnsys.

No.	Layer	Thickness	Type
1	MORTIER	0.015	massive
2	BRIQ_CR_75	0.100	massive
3	LAINE_DE_V	0.020	massive
4	ENDUIT_EXT	0.030	massive

Figure IV.19: Composition du mur.

La figure IV.20 représente le résultat de la variation de la température intérieure en fonction du temps durant toute une année avec une construction simple parois et isolant laine de verre à partir du logiciel TRNSYS.

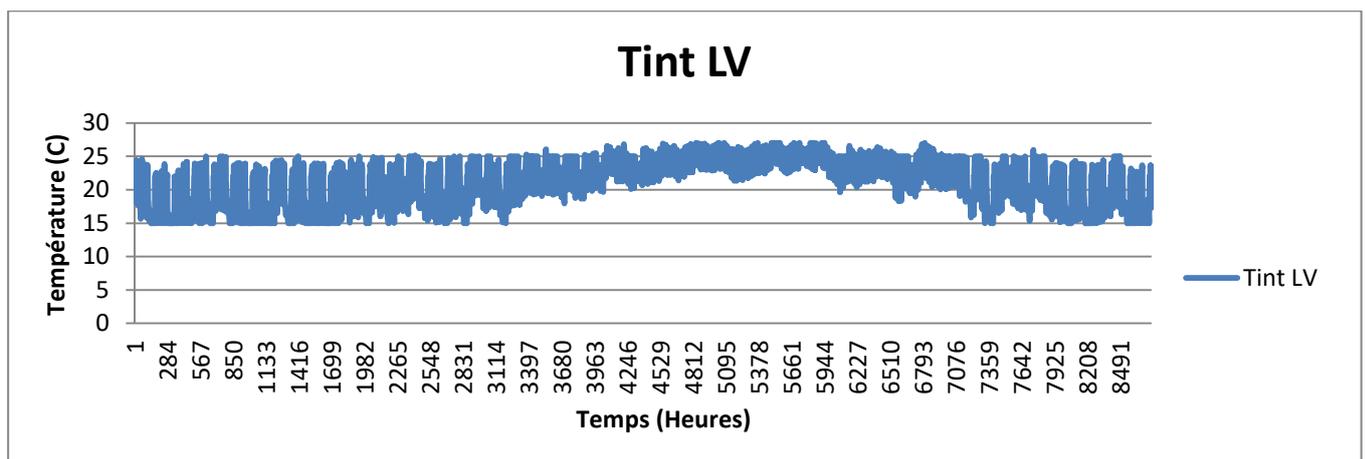


Figure IV.20: La variation de la température intérieure pour la laine de verre.

On remarque que la température intérieure varie pendant les quatre premiers mois entre 15°C et 25°C à partir du cinquième mois la température commence à varier entre 20°C et 28°C jusqu'au mois de septembre car c'est une période chaude puis la variation de la température revient à son état initial pour les trois derniers mois de l'année.

- Utilisation du polyuréthane :

On étudie la performance de l'enveloppe de l'étage étudié en changeant la composition des murs en simple parois avec l'isolant polyuréthane qui est caractérisé par une conductivité thermique de 0,11 KJ/h m K, une capacité de 0.84 KJ/Kg K et une densité de 35 Kg/m³ mais on garde la même composition des fenêtres double vitrage avec gaz d'argon.

La figure IV.21 représente la composition du mur simple parois et l'isolant polyuréthane avec les épaisseurs détaillées sous le logiciel trnsys.

front / inside

No.	Layer	Thickness	Type
1	MORTIER	0.015	massive
2	BRIQ_CR_75	0.100	massive
3	POLYRÉTHAN	0.020	massive
4	ENDUIT_EXT	0.030	massive

back

Figure IV.21: Composition du mur.

La figure IV.22 représente le résultat de la variation de la température intérieure en fonction du temps pendant une année avec une construction simple parois et isolant polyuréthane à partir du logiciel trnsys.

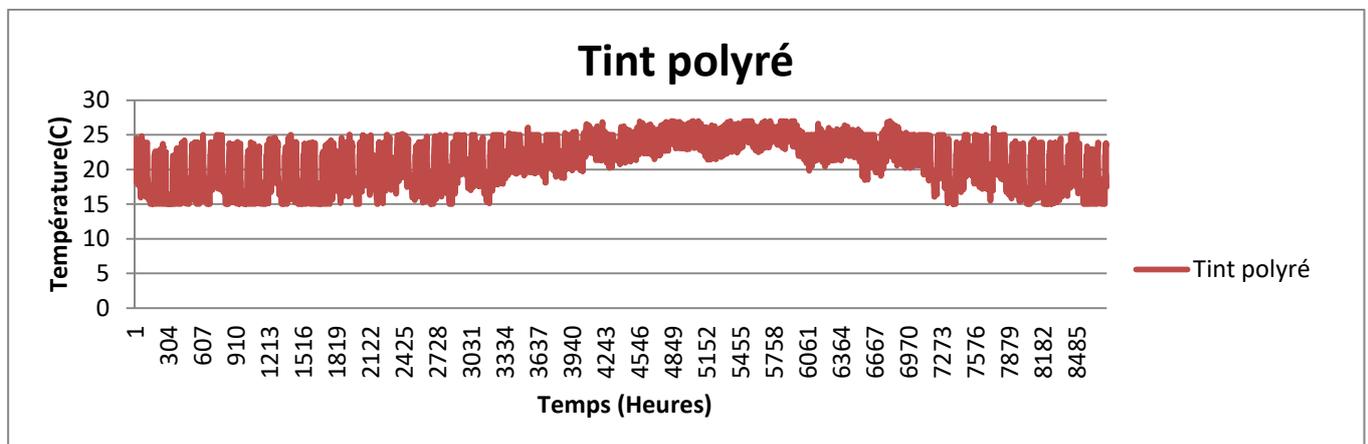


Figure IV.22: La variation de la température intérieure pour le polyuréthane.

La variation de la température intérieure est entre 15°C et 25°C jusqu'au mois de mai à partir de ce mois la température est comprise entre les 20°C à 28°C jusqu'au mois de septembre. L'intervalle change pendant cette période car c'est un période chaude donc la température augmente par rapport aux autres périodes puis la variation de la température revient à son état initial jusqu'au mois de décembre.

- Utilisation du polystyrène :

On étudie la performance énergétique de l'enveloppe de l'étage en changeant la composition des murs en simple parois avec l'isolant polyuréthane qui est caractérisé par une conductivité thermique de 0,14 KJ/h m K, une capacité de 1.38 KJ/Kg K et une densité de 25 Kg/m³ mais on garde la même composition des fenêtres double vitrage avec gaz d'argon.

La figure IV.23 représente la composition du mur simple parois et l'isolant polystyrène avec les épaisseurs détaillées sous le logiciel trnsys.

No.	Layer	Thickness	Type
1	MORTIER	0.015	massive
2	BRIQ_CR_75	0.100	massive
3	POLY_EXP	0.020	massive
4	ENDUIT_EXT	0.030	massive

Figure IV.23: Composition du mur.

La figure IV.24 représente le résultat de la variation de la température intérieure en fonction du temps pendant une année avec une construction simple parois et isolant polystyrène à partir du logiciel TRNSYS.

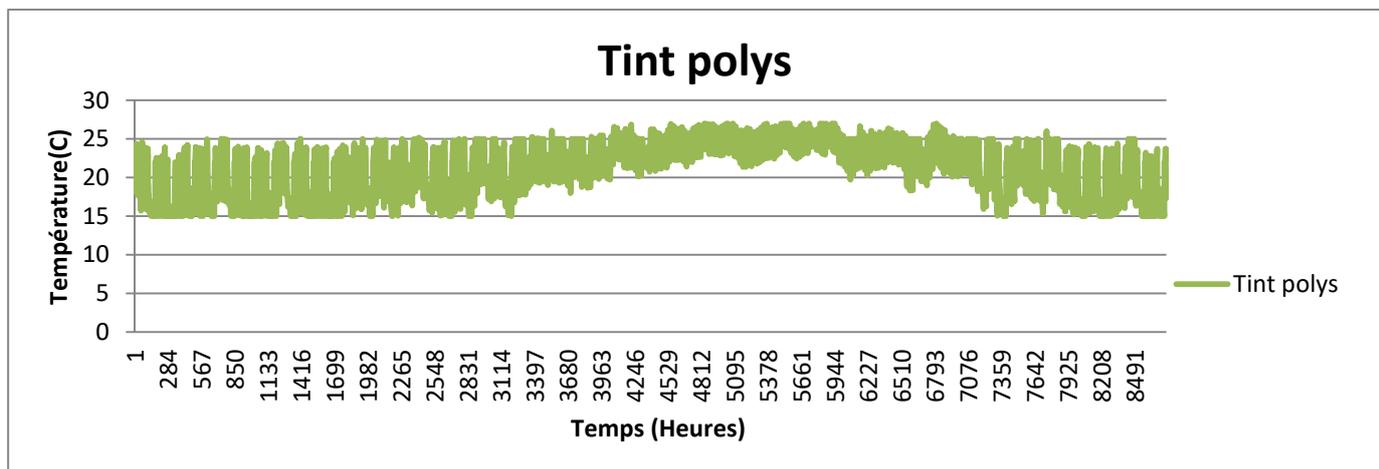


Figure IV.24: La variation de la température intérieure pour le polyuréthane.

On remarque que la variation de la température est entre 15°C et 25 °C à partir du mois de janvier jusqu'au mois de mai et du mois d'octobre jusqu'au mois de décembre pour les autres mois à partir du mois de mai jusqu'au mois de septembre la température est entre 20°C et 28°C car c'est la période la plus chaude de l'année.

- Utilisation de la laine de roche :

On étudie la performance énergétique de l'enveloppe de l'étage en changeant la composition des murs en simple parois avec l'isolant polyuréthane qui est caractérisé par une conductivité thermique de 0,15 KJ/h m K, une capacité de 0.92 KJ/Kg K et une densité de 300 Kg/m³ mais on garde la même composition des fenêtres double vitrage avec gaz d'argon.

La figure IV.25 représente la composition du mur simple parois et l'isolant laine de roche avec les épaisseurs détaillées sous le logiciel trnsys.

front / inside

No.	Layer	Thickness	Type
1	MORTIER	0.015	massive
2	BRIQ_CR_75	0.100	massive
3	LAINÉ_DE_R	0.020	massive
4	ENDUIT_EXT	0.030	massive

back

Figure IV.25: Composition du mur.

La figure IV.26 représente le résultat de la variation de la température intérieure en fonction du temps pendant une année avec une construction simple parois et isolant laine de roche à partir du logiciel TRNSYS.

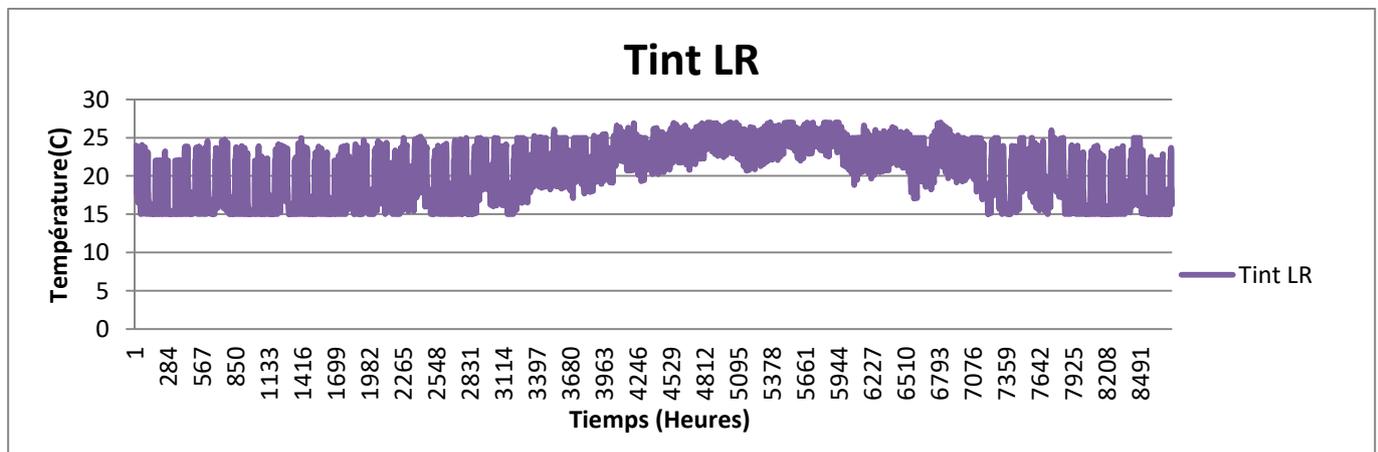


Figure IV.26: La variation de la température intérieure pour la laine de roche.

La variation de la température est comprise entre 15°C et 25°C pour les quatre premiers mois et les trois derniers mois de l'année pour les autres mois. Aussi la température varie entre les 20°C à 28°C et c'est tout à fait normal car c'est une période chaude.

- Comparaison entre les différents isolants :

Dans ce cas on compare entre les différents isolant en comparant le résultat de la variation de la température en utilisant les quatre isolants (laine de verre, polyuréthane, polystyrène, laine de roche) avec la même composition des murs et la même épaisseur pour chaque isolant afin de savoir quel est le plus performant et le plus économique.

La figure IV.27 représente le résultat de la variation de la température intérieure en fonction du temps pendant toute une année pour les quatre isolants.

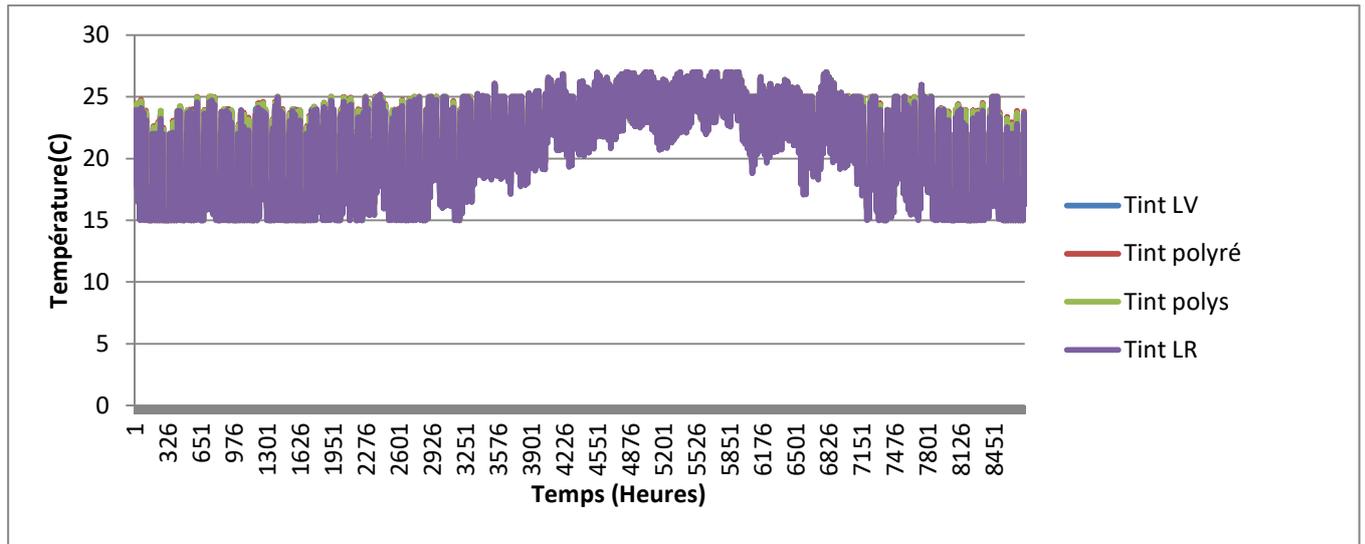


Figure IV.27: La variation de la température intérieure pour les quatre isolants.

- On remarque une légère différence de 1°C pour la température entre les quatre isolant pendant les 4 premiers mois et trois derniers mois de l'année, par contre pour les autres mois il n y a aucune différence. Cette légère différence est dû au fait que les quatre isolants ont une conductivité thermique assez proche donc il n y a pas une grande influence sur la variation de la température intérieure car elle se rapproche de la température de confort pour offrir le confort hygrothermique aux propriétaires.
- on remarque que les quatre isolants offre une bonne isolation thermique ce qui implique que ce sont de très bon isolants donc pour le coté économique, l'idéale est de choisir le polystyrène qui est le moins cher sur le marché et le plus disponible en Algérie.

IV.3. Etude de la performance énergétique de l'enveloppe de l'étage en utilisant le polystyrène avec différentes épaisseurs :

Dans cette partie on étudie la variation de la température intérieure de l'étage en utilisant un mur simple parois et du polystyrène comme isolant avec différentes épaisseurs (2cm, 3cm, 8cm) afin de voir l'influence des épaisseurs sur la température.

La figure IV.28 représente la composition du mur en utilisant le polystyrène comme isolant pour une épaisseur de 2 cm, 5cm, 8cm.

No.	Layer	Thickness	Type	No.	Layer	Thickness	Type	No.	Layer	Thickness	Type
1	MORTIER	0.015	massive	1	MORTIER	0.015	massive	1	MORTIER	0.015	massive
2	BRIQ_CR_75	0.100	massive	2	BRIQ_CR_75	0.100	massive	2	BRIQ_CR_75	0.100	massive
3	POLY_EXP	0.020	massive	3	POLY_EXP	0.050	massive	3	POLY_EXP	0.080	massive
4	ENDUIT_EXT	0.030	massive	4	ENDUIT_EXT	0.030	massive	4	ENDUIT_EXT	0.030	massive

Figure IV.28: La composition du mur pour les trois épaisseurs.

La figure IV.29 représente la variation de la température intérieure en utilisant le polystyrène mais pour trois épaisseurs.

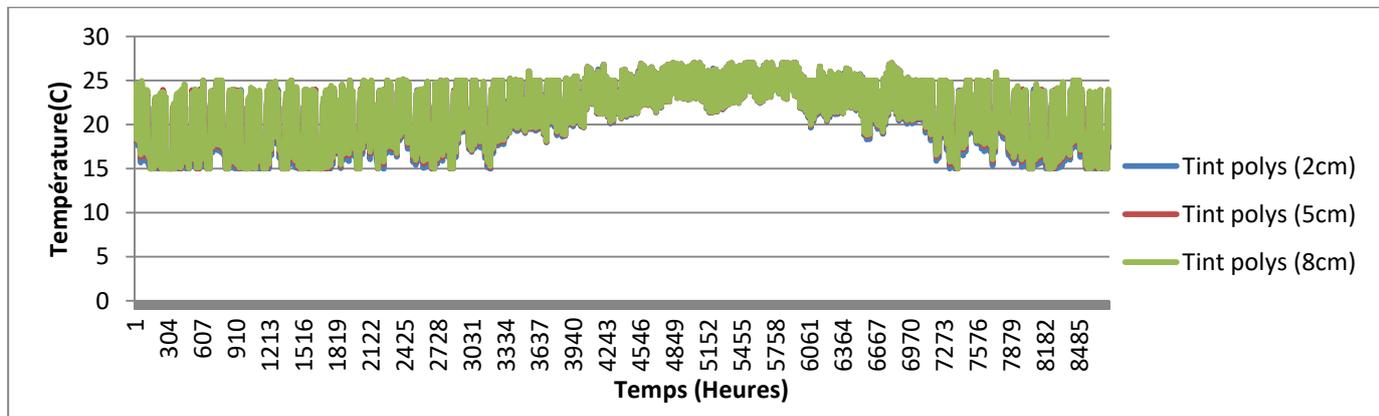


Figure IV.29: La variation de la température pour les trois épaisseurs de l'isolant.

- On remarque qu'il n'y a pas une très grande différence entre la variation de la température intérieure pour les trois épaisseurs. D'où le polystyrène permet d'avoir une bonne isolation pour ces différentes épaisseur alors le meilleure est de choisir l'épaisseur la plus petite car c'est plus économique et ça permet de gagner dans la surface avec une isolation bien adapté.

IV.4. Etude de la performance énergétique de l'enveloppe de l'étage en comparant entre la construction réelle et la construction avec simple paroi et le polystyrène comme isolant:

Dans cette partie, notre but est de comparer la température intérieure entre la construction actuelle réalisée avec des murs double parois et la lame d'air come isolant et la construction avec des murs simple parois avec le polystyrène comme isolant.

La figure IV.30 représente la différence de la variation de la température intérieure entre la construction réelle et la construction avec un mur simple parois et le polystyrène.

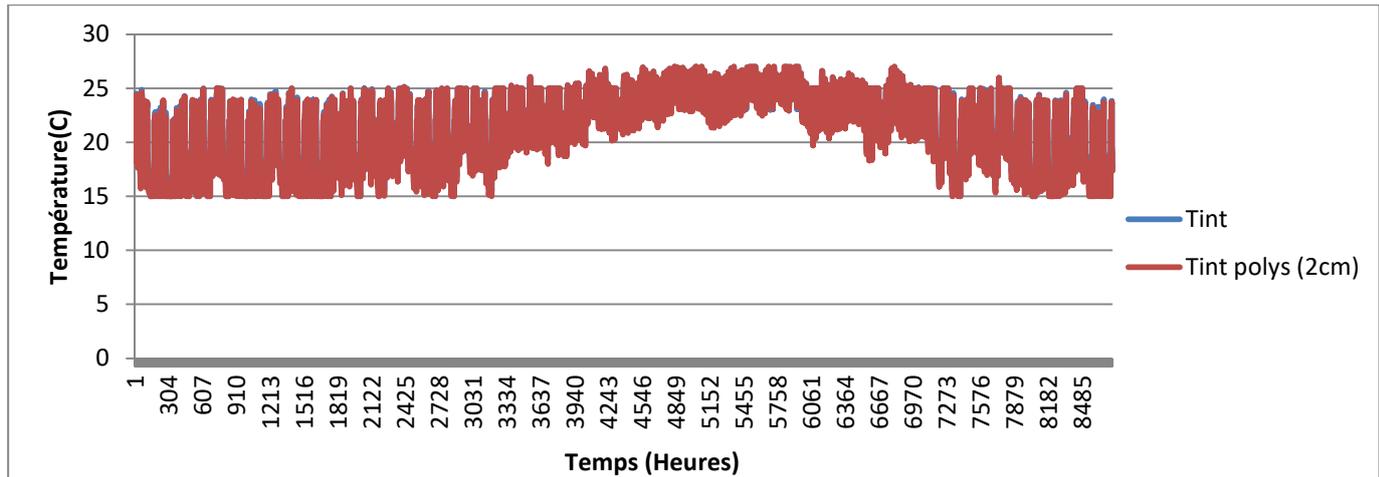


Figure IV.30: La variation de la température des deux compositions des murs.

- Il existe une légère différence entre la variation de la température intérieure pour les deux compositions des murs ; comme il n'y a pas une très grande différence entre une construction avec des murs double parois et un isolant lame d'air et une construction avec des murs simple parois avec des murs simple parois et le polystyrène comme isolant il vaut mieux construire un bâtiment avec des murs simple paroi et le polystyrène comme isolant car c'est plus économique.
- L'utilisation d'un mur simple parois avec une épaisseur de 2 cm d'isolant polystyrène qui donne un total de 16.5 cm de toute l'épaisseur du mur permet de gagner plus de surface par rapport à un mur double parois avec une épaisseur de 5cm de lame d'air qui donne un total de 34.5 cm.

V. Conclusion :

On conclue que la conception de l'enveloppe de la clinique est très bien faite, car au niveau de l'isolation thermique tous est suivi à la norme que ça soit pour la composition des murs extérieurs qui sont bien isolés ainsi que les fenêtres. Ceci permet de réduire la consommation du chauffage pendant la période d'hiver et la consommation de la climatisation pendant la période d'été et d'offrir le confort hygrothermique demandé tout en réduisant la consommation d'énergie.

En ce qui concerne la comparaison entre les différents isolants on conclue que le polystyrène est le meilleur isolant parmi les trois autres car c'est le moins chère et le plus disponible en Algérie et permet d'avoir une bonne isolation thermique.

En comparant entre la construction réelle celle d'un mur double parois et 5 cm de lame d'air avec un mur simple paroi et 2cm de polystyrène, on trouve qu'il n'y a pas de différence entre la variation de la température. D'où l'idéal pour les nouvelles constructions est d'utiliser un mur simple paroi avec 2 cm de polystyrène afin de gagner 18cm pour chaque mur ce qui implique que la surface va s'agrandir. De point de vue économique, le polystyrène est moins cher et disponible en Algérie.

Conclusion Générale

A ce jour, en Algérie, le secteur du bâtiment se classe en tête de plus gros consommateur d'énergie. Il tient une part de 25 à 30 % des émissions des gaz à effet de serre. Ces émissions provoquent une hausse de températures remarquable qui représente une menace potentielle pour les écosystèmes, mais aussi pour les humains ; cette hausse de températures affecte directement le comportement thermique du bâtiment dont les usagers seront obligés d'augmenter en plus la consommation énergétique afin de maintenir le confort hygrothermique. Pour réduire potentiellement la consommation de cette énergie le recours vers l'efficacité énergétique devient une évidence. Pour une meilleure transition énergétique des bâtiments, il faut avoir une bonne isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment en tenant compte de toutes les techniques d'améliorations offrant le confort interne tels que : l'éclairage, la ventilation, les équipements électro-ménagers...etc Pour cela l'objectif de notre mémoire est de contribuer à l'amélioration des performances énergétiques des bâtiments en Algérie.

En première étape, Nous avons définis les enjeux du suivi des bâtiments et divers éléments ainsi que la réglementation essentielle à l'efficacité énergétique. On a également définis les différents acteurs, la méthodologie et les points clés du suivi de la performance énergétique des bâtiments.

En seconde étape, nous avons défini le but d'un audit énergétique pendant le suivi des performances énergétiques du bâtiment. Ainsi que l'importance et l'utilité d'un rapport d'audit énergétique. Et les éléments de mesures utilisés durant le suivi.

Pour faire valoriser cette notion d'efficacité énergétique vers la transition énergétique du bâtiment, nous avons présenté une partie entière sur les techniques d'amélioration par rapport aux différents paramètres énergétiques liés aux équipements d'installation et les matériaux de construction.

En dernière partie, en partant des détails sur les caractéristiques et les mesures de l'enveloppe de la clinique médicale, nous avons étudié l'impact des types et des dimensions des matériaux isolants sur le confort hygrothermique de l'étage de la clinique. Par la simulation sous le logiciel Trnsys l'amélioration de la performance de l'enveloppe du bâtiment est investiguée dont une synthèse sur les résultats est obtenue tout en variant sur la composition et la taille des murs extérieurs.

Références Bibliographiques

Les Références :

- [1] – F.Touloum & Al. (2016) «*Formulation of a composite of date palm wood-cement*», J. Appl. Eng. Sci. Technol. 2(2): 57-63
- [2] – B.Berami (2018) «*Guide méthodologique: Comment suivre la performance d'un bâtiment*», Effinergie, Bulletin Envirobatbdm.
- [3] – F.Sahnoun & Al. (2013) «*Climate Change in Algeria: Vulnerability and Strategy of Mitigation and Adaptation*», Energy Procedia, ELSEVIER, Volume 36, 2013, Pages 1286-1294.
- [4] – ADEME (2018) «*Intégration de la qualité d'usage dans les bâtiments de demain : de la programmation à l'exploitation* », Guide qualité usage.
- [5] – Laura d'in sunwe trust (2022) «*RE 2020 (ou RT 2020) : Tout sur la nouvelle Réglementation*», Bulletin d'information In Sun We Trust, 16 Février 2022.
- [6] – BATIADVISOR (2022) «*normes de construction : quelles sont les règles applicables ?* », Bulletin d'information.
- [7] – Architecte de Bâtiment (2019) «*Le maître d'œuvre (MOE)* » Bulletin d'information 27 Février 2019.
- [8] – ENEOR (2011) «*Efficacité Energétique : Protocole IPMVP*», Bulletin d'information IPMVP 11 Mars 2011.
- [9] – AFNOR (2011) «*Systèmes de management de l'énergie* », Bulletin d'information AFNOR 15 Juin 2011.
- [10] – PREBAT (2010) «*Vers des bâtiments à énergie positive*», Journées thématiques PREBAT, 31 Mars et 1^{er} Avril 2010.
- [11] – Engie (2022) «*Tele-releve, de quoi s'agit t'il*», Bulletin d'information, Engie, Le potail pour les pros.
- [12] – Automatronic, «*Gestion technique centralisée*», Bulletin d'information.
- [13] – Ascoreal (2018), «*5 étapes-clés pour mener vos projets immobiliers*», Bulletin d'information.
- [14] – M KRARTI & Al. (2016) «*Guide technique d'audit énergétique*», Mines Paris Tech, Presse des Mines, 7-37, 2016

Références Bibliographiques

- [15] – F.KARAMANI (2022), « *Energy Audits and Energy Management in buildings* », MeetMed Training course on “Integration of Energy Efficiency (EE) and Renewable Energy Sources (RES) in buildings 27 February 2020, Tunis
- [16] – SYLLABUS (2018) «Energy Management and Audit», Bulletin d’information, Bureau of Energy Efficiency, Beeindia, 54-78.
- [17] – EST-USMBA (2022) «Audit Energétique», Cours en Ligne, Université de Fès, Cours téléchargé le 31 Mars 2022.
- [18] – FLUKE (2022) «*How infrared cameras work*», Thermal imaging, 101 Learning.
- [19] – ElProCus (2020) «*What is a Clamp Meter : Construction & Its working*», Bulletin d’information Electronics Projects Focus.
- [20] –Batiproducts (2014) «*Analyseur de combustion*», Bulletin d’information, 01 janvier 2014 , Groupe AFRISO
- [21] –Directindustry «*Détecteur de fuites à ultrasons*», Bulletin d’information, Groupe Virtualexpo
- [22] – ADEME (2014) «*CDC Ademe Audit Energetique Dans Les Batiments*», Collection des cahiers des charges d’aide à la décision, Version 17 Décembre 2014.
- [23] – USDENERGY (2014) «*Windows and Building Envelope Research and Development : Roadmap for Emerging Technologies*», Energy Efficiency & Renewable Energy, Building Technologies Office, February 2014.
- [24] – USADENERGY (2015) «*Chapter 5: Increasing Efficiency of Building Systems and Technologies*», Quadrennial technology review an assessment of energy technologies and research opportunities, September 2015.
- [25] – S RAHMOUNI (2020), «*Evaluation et Amélioration Energétiques de Bâtiments dans le cadre du Programme National d'Efficacité Energétique*», Thèse de Doctorat, Université de BATNA, 29 Janvier 2020.
- [26] – F HOWE (2018) «*How to Achieve R-21 in a 2x4 Wall*», Newsletter Home Guides SFGATE, 19 Decembre 2018.
- [27] – B RADDATZ (2021) «*Building Walls, Roofs, and Foundations*», Canal Gliwicki, 6 Juin 2021.
- [28] – USEPA (2014) «*Indoor Air Quality (IAQ)*», Environmental Protection Agency, EPA, 2014.

Références Bibliographiques

- [29] – RNCAN (2021) «*Emprisonnons la chaleur - Section 4 : Mettre fin aux fuites d'air dans votre maison*», Bulletin d'information, 26 Avril 2021
- [30] – 3MS (2022) «*Contrôlez la circulation d'air en toute confiance*», Batiment et Construction, 3Mscience,Au service de la Vie, 2022.
- [31] – P BOYCE & Al. (2003) «*The Benefits of Daylight Through Windows*», US department of Energy, Lighting Research Center, 12 Septembre 2003.
- [32] – GSA Public Building Service (2014). «*Thermochromic and Electrochromic windows*» Washington, DC: GSA, 2014. Available at: <http://www.gsa.gov/portal/mediaId/188003/fileName/Smart-Windows-Findings-508.action>.
- [33] – USEPA (2014) «*Emerging Technology Award : winning Advanced Clothes Dryer Models*», Energy Star 2014.
- [34] – DGCCRF (2021) «*Le 1er mars 2021, les étiquettes énergétiques changent pour plusieurs équipements électroménagers*», Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes, 25 Février 2021.
- [35] – CEC (2020) «*Staff Recommendations for the 2022 Energy Code*», California Energy Commission, Acceptance Test Technician Certification Provider Program, Staff Report, Juin 2020
- [36] – ESCAP (2011) «*Guidelines for strengthening energy efficiency planning and management in asia and the pacific*», Economic and social commission for asia and the pacific, United Nations, Rapport Avril 2011.
- [37] – MEMDZ (2022) «*Tableau récapitulatif des émissions de CO2 à éviter à l'horizon 2030*», Energies Renouvelables Et Efficacité Energétique, Ministère Algérien de L'Energie et des Mines.
- [38] – MTEER (2022) «*Amélioration de la performance énergétique du secteur résidentiel et tertiaire*», Rapport du Ministère Algérien de la Transition Energétique et Energies Renouvelables.
- [39] – USEIA (2022) «*Use of energy explained Energy efficiency and conservation*», US Energy Information Administration, 21 Janvier 2022
- [40] – I YUKSEK & Al. (2019) «*Use of Renewable Energy in Buildings*», Renewable Energy Books, 5 Fevrier 2019. DOI: 10.5772/intechopen.93571.