



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic Republic of Algeria
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم
University Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculty of Sciences and Technology
قسم الهندسة المدنية والمعمارية
Civil engineering & architecture department



N° d'ordre : M/GCP/2020

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTER PROFESSIONNALISANT

Filière : Génie civil

Spécialité : Efficacité Energétique des Bâtiments

Thème

Simulation d'un bâtiment avant et après la réhabilitation

Présenté par : Mme Abdellaoui Zahira

Soutenu le -- / -- / 2020 devant le jury composé de :

Présidente : Pr LAREDJ Nadia

Examineur: Pr MISSOUM Hanifi

Encadrant : Dr MALIKI Mustapha

Année Universitaire : 2019 / 2020



Erasmus+

Proemed 

DEDICACES

D'un simple geste tracé par écrit mais qui jaillie d'un profond sentiment de reconnaissance, permettez-moi de citer des noms comme un mémorandum pour ceux qui ont une place particulière dans mon cœur.

A ma grande lumière qui illumine ma vie et qui me donne encore de l'espoir et pour le simple fait qu'elle soit ma mère.

À mon père que Dieu lui accorde une longue vie.

Qui sans eux ce travail n'aurait jamais vu le jour.

A mes frères Ilies, Abdeldjalil et mustafa et ma sœur Narimene et Aya.

A mes chers amies Amira ,Nour ,Hanan, Meriem et Yousra

A mes camarades d'EEB

A. Zahira

REMERCIEMENTS

Merci Dieu de m'avoir donné la force et la volonté d'accomplir ce modeste travail.

Je tiens à exprimer mes remerciements et toute ma gratitude à mon encadreur
Dr Maliki Mustapha.

Les membres de jury qui ont pris la peine d'examiner et de juger mon travail.

Ainsi qu'à toute l'équipe pédagogique pour leur patience, générosité,
disponibilité et judicieux conseils.

Résumé

Le but de ce mémoire est de maîtriser le concept d'efficacité énergétique des bâtiments.

Dans les nouvelles constructions, le coût de l'énergie prédit, associé aux différentes tâches de conception, peut inciter les propriétaires et constructeurs à prendre la meilleure décision concernant l'efficacité énergétique. Dans notre travail on a fait une simulation pour un bâtiment avant et après la réhabilitation pour remarquer la différence d'énergie économisée.

L'utilisation de cette étude du logiciel TRNSys a permis le développement d'un modèle de bâtiment existant et d'estimer sa consommation énergétique. Le cas étudié est validé en s'appuyant sur une comparaison entre les résultats avant d'appliquer les mesures de l'efficacité énergétique et après de les intégrer.

Abstract

The aim of this thesis is to master the concept of energy efficiency in buildings.

In new construction, the predicted cost of energy, combined with different design tasks, can influence homeowners and builders to make the best decision about energy efficiency. In our work we did a simulation for a building before and after refurbishment to notice the difference of saving energy.

The use of this study of the TRNSys software allowed the development of an existing building model and to estimate its energy consumption. The studied case is validated by relying on a comparison between the results before applying the energy efficiency measures and after integrating them.

ملخص

الهدف من هذه الأطروحة هو إتقان مفهوم كفاءة الطاقة في البناء الجديد، يمكن أن تدفع التكلفة المتوقعة للطاقة، جنباً إلى جنب مع مهام التصميم المختلفة، مالكي المنازل والبناء لاتخاذ أفضل قرار بشأن كفاءة الطاقة. قمنا بعمل محاكاة لمبنى قبل وبعد التجديد لملاحظة أهمية توفير الطاقة.

بتطوير نموذج بناء قائم وتقدير استهلاكه للطاقة. TRNSys سمح استخدام هذه الدراسة لبرنامج يتم التحقق من صحة الحالة المدروسة على أساس المقارنة بين النتائج قبل تطبيق مقاييس كفاءة الطاقة وبعد دمجها.

Sommaire

Nomenclature	10
Liste des figures	11
Liste des tableaux	13
Introductive	15
1. Introduction générale.....	15
2. Introduction thématique	16
3. Problématique.....	16
4. Hypothèse.....	17
5. L'objectif.....	17
CHAPITRE I : Etude comparative de consommation de l'énergie	18
1. Définition et généralités sur l'économie des énergies.....	18
• Economie	18
• L'Energie	18
• Les différentes énergies	19
• Généralités	19
2. Consommation par produit et par secteur en Algérie.....	20
3. Evolution de la Consommation d'électricité par secteur en Algérie [1970-2018]	23
4. La consommation d'électricité dans le secteur industriel et le secteur résidentiel	24
5. La contribution de système solaire photovoltaïque dans le secteur résidentiel en Algérie	26
6. Politique d'efficacité énergétique international	27
7. Economie des énergies en Algérie, Politique et réglementation.....	28
• Principes et objectifs.....	28
• Modalités de concrétisation de la maîtrise de l'énergie.....	29

• Normes et exigences d'efficacité énergétique.....	30
• Le programme national de maîtrise de l'énergie.....	30
• Domain d'application le DTR	31
8. Conclusion :.....	33
Chapitre II: mécanisme de chaleur.....	35
1. Généralités sur mécanisme de chaleur	35
1.1. Introduction :	35
1.2. Définitions de base	35
1.3. Les modes de transfert thermique	38
1.4. Analogie électrique	43
2. Transfert de chaleur dans le bâtiment.....	44
2.1. Introduction	44
2.2. Comportement thermique en régime stationnaire	44
2.3. Transfert unidirectionnel, cas d'un mur	47
2.4. Conditions aux limites.....	50
3. Conclusion.....	51
3. Déperdition thermique.....	52
3.1. Déperdition thermique : présentation d'un problème majeur.....	52
3.2. Un phénomène aux conséquences lourdes.....	52
3.3. La solution : isolation et VMC double flux	53
4. L'isolation thermique et matériaux isolants	54
4.1. Introduction	54
4.2. Définitions.....	55
4.3. Le but de l'isolation thermique	56
4.4. Techniques d'isolation thermique	59

4.5. Avantages de l'isolation thermique	61
4.6. Inconvénients de l'isolation thermique	61
4.7. Isolation thermique des murs dans le bâtiment	62
4.8. Les types d'isolants	62
4.9. Rôle d'un isolant	63
4.10. Choix d'un matériau isolant	64
4.11. L'isolation du vitrage	67
CHAPITRE III : Solutions et techniques d'efficacité énergétique	69
1. Introduction	69
2. Définitions	69
• Efficacité énergétique	69
• Démarche et étapes de l'efficacité énergétique	70
• Efficacité énergétique dans le bâtiment	71
• Bâtiment à Basse Consommation	72
• Bâtiments bioclimatiques	74
• Construction durable.....	74
3. Les clés de l'efficacité énergétique	75
Chapitre IV : Matériels et méthodes	77
Chapitre IV : Matériels et méthodes	78
Introduction:	78
Objectif de l'étude:	78
1. Paramètre du bâtiment (cas de base):	78
1.1. Dimensions et zonage du projet :	78
1.2. Caractéristiques thermiques des matériaux	80
1.3. Méthodologie de l'étude des besoins énergétiques:	80

1.4. Outils de simulation	81
1.4.1. Logiciel de simulation :	81
Présentation du logiciel TRNSYS	81
1.3. Les données météorologiques:	82
1.4. Etat des lieux des besoins thermiques du cas de base :	83
2. Les mesures d'efficacité énergétique:	84
2.1. La compacité du bâtiment :	85
2.2. La répartition des pièces:.....	86
2.3. Les types de fenêtres:	88
2.4. Les surfaces vitrées	88
2.5. Les types des matériaux de construction:.....	88
2.6. L'impact de l'isolation:	89
2.7. La protection solaire permanente:	89
3. Conclusion:.....	90
Chapitre V : Résultats et discussion	91
Chapitre V : Résultats et discussion	92
1. Introduction :	92
2. Résultats de la simulation:.....	92
2.1. L'impact des mesures d'efficacités énergétiques passives :	92
2.1.2 La répartition des pièces:.....	93
2.1.3 Les types de fenêtres:	94
2.1.5 Les types des matériaux de construction:.....	98
2.1.6 L'impact de l'isolation:	98
2.1.7 La protection solaire permanente:	99
3. Discussions:.....	100

3.1. Analyse des résultats :	100
3.2. Le cas optimisé :	104
4. CONCLUSION :	106
ANNEXE	107
• La Loi n° 99-09 relative à la maîtrise de l'énergie :	107
Bibliographie	112

Nomenclature

Q : quantité de chaleur (J).

t : temps (s).

R : résistance thermique (K/W).

λ : conductivité thermique (W/m.K).

r_v : résistance thermique de convection (K/W).

r_c : résistance thermique de conduction.

h : coefficient d'échange par convection (W/m² .K).

dS : surface d'échange élémentaire (m²).

dt : intervalle de temps élémentaire (s).

e : épaisseur du mur (m).

S : section transversale de mur (m).

DU : différence de potentiel (V).

Φ : flux de chaleur (W)

S : surface (m²)

C : chaleur spécifique (J/Kg.K)

T : température (K) ou (°C).

φ : densité de flux de chaleur (W/m²).

a : diffusivité thermique (m² /s).

BBC : bâtiment basse consommation.

HQE : Haute Qualité Environnementale.

Liste des figures

Figure 1 : Répartition de la consommation finale par forme d'énergie en Algérie (APRUE1 - EDITION 2015)	20
Figure 2 : Répartition de la consommation finale par secteur d'activité en Algérie (APRUE- EDITION 2015)	21
Figure 3:l'évolution de la consommation d'électricité en Algérie [1970-2018]	22
Figure 4: L'évolution de la consommation d'électricité dans le secteur de l'industrie (CEI) et le secteur résidentiel (CER).	23
Figure 5: Evolution de la consommation d'électricité dans le secteur résidentiel (CER) et le secteur Industriel et BTP(CEI) en Algérie durant la période (1970-2018) en KTEP	24
Figure 6:Le potentiel des énergies renouvelables en Algérie (CDER2 - EDITION 2015).....	26
Figure 7:Les modes de transfert thermique.....	36
Figure 8:Transfert de chaleur par conduction.	38
Figure 9:Transfert thermique par convection.....	40
Figure 10:Répartition du rayonnement solaire reçu par une surface.	42
Figure 11:Schéma électrique équivalent des résistances thermiques parallèles.....	43
Figure 12:Schéma électrique équivalent des résistances thermiques en série.....	43
Figure 13:Schéma présentant l'évolution du flux.	45
Figure 14:Bilan thermique sur un mur simple.	47
Figure 15:Schéma électrique équivalent.	48
Figure 16:Flux et températures dans un mur multicouches.	49
Figure 17:Schéma électrique équivalent.	49
Figure 18 : La déperdition thermique dans un bâtiment.	53
Figure 19:Différence entre bâtiment isolé et bâtiment mal isolé.	55
Figure 20:Exemple des pertes de chaleur par caméra infrarouge.	56
Figure 21:Exemple sur les ponts thermiques (en orange).	57
Figure 22:Exemple sur les parois froides.	58

Figure 23:Exemple sur la condensation.	58
Figure 24:Exemple sur l'isolation par intérieur.	59
Figure 25:Exemple sur l'isolation par extérieur.....	60
Figure 26:Exemple sur l'isolation intégrée.	61
Figure 27:Les RT 2000-2020.	72
Figure 28:Plan générale du cas de base.....	79
Figure 29:L'évolution mensuelle des besoins énergétiques.	84
Figure 30:Montant des factures énergétiques mensuelles.....	84
Figure 31:Dimensions de la protection solaire.....	90
Figure 32:Besoin énergétique annuel (Compacité du bâtiment).....	93
Figure 33:Besoin énergétique annuel (Répartition des pièces).....	93
Figure 34:Besoin énergétique annuel (Simple vitrage, façade Est).	94
Figure 35 : Besoin énergétique annuel (Simple vitrage, façade Nord).	95
Figure 36:Besoin énergétique annuel (Simple vitrage, façade Sud).	95
Figure 37:Besoin énergétique du chauffage en fonction des surfaces vitrées ; simple vitrage.	96
Figure 38:Besoin énergétique de la climatisation en fonction des surfaces vitrées ; simple vitrage.....	96
Figure 39:Besoin énergétique du chauffage en fonction des surfaces vitrées double vitrage peu émissif.	97
Figure 40:Besoin énergétique de la climatisation en fonction des surfaces vitrées double vitrage peu émissif.	97
Figure 41:Besoin énergétique total en fonction des surfaces vitrées double vitrage peu émissif.	97
Figure 42:Besoin énergétique annuel (Types des matériaux).	98
Figure 43:L'évolution du besoin énergétique annuel (L'impact de l'isolation).	98
Figure 44:Dimensionnement de la protection solaire.	99
Figure 45:Besoin énergétique annuel (Protection solaire permanente).....	99

Liste des tableaux

Tableau 1:L'évolution de la consommation d'électricité dans le secteur résidentiel (CER) et industriel (CEI).....	25
Tableau 2:Caractéristiques thermique des matériaux de construction	64
Tableau 3:Caractéristiques thermiques de quelques isolants.....	64
Tableau 4:Épaisseurs nécessaires pour obtenir une isolation aux normes BBC.....	65
Tableau 5:Caractéristiques thermiques du PSE.....	66
Tableau 6:Zones et dimensions du cas de base.....	79
Tableau 7:Caractéristiques thermiques des matériaux.....	80
Tableau 8:Evolution annuelle de la température intérieure.....	83
Tableau 9:Zones et dimensions des formes (Compacité du bâtiment).....	86
Tableau 10:Zones et dimensions des formes (Répartition des pièces).....	87
Tableau 11:Caractéristiques des fenêtres.....	88
Tableau 12:Caractéristiques thermiques des matériaux.....	89
Tableau 13:Besoin énergétique annuel (Compacité du bâtiment).....	92
Tableau 14:Besoin énergétique annuel (Répartition des pièces).....	93
Tableau 15:Besoin énergétique annuel (Type de fenêtres).....	94
Tableau 16:Besoin énergétique annuel (Simple vitrage, façade Nord).....	94
Tableau 17:Besoin énergétique annuel (Simple vitrage, façade Sud).....	95
Tableau 18: Besoin énergétique annuel (Types des matériaux).....	98
Tableau 19:Besoin énergétique annuel (Protection solaire permanente).....	99

Introductive

Introductive

1. Introduction générale

Aujourd'hui, la thématique de l'efficacité énergétique, notamment dans le secteur du bâtiment, dispose d'une réelle opportunité de développement dans le monde. Le bâtiment devient soudainement un enjeu central de deux défis planétaires majeurs : le changement climatique et l'approvisionnement énergétique. Le secteur du bâtiment en Algérie (le résidentiel et le tertiaire) consomme plus de 40% du total de l'énergie, contre 46% en Europe, et de 19% des rejets de CO₂ dans l'atmosphère, contre 25% ailleurs. Ce secteur représente un potentiel énorme d'efficacité énergétique et de réduction des gaz à effet de serres. Pour ce bâtiment (secteur résidentiel et tertiaire), certes, le concepteur devra continuer à assurer l'abri et le confort de l'utilisateur, mais devra également faire en sorte que l'impact du bâtiment sur l'environnement soit minimisé.

La consommation d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir. En effet, les besoins énergétiques des sociétés industrialisées ne cessent d'augmenter. Par ailleurs, les pays en voie de développement auront besoin de plus en plus d'énergie pour mener à bien leur développement. De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir de sources fossiles. La consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution.

Les raisons de réaliser des économies d'énergie sont nombreuses.

A l'échelle collective, cela répond au besoin de protéger l'environnement, touché à la fois par les effets de la consommation énergétique (les émissions de CO₂), et l'exploitation des ressources non renouvelables d'énergie. Ressources qui sont également un enjeu important dans les relations stratégiques internationales, chacun essayant de diminuer sa dépendance énergétique vis -à- vis des autres pays. Même si en réalité, c'est plus souvent la sécurisation des approvisionnements qui est mise en pratique.

A l'échelle individuelle, consommer moins d'énergie, C'est dans un premier temps l'attitude des personnes face à leur consommation d'énergie qui est observée. Ensuite, cela

permet de diminuer sa facture énergétique, ce qui est d'autant plus important dans un contexte de prix de l'énergie élevé.

2. Introduction thématique

L'Algérie est un pays qui a un grand problème dans l'augmentation de consommation d'énergie. Il est donc nécessaire de réduire les besoins énergétiques tout en améliorant l'efficacité énergétique, notamment dans le secteur du bâtiment. Celui-ci offre des possibilités de réduction considérable de la consommation énergétique, notamment par l'amélioration de l'isolation thermique des enveloppes.

Ainsi, l'efficacité énergétique dans les bâtiments et l'isolation thermique des enveloppes constituent un domaine de recherche très important et ont connu un grand développement ces dernières années

Plusieurs études numériques et expérimentales ont été réalisées sur l'efficacité énergétique et sur l'optimisation des bâtiments. Toutes ces études appliquent les solutions ou les techniques d'efficacité énergétique des bâtiments pour obtenir le meilleur confort avec moins de consommation d'énergie « faire mieux avec moins »

3. Problématique

Suite à la crise pétrolière survenue depuis maintenant plus d'un an, l'Algérie fait face à de grandes difficultés financières. Déjà déficitaire à hauteur de 25 milliards de dollars en 2015, l'État devrait enregistrer un déficit de près de 30 milliards de dollars en 2016 une défaillance qui sera durement ressentie en 2017.

Cependant dans ce contexte de crise, le ministère des énergies et des mines affirme que la consommation nationale d'énergie a poursuivi sa croissance de janvier à septembre 2015, pour atteindre 43 millions de tonnes équivalent pétrole (TEP) (contre 40 millions de TEP sur la même période de 2014), soit une hausse de 7,5%. Toutefois, le ministre, qui affirme son orientation vers l'énergie renouvelable en signant la convention de Paris estime que l'énergie solaire est notre avenir mais le présent reste sombre et il est bien difficile d'évaluer ses potentialités de développement à court terme, sachant que le Programme National des Energies Nouvelles et Renouvelables s'étend jusqu'à l'année 2030.

Sur plan architectural et urbain, la question de l'économie des énergies se pose avec acuité, les chiffres sont alarmants, SONELGAZ affirme que la consommation annuelle d'électricité et de gaz naturel est immense notamment en ce qui concerne les bâtiments publics où la consommation irraisonnable des énergies s'est répercuté sur les chiffre d'affaire de l'entreprise actuellement déficitaire.

Ainsi si l'intégration des énergies renouvelable en avènement devra encore prendre quelque temps pour se généraliser, **comment peut-on agir dans l'immédiat pour rationaliser la consommation énergétique dans les bâtiments publics ?**

Si les bâtiments publics affichent des chiffres très importants en matière de consommation énergétique,

Quelles seront les solutions pour démineur la consommation d'énergie dans les bâtiments ?

4. Hypothèse

Réduire la consommation peut être une solution pour les bâtiments, dont la consommation conventionnelle en énergie primaire, pour le chauffage, le refroidissement, la ventilation, la production d'eau chaude sanitaire, l'éclairage et les auxiliaires techniques (pompes...), est inférieure à la consommation normale règlementaire. A travers des principes d'efficacité énergétiques des bâtiments, la conception de l'édifice (orientations, traitement des façades par orientation, apport de lumière naturelle), une forte isolation thermique, une parfaite étanchéité à l'air de l'enveloppe extérieure et des réseaux, une bonne performance des équipements techniques (éclairage, chaudière, pompe...).

5. L'objectif

Consiste à Diagnostiquer et diminuer la consommation énergétique des équipements afin de proposer des solutions architecturales (orientation, matériaux, conception...etc.) dans une optique de rationalisation de la consommation énergétique .

CHAPITRE I : Etude comparative de consommation de l'énergie

1. Définition et généralités sur l'économie des énergies

- **Economie**

Nom féminin (latin *oconomia*, du grec *oikonomia*, organisation) - Ensemble des activités d'une collectivité humaine relatives à la production, à la distribution et à la consommation des richesses.

- **L'Energie**

De tout temps, l'homme a eu besoin de l'énergie pour se nourrir se mouvoir. Celle-ci existe sous plusieurs formes. Aujourd'hui, la technologie permet d'en produire en grande quantité, en utilisant toutes les ressources possibles (fossiles, eau, vent, soleil...). L'énergie est un enjeu majeur, tant au niveau politique, économique, scientifique que qu'environnemental...

Selon Depecker, le concept de l'énergie peut s'introduire dans l'architecture à travers deux thèmes principaux :

– Le coût énergétique « initial » de l'ouvrage se forme à partir du coût énergétique des matériaux utilisés, et du coût de la construction

– Le coût énergétique « vécu » de l'ouvrage qui correspond à la consommation en chauffage ou climatisation, éclairage et alimentation

L'énergie apparaît sous plusieurs formes : le mouvement, la chaleur, la lumière, les réactions chimiques et l'électricité. On dit que l'énergie est présente dans les sources d'énergie telles que le bois, le vent, les aliments, le gaz naturel, le charbon, le pétrole et au Cœur des noyaux d'atomes.

Toutes ces différentes formes d'énergie ont en commun le fait que nous pouvons les utiliser pour obtenir ce que nous désirons. Nous utilisons l'énergie pour mettre des choses en

mouvement, pour modifier des températures et produire de la lumière ou du son. C'est ainsi qu'on pourrait dire : l'énergie est la capacité d'accomplir un travail utile.

- **Les différentes énergies**

Il existe plusieurs sources d'énergie. Nous utilisons les combustibles fossiles, tels que le charbon, le pétrole, le gaz naturel, ainsi que l'énergie éolienne et solaire, nous avons des centrales fonctionnant grâce à la fusion nucléaire, et de grands barrages hydrauliques. Les scientifiques travaillent au développement de l'énergie de fusion, la source d'énergie qui fait briller le soleil et les autres étoiles.

On distingue deux différentes sources d'énergie : les matières premières et les phénomènes naturels. Les premières fournissent les énergies dites fossiles alors que les autres fournissent les énergies dites renouvelables.

– Energie non renouvelable

– Energie renouvelable

- **Généralités**

Les économies d'énergie, dont font partie les comportements connus sous le nom de mégawatt de sobriété énergétique et d'efficacité énergétique, sont des actions menées afin de limiter la consommation d'énergie ou d'éviter les pertes sur l'énergie produite.

Elles sont devenues un objectif important des pays fortement consommateurs d'énergie vers la fin du XX siècle, notamment après le choc pétrolier de 1973 puis à partir des années 1990, afin de répondre à plusieurs inquiétudes : la crainte d'un épuisement des ressources matérielles, et particulièrement des combustibles fossiles ; le réchauffement climatique pouvant résulter des émissions de gaz à effet de serre liées à la forte consommation d'hydrocarbures ; les problèmes politiques et de sécurité d'approvisionnement dus à l'inégale répartition des ressources sur la planète ; le coût de l'énergie que la combinaison de ces phénomènes peut faire augmenter.

De la fin de la préhistoire jusqu'au XVIII siècle, l'humanité a surtout utilisé des énergies renouvelables (énergie hydraulique des moulins, énergie des moulins à vent, bois de

chauffage, etc.), avant que le charbon ne joue un rôle central au cours de la première révolution industrielle en permettant la création des chemins de fer et des centrales de production d'énergie. À partir de la fin du XIX siècle, le pétrole a permis le développement du moteur à explosion et des véhicules routiers et aériens. Tous ces dispositifs, récents dans l'histoire de l'espèce humaine, consommaient une énergie considérable à leurs débuts en raison d'un rendement très faible.

2. Consommation par produit et par secteur en Algérie

La maîtrise de l'énergie est l'un des principaux problèmes auxquels le monde est confronté aujourd'hui en raison de l'épuisement des ressources naturelles. La grande partie de la consommation mondiale de l'énergie se rend au profit des énergies combustibles : pétrole, gaz naturel et charbon

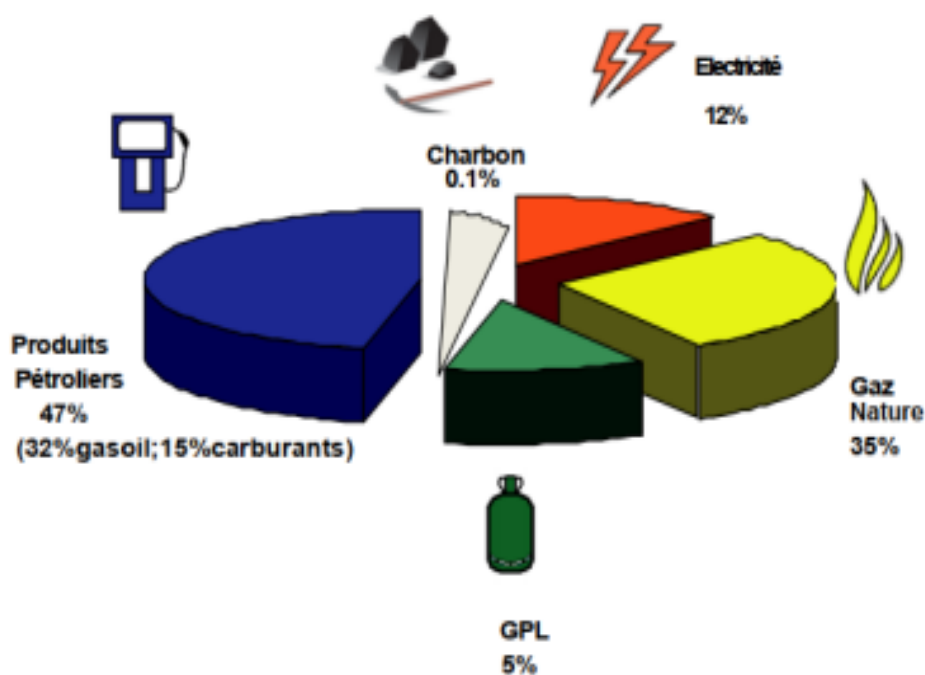


Figure 1 : Répartition de la consommation finale par forme d'énergie en Algérie (APRUE1 - EDITION 2015)

Le secteur de bâtiment représente le secteur le plus consommateur de cette énergie de par son utilisation pour le chauffage et la climatisation. En effet, c'est l'un des facteurs principaux qui affectent la dépense énergétique et les émissions des gaz à effet de serre. En Algérie, le secteur du bâtiment est l'un des secteurs les plus énergivores ; il consomme plus de 35 % du total de l'énergie finale

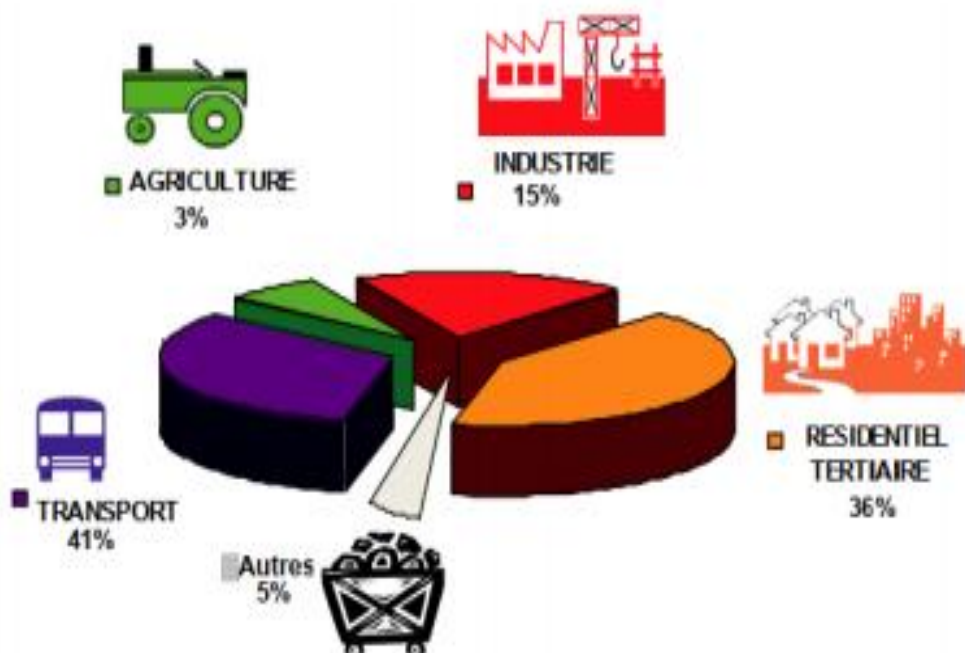


Figure 2 : Répartition de la consommation finale par secteur d'activité en Algérie (APRUE-EDITION 2015)

La consommation d'électricité en Algérie depuis 1980 n'a pas cessé de s'accroître, la figure ci après nous montre l'évolution de la consommation d'électricité en Algérie de 1980 à 2018

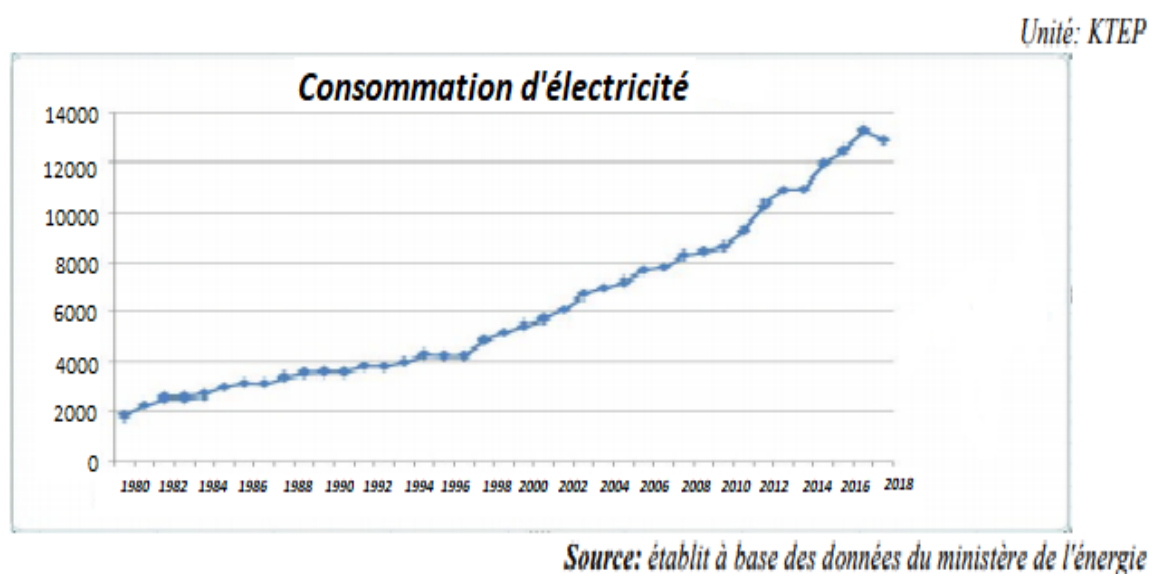
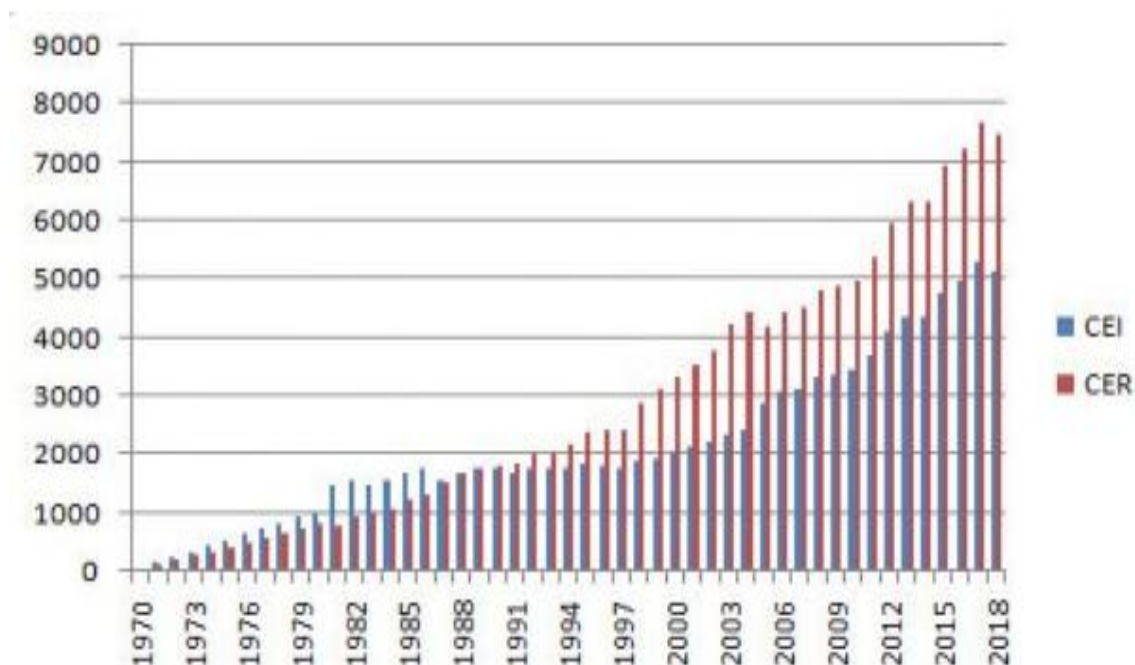


Figure 3: l'évolution de la consommation d'électricité en Algérie [1970-2018]

La figure représente l'évolution de la consommation d'électricité en Algérie [1970-2018], on constate en général une tendance à la hausse durant toute la période. En effet, de 1980 à 1990 la consommation d'électricité a passé de 1842 K.TEP à 3616 K.TEP, une augmentation de 96.31% durant 10ans. En 2000, la consommation finale d'électricité est établie à 5458 K. TEP, une variation de +50.94% par rapport à 1990. En 2017, la consommation avait atteint 13270 K.TEP, contre 8607 K.TEP en 2010, une variation de + 54.18%, de 2017 à 2018, la variation de la consommation s'affiche négative avec un taux de croissance de -2.9%. Le taux de croissance moyen durant ces quatre périodes est de 49.63%. Cette croissance peut être expliquée par le développement socio-économique que connaissait le pays, par la progression des infrastructures, des zones urbaines, et dans le secteur de l'habitat, par l'explosion démographique et par le développement technologique, que ça soit dans le secteur résidentiel ou dans le secteur industriel La consommation d'électricité en Algérie se répartie principalement entre deux secteurs principaux, le secteur de l'industrie et BTP et le secteur résidentiel (Ménages et autres). La figure ci-après nous permet d'observer l'évolution de la consommation d'électricité répartie entre ces deux secteurs pour différentes périodes [1970-2018]

3. Evolution de la Consommation d'électricité par secteur en Algérie [1970-2018]



Source: établi à partir des données de Ministère de l'énergie

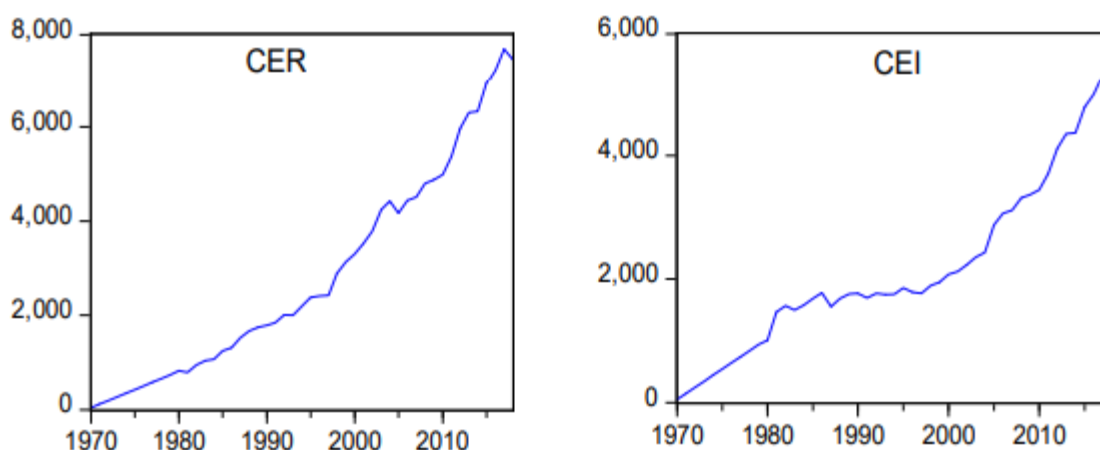
Figure 4: L'évolution de la consommation d'électricité dans le secteur de l'industrie (CEI) et le secteur résidentiel (CER).

Cette figure nous permet d'apprécier l'évolution de la consommation d'électricité dans le secteur de l'industrie (CEI) et celle dans le secteur résidentiel (CER). Pour les deux premières périodes, [1970- 1979] et [1980-1989], la consommation finale d'électricité est dominée par celle du secteur de l'industrie et BTP, favorisé par les objectifs des politiques publiques visant la construction d'une économie industrialisée, et aussi par une croissance faible de la population et le sous développement des infrastructures, de l'habitat et du secteur urbain, durant cette période, 55% d'électricité produite est consommée par les industrie et 43% revient au secteur résidentiel. Pour les trois autres périodes, [1990- 2018], la tendance de la consommation finale d'électricité a changée en faveur du secteur résidentiel. En effet, la part de la consommation moyenne de l'industrie dans la consommation totale durant cette période est baissée à 40%, tandis que la part de la consommation moyenne du secteur

résidentiel durant cette période a atteint 58% de la consommation totale. Ceci peut être expliqué principalement par l'explosion démographique qu'avait connue l'Algérie lors de cette période, l'amélioration du mode de vie et des infrastructures dans les zones urbaines, et le progrès socioéconomique que connaissait le pays.

4. La consommation d'électricité dans le secteur industriel et le secteur résidentiel

La consommation d'électricité reflète le développement économique et social d'un pays, puisque les pays développés ont tendance à consommer plus d'électricité par rapport aux pays en développement. Cette consommation se répartie généralement selon trois secteurs principaux, secteur industriel, secteur résidentiel et le secteur du transport. De plus de la consommation totale d'électricité, dans notre étude, on s'intéresse aussi à celle du secteur industriel qui traduit à son tour le développement en termes de technologie de production utilisée dans les filières qui composent ce secteur et celle du secteur résidentiel, qui donne une image assez claire du développement et du bien-être d'une société, une consommation élevée d'électricité accompagnée la plus part des cas par un très bon mode de vie.



Source: Etablis à base des données du Ministère de l'énergie et des mines avec eviews.

Figure 5: Evolution de la consommation d'électricité dans le secteur résidentiel (CER) et le secteur Industriel et BTP(CEI) en Algérie durant la période (1970-2018) en KTEP

La figure, nous montre la tendance de la consommation finale d'électricité par les deux secteurs. Le secteur résidentiel, une croissance continuellement positive est observée durant toute la période (1970-2018), cette forte demande en électricité dans ce secteur peut s'expliquer principalement par la croissance démographique donc l'expansion du parc logement et l'investissement dans la distribution afin de raccorder des localités lointaines et rurales, et le progrès que connait la situation sociale notamment pour ce qui est du mode de vie. Selon les bilans énergétiques nationaux ce secteur représente la part la plus importante de la consommation d'énergie électrique en Algérie

	1970-1985	1986-1991	1992-1994	1995-1999	2000-2013	2014-2018
CER (K.TEP)	611.06	1648.17	2066.33	2648.2	4623.29	7134.6
CEI (K.TEP)	858.81	1706.33	1757.33	1852.2	3038.71	4920.2

Source: Etabli à base des données du ministère d'énergie et des mines

Tableau 1: L'évolution de la consommation d'électricité dans le secteur résidentiel (CER) et industriel (CEI).

Le tableau représente l'évolution de la consommation d'électricité dans le secteur résidentiel (CER) et industriel (CEI) en Kilo Tonnes Equivalent pétrole (K.TEP) pour différentes périodes. La moyenne de la consommation d'électricité dans le secteur résidentiel a connu une tendance à la hausse pour toutes les périodes et avec des propensions très importantes, de la première période (1970-1985) à la deuxième (1986-1991), la consommation moyenne a passé de 611.06 K.TEP à 1648.17 K.TEP; une variation de +169.7%, de la deuxième période à la troisième (1992- 1994) la consommation moyenne a augmenté de 25.37%, de (1992-1994) à la période (1995-1999) le taux de variation été de +28.16% , de la quatrième période(1995-1999) à la cinquième (2000-2013), la consommation moyenne d'électricité varie de +74.58% ,et pour la dernière période, la moyenne de consommation augmente de 54.32% par rapport à la période qui l'a précède, ceci peut être expliqué par la prospérité et le développement socio-économique que connaissait le pays.

Pour la consommation dans le secteur industriel, elle a connu aussi une tendance à la hausse durant toutes les périodes, mais avec des propensions moins importantes que celles connue dans le secteur résidentiel. En effet, de la première période à la deuxième période, la moyenne de la consommation a varié de +98.68%, cette explosion peut être expliquée par les

plans qu'avait lancé le gouvernement algérien pour l'édification d'une industrie puissante, de la deuxième à la troisième période la consommation moyenne a augmenté de 3%, une progression très modeste dû aux reculs des prix du pétrole et de l'instabilité politique que connaissait le pays durant ses deux périodes, de la troisième à la quatrième période, la variation été de +5.4%, la consommation moyenne à passé de 1852.2K.TEP durant la période(1995-1999) à 3038.71K.TEP durant la 5ème période soit disant une hausse de 64.1%, pour la dernière période, la moyenne de consommation a augmenté de 62% par rapport à la 5ème période.

5. La contribution de système solaire photovoltaïque dans le secteur résidentiel en Algérie

Dans ce contexte, la production d'un bâtiment à énergie zéro est devenue une nécessité pour contrôler la consommation énergétique dans le secteur résidentiel. Nous devrions trouver des alternatives pour réduire cette consommation énergétique et minimiser l'utilisation des énergies non renouvelables. Les énergies renouvelables peuvent constituer une nouvelle locomotive de l'économie du pays et une alternative pour la production d'électricité spécialement l'énergie solaire photovoltaïque

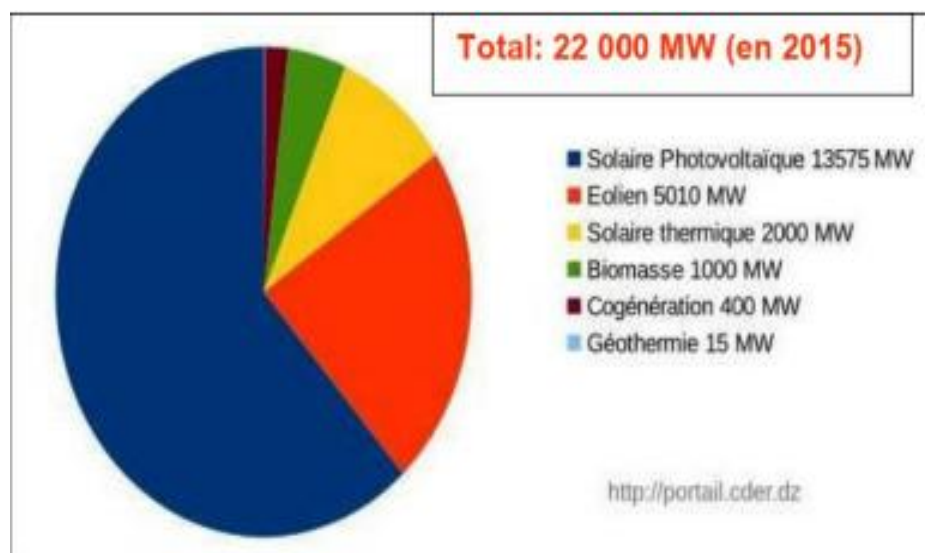


Figure 6: Le potentiel des énergies renouvelables en Algérie (CDER2 - EDITION 2015)

L'Algérie dispose d'un potentiel solaire extrêmement important. La qualité du rayonnement solaire permet à l'Algérie de se classer parmi les trois pays qui disposent des meilleurs gisements solaires dans le monde avec un ensoleillement annuel de plus de 3 500 heures et une irradiation de 4 à 7 kWh/m²/jour (APRUE, 2017). L'énergie solaire photovoltaïque pourrait constituer une solution durable respectueuse de l'environnement, fiable et aussi économique. C'est une richesse qui pourrait couvrir les besoins énergétiques du secteur résidentiel.

La politique énergétique nationale préconise l'accroissement de la contribution des énergies renouvelables dans le bilan énergétique. L'objectif est d'atteindre une contribution de l'ordre 6% dans le bilan de production électrique à l'horizon 2020 à travers les filières photovoltaïque, thermique solaire, éolienne en faveur du lancement de plusieurs programmes (APRUE, 2017).

6. Politique d'efficacité énergétique internationale

La politique énergétique est la politique adoptée par une entité vis-à-vis de la gestion de l'énergie. Elle se révèle fondamentale pour tous les pays œuvrant dans l'efficacité énergétique, dans la mesure où les stratégies de développement énergétique envisageables, de même que leur articulation, nécessitent une appropriation des méthodes de planification de l'énergie, assises sur une bonne connaissance de la situation (système d'informations fiables et pérennes).

Les opérations à réaliser dans le cadre de cette activité s'articuleront toutes autour d'aspects méthodologiques en relation avec la planification énergétique. Les objectifs de cette activité sont :

- Développer dans les pays une compréhension adaptée des processus (mondialisation, quête d'un développement durable, etc.) à la base des mutations que connaît le secteur de l'énergie de façon à pouvoir anticiper et contrôler son évolution.

- Contribuer au renforcement des compétences et des capacités des pays pour l'élaboration de politiques nationales de l'énergie, qui permettent au secteur de jouer son rôle dans le processus de développement économique et social en respectant l'environnement. Les politiques d'efficacité énergétique mises en place sont des combinaisons de programmes et

d'instruments classés en quelques grandes catégories : recherche & développement, innovation et démonstration ; information, promotion, éducation et formation ; réglementations, labels, accords volontaires ; diffusion des méthodes et techniques, aides à la décision ; incitations économiques et financières (Bernard Laponche -2001) : La politique d'efficacité énergétique se base sur deux conditions indispensables (Bernard Laponche -2009) :

- La première est la nécessité d'une volonté politique sans faille de développer l'efficacité énergétique dans tous les secteurs. Outre des producteurs et vendeurs d'énergie qui occupent des positions très fortes sur le plan économique et ont une influence indéniable sur les décideurs politiques. L'efficacité énergétique, car elle est dispersée à travers tous les secteurs d'activités, elle a besoin d'un soutien politique constant, au plus haut niveau.

- La seconde concerne les prix des produits énergétiques au consommateur. Les prix de l'énergie doivent refléter les coûts pour une saine gestion du système énergétique et incorporer graduellement le coût des externalités (notamment les dégâts environnementaux) si les prix des produits énergétiques au consommateur restent artificiellement bas, les efforts d'efficacité énergétique risquent d'être vains.

7. Economie des énergies en Algérie, Politique et réglementation

- **Principes et objectifs**

La maîtrise de l'énergie vise à orienter la demande d'énergie vers une plus grande efficacité du système de consommation, à travers un modèle de consommation énergétique nationale, dans le cadre de la politique énergétique nationale. Le modèle de consommation énergétique nationale, en tant que cadre de référence pour l'orientation et la gestion de la demande d'énergie, repose sur les options, énergétiques suivantes:

- L'utilisation prioritaire et maximale du gaz naturel, notamment pour les usages thermiques finaux;

- Le développement de l'utilisation des gaz de pétrole liquéfiés (GPL), en complémentarité avec le gaz naturel;

- L'orientation de l'électricité vers ses usages spécifiques;
- La promotion des énergies renouvelables;
- La réduction progressive de la part des produits pétroliers dans le bilan de la consommation nationale d'énergie;

• La conservation de l'énergie, la substitution inter-énergies et les économies d'énergie au niveau de la production de l'énergie, de sa transformation et de son utilisation. La maîtrise de l'énergie est une activité d'utilité publique qui permet d'assurer et d'encourager le progrès technologique, l'amélioration de l'efficacité économique et de contribuer au développement durable, à travers notamment:

• la préservation et l'accroissement des ressources énergétiques nationales non renouvelables;

• La promotion de la recherche/développement, de l'innovation technique et la diffusion des technologies efficaces;

• L'amélioration du cadre de vie, la protection de l'environnement et la contribution à la recherche des meilleurs équilibres en matière d'aménagement du territoire;

• La réduction des besoins d'investissements dans le secteur de l'énergie;

• La satisfaction des besoins énergétiques nationaux;

- **Modalités de concrétisation de la maîtrise de l'énergie**

La mise en œuvre de la maîtrise de l'énergie repose notamment sur les obligations, les conditions et les moyens nécessaires suivants:

• L'introduction des normes et exigences d'efficacité énergétique;

• Le contrôle d'efficacité énergétique;

• L'audit énergétique obligatoire et périodique;

• Le programme national de maîtrise de l'énergie;

- La recherche/développement;
- Le financement de la maîtrise de l'énergie;
- Les mesures d'encouragement et d'incitation;
- La coordination des actions de maîtrise de l'énergie;
- L'amélioration de la connaissance du système énergétique;
- La sensibilisation des utilisateurs.

- **Normes et exigences d'efficacité énergétique**

Des normes et exigences d'efficacité énergétique et d'économie d'énergie, établies dans le cadre de réglementations spécifiques, régissent les constructions et bâtiments neufs ainsi que les appareils fonctionnant à l'électricité, aux gaz et aux produits pétroliers.

- **Le programme national de maîtrise de l'énergie**

Le programme national pour la maîtrise de l'énergie regroupe l'ensemble des projets, des mesures et des actions dans les domaines suivants:

- L'économie d'énergie,
- L'économie inter-énergétique,
- La promotion des énergies renouvelables,
- L'élaboration des normes d'efficacité énergétique,
- La réduction de l'impact énergétique sur l'environnement,
- La sensibilisation, l'éducation, l'information et la formation en matière d'efficacité énergétique,

- La recherche/développement en efficacité énergétique. La tranche annuelle du programme national pour la maîtrise de l'énergie peut faire l'objet d'une révision et d'une

consolidation par l'inscription de mesures, d'actions ou de projets d'efficacité énergétique jugés prioritaires

- **Domain d'application le DTR**

Le présent Document Technique Réglementaire "Règlementation thermique des bâtiments" est une mise à jour des deux fascicules (DTR C3-2 et DTR C 3-4) qui traitent respectivement les règles de calcul des déperditions calorifiques version 1997 et les règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments version 1998.

Cette mise à jour est une nécessité pour une meilleure prise en compte des améliorations introduites dans le domaine de la technologie du bâtiment. Ce DTR composé de deux parties, apporte une réponse aux nouveaux impératifs énergétiques liés aux périodes hivernale et estivale.

1. Objet du document

1.1. Le présent Document Technique Réglementaire a pour objet de fixer les méthodes de :

- détermination des déperditions et des apports calorifiques des bâtiments ;
- vérification de la conformité des bâtiments à la réglementation thermique.

1.2. L'introduction des déperditions calorifiques de "base" et des apports totaux dans ce DTR contribue au dimensionnement des installations de chauffage et de climatisation des bâtiments.

2. Domaine d'application

2.1. Les méthodes de détermination des déperditions et des apports calorifiques du présent règlement s'appliquent à tout type de local.

2.2. La vérification réglementaire concerne les locaux à usage d'habitation pour la partie chauffage. Pour la partie climatisation, cette vérification s'étend aux locaux à usage de bureaux et d'hébergement. Pour les autres types de locaux, les pièces du marché doivent préciser le seuil à respecter afin d'assurer l'économie requise.

3. Définitions

3.1. Les déperditions calorifiques sont égales au flux de chaleur sortant d'un local, ou d'un groupe de locaux, par transmission de chaleur à travers les parois et par renouvellement d'air, pour un degré d'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur. Elles s'expriment en watts par degrés Celsius ($W/^\circ C$).

3.2. Les déperditions calorifiques de base sont égales au flux de chaleur sortant d'un local, ou d'un groupe de locaux, par transmission de chaleur à travers les parois et par renouvellement d'air, dans les conditions intérieures et extérieures de base. Elles s'expriment en watts (W)

3.3. Les apports calorifiques (appelés aussi gains) d'un local sont égaux à la somme des apports de chaleur sensible et latente, provenant d'une source intérieure ou extérieure du local, pour des conditions extérieures et intérieures déterminées, en ne tenant pas compte des apports dus à l'installation.

3.4. Les apports calorifiques sensibles, ou gains sensibles, sont les apports de chaleur qui affectent directement la température sèche de l'air du local considéré.

3.5. Les apports calorifiques latents, ou gains latents, sont les apports d'humidité sous forme de vapeur d'eau qui affectent le local considéré. 3.6. Les apports calorifiques effectifs sont égaux aux gains du local augmentés, d'une part, des quantités de chaleur correspondant au débit d'air qui passe à travers l'installation sans être affecté, et augmentés, d'autre part, des quantités de chaleur provenant de l'installation elle-même (gains dits supplémentaires : échauffement dans les conduits d'air, fuites d'air éventuelles, etc.).

3.7. Les apports calorifiques totaux (ou puissance frigorifique) sont égaux aux gains du local augmentés, d'une part des quantités de chaleur correspondant au débit d'air total qui passe à travers l'installation, et augmentés, d'autre part, des quantités de chaleur provenant de l'installation elle-même.

Les apports calorifiques au sens de l'article 3.3 constituent une donnée se rapportant au local, les apports calorifiques totaux au sens de l'article 3.7 constituent une donnée se rapportant à l'installation.

Un logement peut être considéré comme un local unique ou comme un groupe de locaux.

8. Conclusion :

En guise de conclusion, La consommation d'énergie en Algérie devient de plus en plus très lourde sur l'économie algérienne, la part de la production énergétique nationale dédiée à la satisfaction de la demande intérieure ne cesse d'augmenter, devant une explosion démographique et un développement technologique requièrent des quantités d'énergie énormes. Les inquiétudes se tourne vers les sources de production d'énergie; les énergies fossiles qui sont de nature finie et les nuisances qu'elles cautionnent à l'environnement. L'Algérie devrais avancer et investir davantage dans l'exploitation des ressources renouvelables, du moment que ces sources sont bien disponible sur le territoire national.

D'après la Loi n° 99-09 relative à la maîtrise de l'énergie qui parle de la politique de l'énergie en Algérie on observe qu'il n'y a aucune stratégie a été proposé pour diminuer la consommation d'énergie et il n'y'a aucune engagements dans le domaine écologique pour économiser plus d'énergie.

Chapitre II:
Mécanismes de
transfert de chaleur

Chapitre II: mécanismes de transfert de chaleur

1. Généralités sur les mécanismes de transfert de chaleur

1.1. Introduction :

La thermodynamique permet d'évaluer la quantité d'énergie qu'un système échange avec le milieu extérieur pour passer d'un état d'équilibre à un autre.

La thermique (ou thermocinétique) décrit quant à elle en fonction des variables spatiales et temporelle, l'évolution des différentes grandeurs du système, notamment la température, entre l'état d'équilibre initial et l'état d'équilibre final.

La chaleur est un mode de transfert d'énergie enclenché sous l'effet d'une différence de température. D'après le 3^{ème} principe de la thermodynamique, ce transfert se fait du chaud vers le froid spontanément jusqu'à l'équilibre thermique. L'unité de la chaleur dans le système international est le Joule, mais plus communément, on utilise également la calorie.

Le transfert de chaleur représente l'un des modes d'échange d'énergie. C'est un phénomène que l'on trouve dans l'industrie, le bâtiment, le transport et dans beaucoup de phénomènes quotidiens. Pour mieux cerner ce processus, la connaissance des lois physiques qui le commandent est essentielle pour pouvoir orienter les échanges selon nos besoins (augmentation ou réduction des échanges thermiques).

1.2. Définitions de base

1. 2.1. Le transfert thermique

Un transfert de chaleur ou transfert thermique entre deux corps résulte d'une différence de température entre eux. Ce phénomène est représenté par le 3^{ème} principe de la thermodynamique, comme cité plus haut et qui stipule que la chaleur se propage du chaud vers le froid entre deux corps mis en contact jusqu'à atteindre un état d'équilibre. On distingue trois modes de transfert de chaleur qui peuvent être présents séparément ou ensemble tous les trois dans un phénomène donné:

*La conduction ou diffusion thermique.

*Le rayonnement thermique.

*La convection

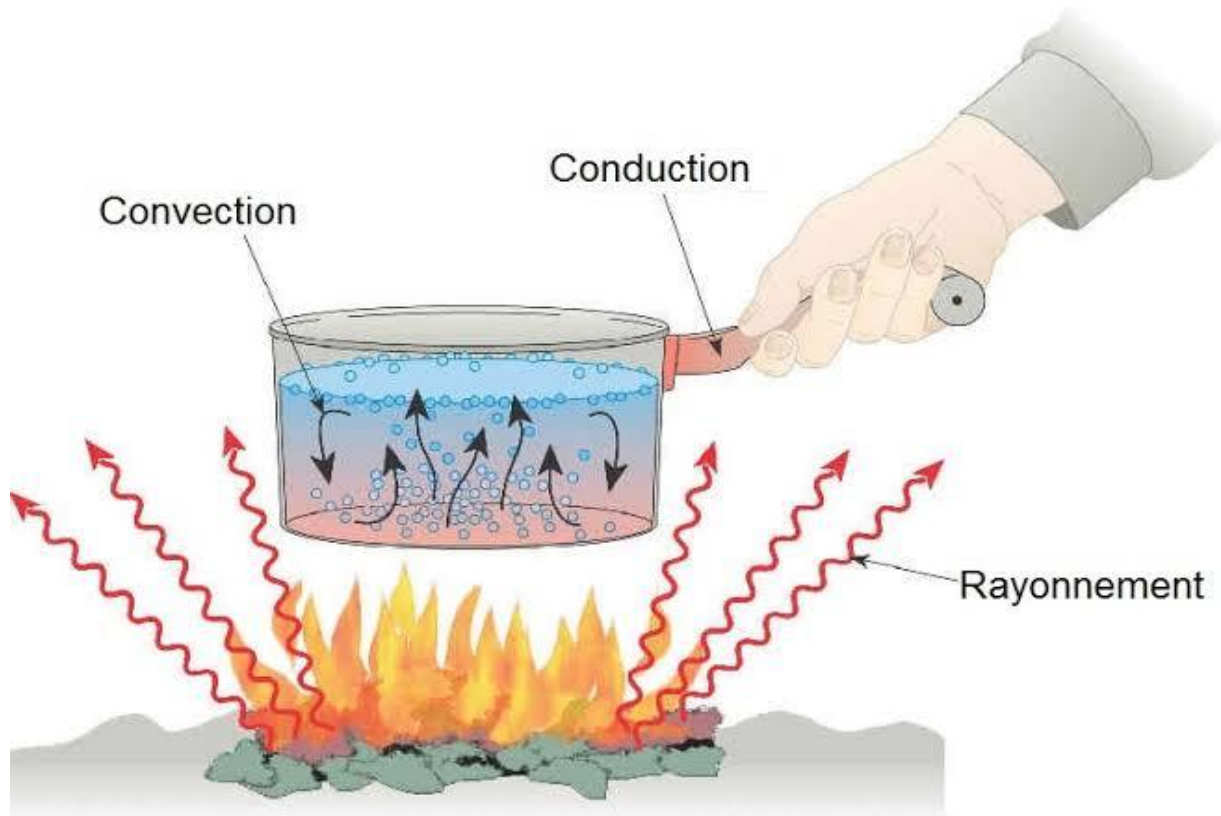


Figure 7:Les modes de transfert thermique

1.2.2. Notion de flux de chaleur

Pour tous ces modes, on définit le flux de chaleur ou la puissance thermique Φ (WATT) comme la quantité de chaleur Q (J) traversant une surface isotherme S pendant un temps Δt

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t} \quad (I,1)$$

Dans les secteurs économiques, le flux de chaleur est exprimé en KJ/h ou en KWh. Habituellement, ce flux est exprimé par analogie à l'électricité à travers une résistance dite thermique.

Si on considère deux surfaces S1 et S2 respectivement à des températures θ_1 et θ_2 (ex : $\theta_1 > \theta_2$), on a la relation suivante:

$$\Phi = \frac{\theta_1 - \theta_2}{R} \quad (\text{II.2})$$

Avec : R est la résistance thermique entre les deux surfaces.

1.2.3. Densité de flux de chaleur

Une densité de flux de chaleur ϕ correspond à un flux de chaleur par unité de surface. On utilise la densité parce que le flux thermique n'est pas uniforme sur toute la surface.

1.2.4. La conductivité thermique

La conductivité thermique d'un matériau décrit sa capacité à transporter la chaleur sans déplacement de matière. C'est la quantité de chaleur en J transmise dans un corps solide sous l'effet d'une différence de 1 degré (K ou °C) à travers une épaisseur de 1 m.

Elle est notée λ dans la plupart des ouvrages et travaux. Un matériau est considéré comme un isolant thermique si sa conductivité thermique est inférieure à $0,06 \text{ W.m}^{-1} .\text{K}^{-1}$. Par contre, un matériau est bon conducteur si sa conductivité thermique est supérieure à

$10 \text{ W.m}^{-1} .\text{K}^{-1}$.

1.2.5. La température

La température est une grandeur physique mesurable (généralement selon l'échelle Celsius). Elle est reliée aux sensations de froid et de chaud dues au transfert thermique entre un corps et son environnement.

1.2.6. Champ de température

De ce fait, les transferts d'énergie sont déterminés à partir de l'évolution dans l'espace et dans le temps de la température. La valeur de la température en tout point de l'espace est un scalaire décrivant un champ de température:

- Champ de température indépendant du temps en régime permanent ou stationnaire.

- Evolution du champ de température avec le temps : le régime est dit variable ou instationnaire .

1.2.7. Gradient de température

Les points de l'espace possédant la même température forment des surfaces isothermes. La variation de température par unité de longueur dans la direction normale à la surface isotherme est caractérisée par le gradient de température.

1.3. Les modes de transfert thermique

1.3.1. Transfert de chaleur par conduction

Ce mode de transfert est plus spécifique aux solides, c'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu souvent opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température

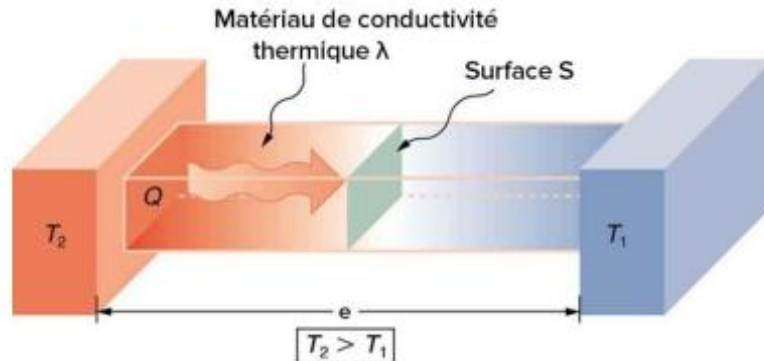


Figure 8: Transfert de chaleur par conduction.

1.3.3.1. Principe

Un solide peut être représenté comme une succession de masses reliées. Les chocs de molécules les plus chaudes situées à gauche vont se propager le long du système. Alors que les molécules plus froides vont se réchauffer par chocs avec leurs voisines. On voit bien que la transmission se fait sans transport de matière

1.3.3.2. Loi de Fourier

La loi de Fourier (1807) décrit le phénomène de conductivité thermique, elle exprime la diffusion de la chaleur à travers un matériau solide.

Fourier a découvert que le flux de chaleur qui traverse un matériau d'une face A à une face B est toujours proportionnel à l'écart de température entre les deux faces.

L'équation de la loi de Fourier s'écrit: $\Phi = -\lambda \cdot dS \cdot \text{grad}T$

Le gradient de température est une grandeur vectorielle indiquant la façon dont la température varie dans l'espace, (K/m).

1.3.3.3. La résistance thermique par conduction

La résistance thermique d'une paroi détermine son degré d'opposition au transfert de chaleur. Plus elle est importante, plus le corps est considéré isolant.

Pour 1m² de surface, elle est donnée par la relation : $r_c = e / \lambda$

1.3.2. Transfert thermique par convection

Ce mode de transfert est spécifique aux fluides car il s'accompagne d'un transfert de masse, les particules fluides ont plus de liberté à se mouvoir grâce au vide qui les sépare. L'étude de transfert de chaleur par convection détermine surtout les échanges de chaleur produits entre un fluide et une paroi. Selon le mécanisme qui génère le mouvement du fluide, on distingue :

- **La convection naturelle (libre)** : le mouvement provient de l'action de la différence de température entre le fluide et la paroi qui provoque une diminution ou augmentation de la densité et donc d'un mouvement de circulation du fluide.

- **La convection forcée** : le mouvement est imposé par une action extérieure (pompe, ventilateur, ...)

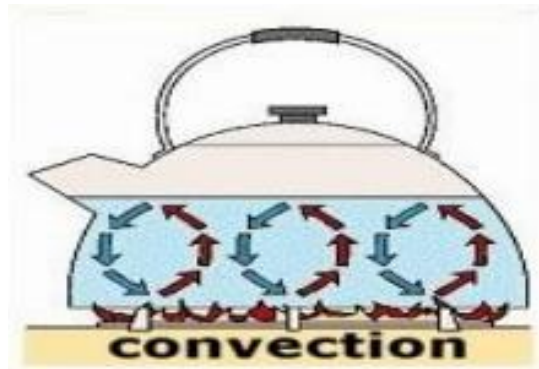


Figure 9: Transfert thermique par convection.

Exemple : Lorsqu' on remue un liquide qui chauffe, on favorise plus les déplacements des particules et l'atteinte de l'équilibre thermique par contre, à la convection naturelle ou on le laisse chauffer sans rien faire, il prendra plus de temps pour atteindre la température d'équilibre homogène.

1.3.1.1. Résistance thermique de convection

La résistance thermique de convection d'un élément exprime sa résistance thermique au passage d'un flux de chaleur d'origine convective à travers une surface. Elle s'exprime en (K/W).

La résistance thermique de convection pour 1m² de surface est donnée par la relation :

$$r_v = \frac{1}{h} \quad (\text{II.3})$$

h étant le coefficient d'échange de chaleur par convection, (W/m² .K)

1.3.1.2. Coefficient d'échange par convection

La quantité de chaleur qui traverse un élément dS pendant l'intervalle de temps dt s'écrit:

$$\delta Q = h. (T_p - T_\infty). dS. dt \quad (\text{II.4})$$

Quelque soit le régime d'écoulement du fluide et le type de convection, le flux de chaleur est donnée par la loi de Newton :

$$\frac{\delta Q}{dt} = h. (T_p - T_\infty). dS \quad (\text{II.5})$$

Où :

$(T_p - T_\infty)$: est la différence de températures entre le corps solide ou paroi et le fluide (K).

dS : surface d'échange élémentaire (m^2).

Le coefficient h dépend de nombreux paramètres :

- Caractéristiques du fluide.
- Nature de l'écoulement.
- La température.
- La forme de la surface d'échange

1.3.3. Transfert thermique par rayonnement

Le rayonnement thermique est un cas particulier du rayonnement électromagnétique. L'exemple le plus explicite est le rayonnement solaire.

Le rayonnement thermique est le mode de transmission par lequel la chaleur passe d'un corps à haute température à un autre plus froid sans contact ni matière.

C'est donc le seul mode de transfert de chaleur qui peut se propager dans le vide.

Exemple : en été le fort rayonnement du soleil fait chauffer les surfaces exposées telles que murs, terrasses, vitrages, chaque corps présente une aptitude différente à l'absorption

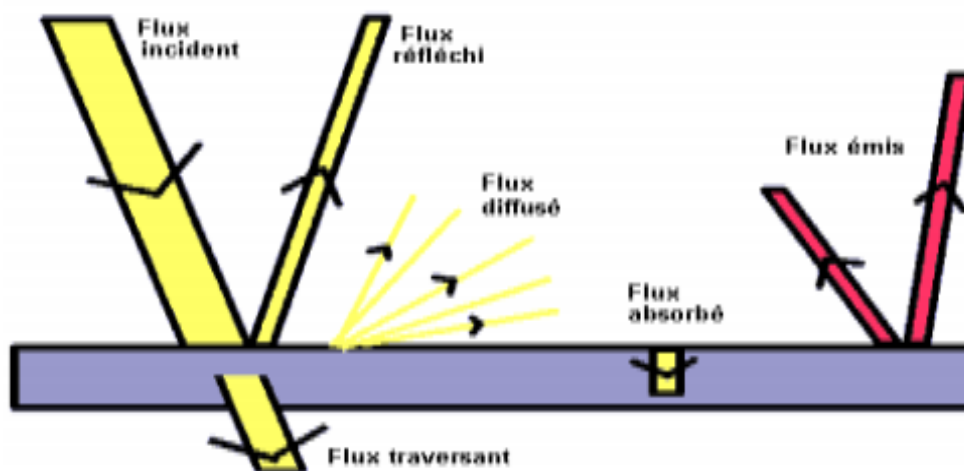


Figure 10: Répartition du rayonnement solaire reçu par une surface.

1.3.2.1. Structure du rayonnement

Le rayonnement est un mode d'échange d'énergie par émission et absorption de radiations électromagnétiques suivant le processus :

- **Emission** : Il y a conversion de l'énergie fournie à la source en énergie électromagnétique.
- **Transmission** : La transmission de cette énergie électromagnétique se fait par propagation d'ondes avec une partie absorbée par le milieu traversé.
- **Réception** : A la réception, il y a conversion du rayonnement électromagnétique incident en énergie thermique ou absorption. En effet, les photons qui arrivent sur un matériau, excitent les électrons qui se recombinent avec les trous en dissipant de la chaleur.

1.3.2.2. Condition de rayonnement d'un corps

Tous les corps matériels sont considérés capables d'émettre de l'énergie sous forme de rayonnement et d'en recevoir dès que la température est supérieure au zéro absolu.

Un corps à la température T émet des ondes de plusieurs fréquences différentes, et la répartition de cette énergie dépend de la température du corps.

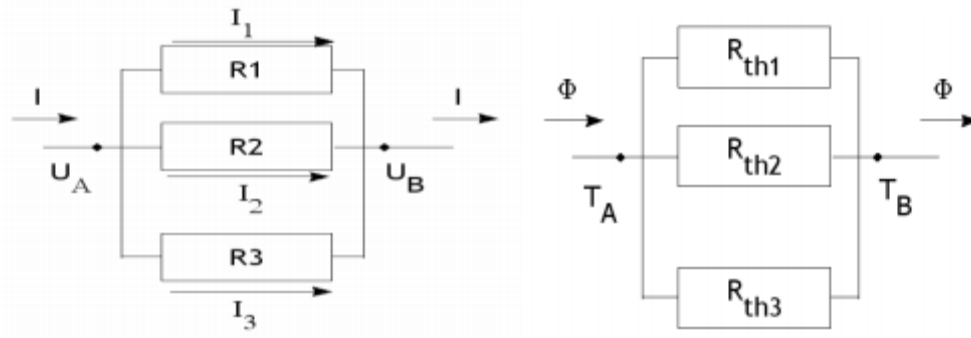
1.4. Analogie électrique

La loi d'Ohm relie une différence de potentiel ΔU à une intensité de courant I ($\Delta U = R \cdot I$) à travers une résistance électrique R , par analogie, on peut relier la différence de température au flux de chaleur qui passe au travers un mur de longueur e et une section S en définissant la résistance thermique $R_{\text{conduction}}$:

$$R_{\text{conduction}} = e / \lambda \cdot S \tag{II.6}$$

Et on peut utiliser la représentation schématique suivante pour déterminer la résistance totale:

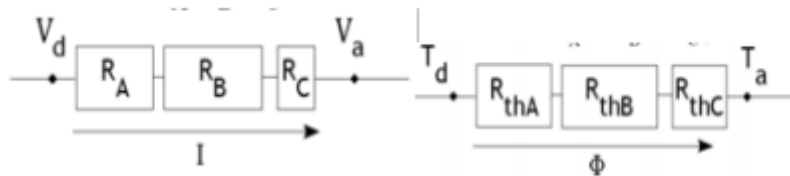
• Arrangement en parallèle :



$$I = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \Delta U. \Phi = \left(\frac{1}{R_{th1}} + \frac{1}{R_{th2}} + \frac{1}{R_{th3}} \right) \cdot \Delta T$$

Figure 11: Schéma électrique équivalent des résistances thermiques parallèles.

• Arrangement en série :



$$\Delta U = (R_A + R_B + R_C) I. \Delta T = (R_{th1} + R_{th2} + R_{th3}) \Phi$$

Figure 12: Schéma électrique équivalent des résistances thermiques en série.

2. Transfert de chaleur dans le bâtiment

2.1. Introduction

Les transferts thermiques dans le bâtiment est un exemple concret des échanges énergétiques entre les corps.

Ce phénomène fait appel aux trois modes de transfert à savoir le rayonnement, généralement et majoritairement solaire, la convection entre les parois et l'air ambiant ou l'air intérieur et enfin la conduction qui se manifeste dans l'enveloppe c'est dire, murs, planchers, toitures et autre parois présentant une épaisseur.

Dans notre étude, nous nous sommes intéressés à la conduction dans les murs extérieurs, afin de mieux comprendre ce phénomène, nous allons présenter les équations correspondantes.

2.2. Comportement thermique en régime stationnaire

A cause d'une différence de température entre l'extérieur (conditions climatiques variables) et l'intérieur où on veut maintenir une température de confort ou de consigne, un flux de chaleur se déplace du chaud vers le froid, ce qui est souvent le cas rencontré dans le bâtiment. Généralement, on considère un transfert dominant perpendiculaire à la paroi considéré quand les matériaux sont alignés, en négligeant la partie du flux qui diffuse dans les deux autres directions.

Le flux de chaleur et sa densité sont établis grâce à l'équation de Fourier. Le bilan thermique du système présenté sur la figure suivante s'écrit pour les termes convectifs et diffusifs de chaleur à travers un élément d'épaisseur dx par :

$$\Phi_x + \Phi_g = \Phi_{x+dx} + \Phi_{st} \quad (\text{II.8})$$

Avec :

$$\Phi_x = [-\lambda \cdot \partial T / \partial x]_x \quad (\text{II.9})$$

Et

$$\Phi_{x+dx} = [-\lambda S \cdot \partial T / \partial x]_{x+dx} \quad (\text{II.10})$$

et pour le terme temporel (variation de la quantité de chaleur accumulée avec le temps):

$$\Phi = \rho \cdot C \cdot S \cdot dx \cdot \partial T / \partial t \tag{II.11}$$

Tels que Φ_g représente le terme convectif et Φ_{st} représente le terme diffusif

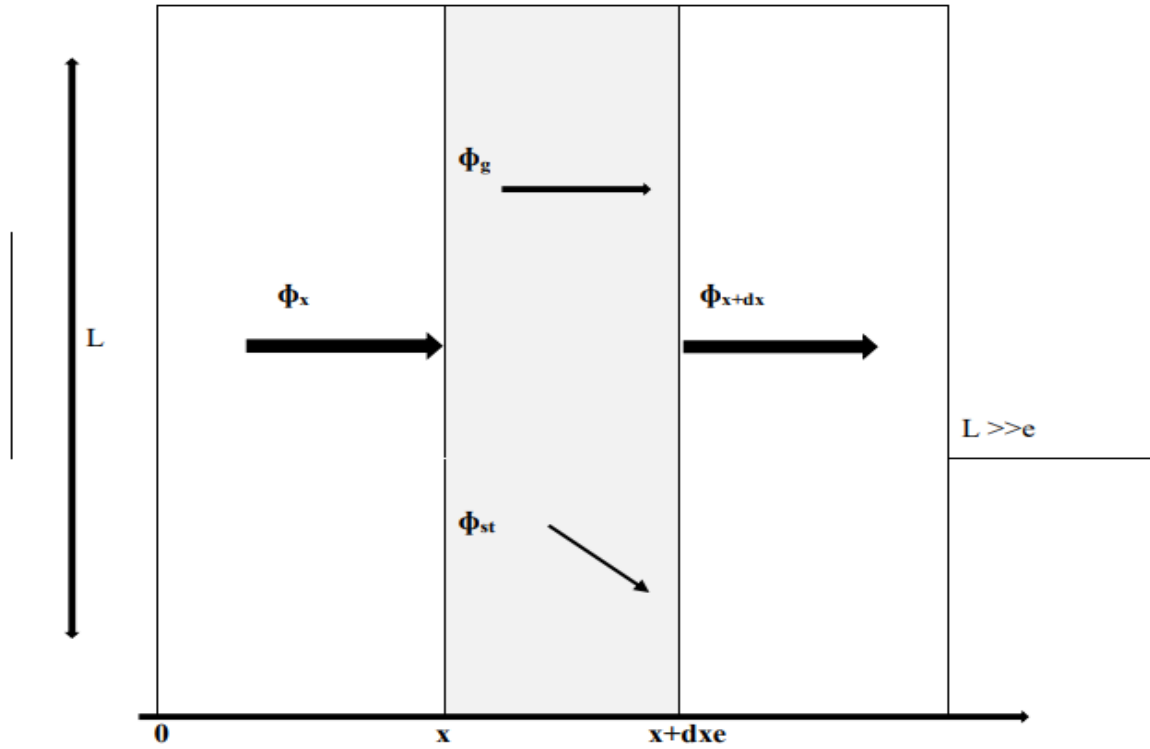


Figure 13: Schéma présentant l'évolution du flux.

En rassemblant les termes dans l'équation de transport de l'énergie et en divisant par l'élément géométrique dx, nous obtenons :

$$\frac{[\lambda S \frac{\partial T}{\partial x}]_x - [\lambda S \frac{\partial T}{\partial x}]_{x+dx}}{dx} + \rho C S \frac{\partial T}{\partial t} = q \cdot S \tag{II.12}$$

Avec q est considéré comme le terme source volumique (production ou destruction de la chaleur dans le milieu).

Dans le cas tridimensionnel, nous obtenons l'équation de la chaleur la plus général :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right] + q = \rho C \frac{\partial T}{\partial t} \tag{II.13}$$

Cette équation peut se simplifier :

1) si le milieu est considéré isotrope (propriétés physiques constantes dans tous les points du domaine : $\lambda_x = \lambda_y = \lambda_z$.

2) si la conductivité thermique λ ne varie pas ou faiblement avec la température

3) s'il n'y a ni production ni destruction d'énergie, donc terme source $q = 0$.

Ces hypothèses permettent d'écrire :

$$\lambda \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] = \rho \cdot C \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (\text{II.14})$$

Arrivés à cette équation, on distingue différentes variantes selon le cas physique. Dans le cas du mur simple, le gradient $d\lambda/dx$ est égal à zéro, la conductivité est la même dans le même milieu homogène.

Nous obtenons alors l'équation de Poisson :

$$a \nabla^2 T = \frac{\partial T}{\partial t} \quad (\text{II.15})$$

Le rapport : $a = \lambda / \rho \cdot C$ est appelée la diffusivité thermique (m^2/s). Cette propriété caractérise le comportement du corps à un signal de température grâce à sa conductivité thermique et sa capacité à accumuler la chaleur.

Et quand nous considérons un régime permanent, nous obtenons l'équation de Laplace :

$$a \cdot \nabla^2 T = 0 \quad (\text{II.16})$$

2.3. Transfert unidirectionnel, cas d'un mur

2.3.1. Mur simple

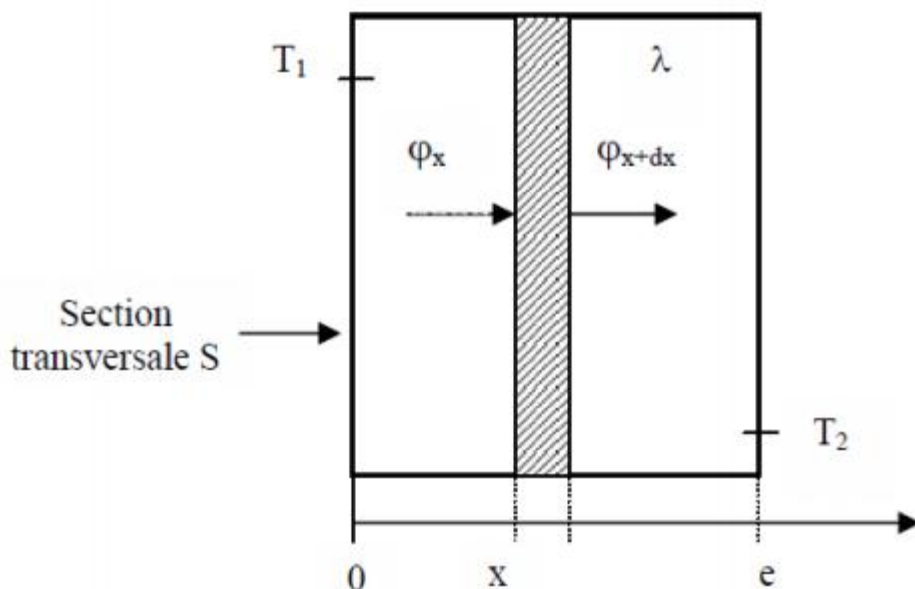


Figure 14: Bilan thermique sur un mur simple.

Soit un mur d'épaisseur e , de conductivité thermique λ et de grande dimension transversale dont les parois gauche et droite sont à des températures T_1 et T_2 .

Si on néglige les pertes thermiques et la diffusion dans le milieu, le bilan thermique entre x et $x+dx$ s'écrit:

$$\varphi_x = \varphi_{x+dx} \Rightarrow -\lambda S \left(\frac{dT}{dx} \right)_x = -\lambda S \left(\frac{dT}{dx} \right)_{x+dx} \quad (II.17)$$

C'est une équation différentielle simple dont la résolution est analytique soit :

$$\frac{dT}{dx} = A \quad \text{et} \quad T(x) = Ax + B \quad (II.18)$$

Avec les conditions aux limites appropriées (conditions de Dirichlet):

$$T(x=0) = T_1 \quad T(x=e) = T_2$$

Le flux de chaleur traversant le mur s'en déduit par la relation :

$$\Phi = \lambda (T_1 - T_2) / e .S \tag{II.19}$$

La densité thermique peut se mettre sous la forme :

$$\phi = (T_1 - T_2) / (e / \lambda S) \tag{II.20}$$

Avec la surface S est une surface unitaire (S=1 m²)

En électricité cette relation est analogue à la loi d'Ohm. La température apparait comme un potentiel thermique et le terme $e / \lambda S$ représentant la résistance thermique d'un mur plan, est similaire à la résistance électrique comme le montre le schéma équivalent ci dessous :



Figure 15:Schéma électrique équivalent.

2.3.2.Mur multicouches

De la même façon que précédemment, dans un mur multicouches, la seule différence consiste à ce que le flux thermique traverse plusieurs couches de matériaux différents séparant les deux milieux fluides (air extérieur et air intérieur), donc le flux total va considérer l'énergie calorifique transmise au mur par convection qui sera transmis aux couches solides par conduction puis à l'air intérieur par convection.

En régime permanent, le flux de chaleur qui traverse le mur reste constant et s'écrit :

$$\Phi = h_1 . S . (T_{fl} - T_1) = \frac{\lambda_A S (T_1 - T_2)}{e_A} = \frac{\lambda_B S (T_3 - T_2)}{e_B} = \frac{\lambda_C S (T_4 - T_3)}{e_C} = h_2 . S . (T_4 - T_{f2}) \tag{II.21}$$

d'où :

$$\Phi = \frac{T_{f1} - T_{f2}}{\frac{1}{h_1 S} + \frac{e_A}{\lambda_A S} + \frac{e_B}{\lambda_B S} + \frac{e_C}{\lambda_C S} + \frac{1}{h_2 S}} \quad (\text{II.22})$$

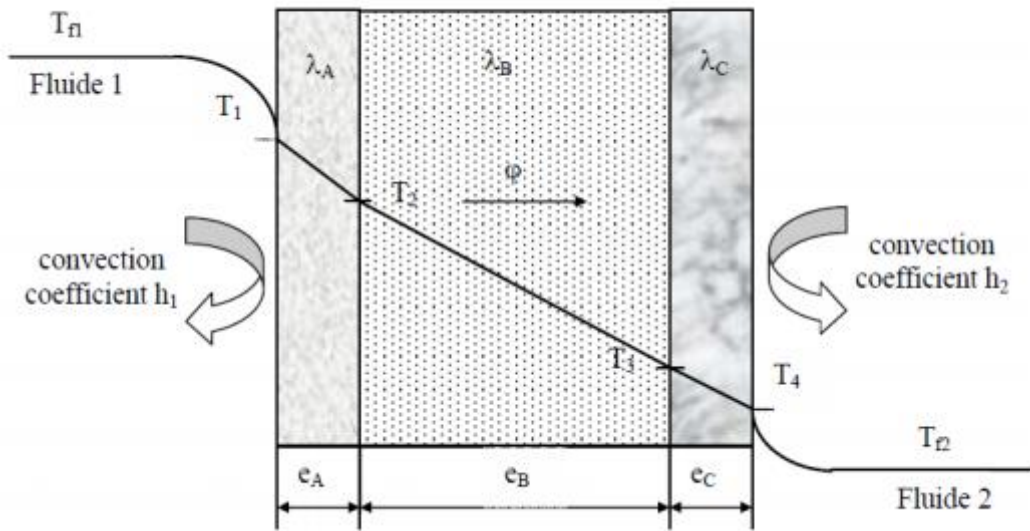


Figure 16: Flux et températures dans un mur multicouches.

Dans la résolution de l'équation, on a considéré que le transfert thermique était parfait sans pertes et qu'il y avait continuité thermique entre les couches. Mais en réalité une « microcouche d'air » existe entre les creux des surfaces (l'air est un isolant), cela engendre la création d'une résistance thermique de contact R_{AB} R_{BC} qui se rajoute aux autres résistances dans l'équation finale.

Le schéma électrique équivalent est représenté sur la figure suivante :

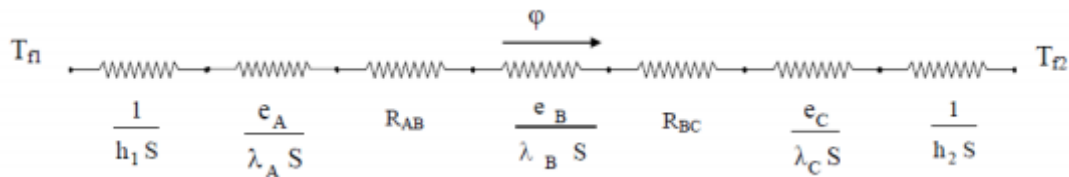


Figure 17: Schéma électrique équivalent.

2.4. Conditions aux limites

Quand le milieu étudié subit un transfert de chaleur par conduction, il est soumis à des conditions à ses frontières, il existe trois types de conditions aux limites sur le domaine d'étude et ses interactions avec le milieu environnant.

2.4.1. Condition de Fourier

Quand le solide ou une paroi est en contact avec de l'air, le flux de convection est égal au flux de conduction. Généralement, on connaît la température de l'air mais pas la température de la paroi, donc la condition aux limites consiste à donner la température extérieure ou intérieure T_e ou T_i de l'air et la valeur de son coefficient de transfert superficiel par convection h_e ou h_i pour calculer le flux transmis par conduction. Cette condition est dite condition de Fourier ou de 3eme espèce:

$$\Phi = -\lambda \frac{dT}{dx} = h_f(T - T_f) \quad (\text{II.23})$$

Avec T_f et h_f sont les valeurs de température et coefficient de transmission de chaleur par convection du fluide « f »

2.4.2. Condition de Dirichlet

Cette condition intervient lorsque la température sur la paroi est imposée, on appelle cette condition de 1ere espèce ou de température imposée.

$$T(x=0) = T_0 \quad (\text{II.24})$$

2.4.3. Condition de Neumann

Cette condition suppose la température inconnue mais la densité du flux thermique connu, la condition est dite à flux imposé ou condition de 2eme espèce.

$$\Phi(x=0) = \Phi_0 \quad (\text{II.25})$$

3. Conclusion

Le transfert thermique par conduction est un mode très important dans les matériaux et notamment les matériaux de construction.

Afin, d'en bien exploiter les caractéristiques, il faut déterminer les lois de bilan thermique, comme c'est le cas d'un mur simple ou composé par l'équation de Fourier, qui établit la relation du flux thermique traversant le matériau. Cette équation présente une analogie avec circuit électrique, la tension électrique est équivalente alors à la température. Le principal paramètre d'un isolant est sa conductivité thermique, plus elle est faible, plus le matériau résiste au passage de la chaleur dans un sens ou dans l'autre, ce qui équivaut en électricité à la résistance électrique.

3. Déperdition thermique

3.1. Déperdition thermique : présentation d'un problème majeur

La déperdition thermique désigne la perte de chaleur d'un bâtiment. Due aux interactions entre milieux intérieur et extérieur et aux échanges de fluide d'air qui en résulte, elle altère directement l'efficacité thermique du logement. Concrètement, les calories fournies par le système de chauffage filent vers l'extérieur par les parois fixes ou mobiles du logement concerné et par ses moyens de renouvellement d'air. Concrètement, la déperdition thermique s'effectue :

- De manière surfacique au travers des parois qui séparent milieu intérieur et extérieur ;
- Par l'intermédiaire des ponts thermiques c'est à dire des points de construction où la barrière isolante est interrompue ;
- Par la ventilation mécanique contrôlée (VMC) et les grilles d'aération qui assurent l'indispensable renouvellement de l'air intérieur.

3.2. Un phénomène aux conséquences lourdes

La déperdition thermique est aujourd'hui un phénomène bien appréhendé. Elle se calcule aisément et des systèmes de détection des fluides thermiques ou des caméras infrarouge permettent de la déterminer précisément. L'analyse du phénomène a permis de définir une répartition moyenne de la déperdition thermique par origine :

- 30% par la toiture ;
- 20% par la ventilation ;
- 20% par les murs extérieurs ;
- 15% par les fenêtres ;
- 10% par le plancher bas ;
- 5% par les ponts thermiques.

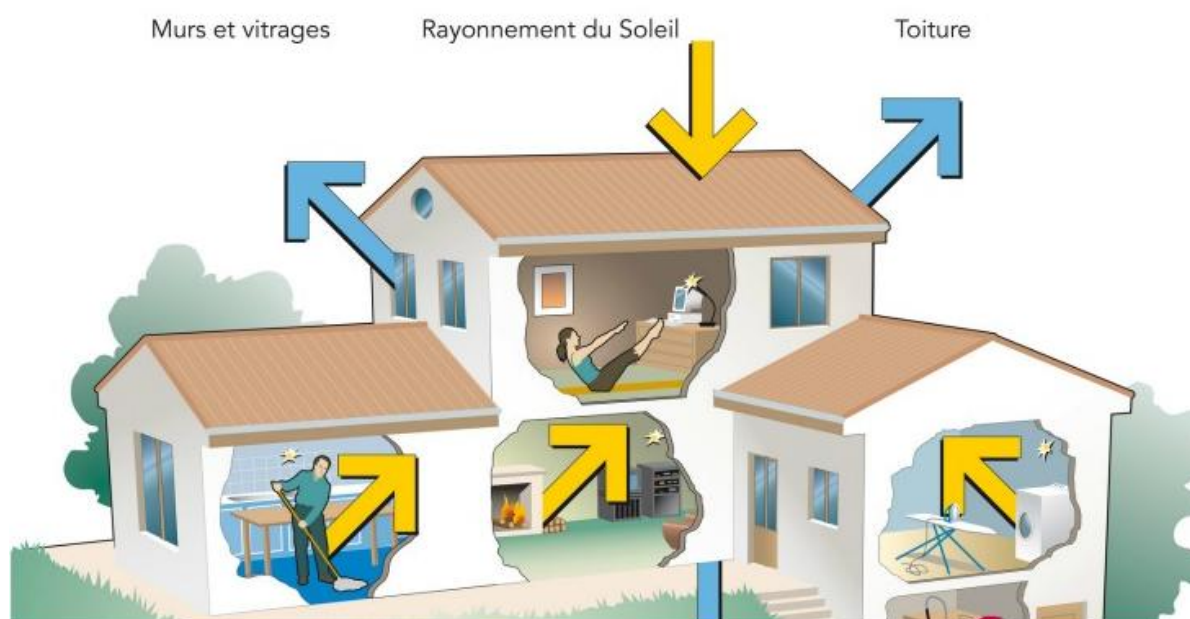


Figure 18 : La déperdition thermique dans un bâtiment.

Plus la déperdition thermique d'un logement est importante plus celui-ci sera énergivore. Très concrètement, les occupants devront pour leur confort solliciter plus intensément leur système de chauffage et donc consommer plus d'énergie. Victime d'une déperdition thermique très importante, certains logements généralement anciens sont qualifiés de passoires énergétiques. L'enjeu économique et environnemental est dans tous les cas primordial. Selon le ministère de la transition écologique et solidaire, les Français consacrent en moyenne 4,8% de leur budget aux énergies de leur logement. Le secteur résidentiel représente lui 16,1 % des émissions nationales de gaz à effet de serre. Des chiffres qui méritent de trouver une solution à la déperdition thermique.

3.3.La solution : isolation et VMC double flux

A la construction comme à la rénovation, seule une bonne isolation thermique permet de limiter au maximum la déperdition thermique. Il s'agit de mettre en place un matériau offrant une résistance thermique importante c'est à dire s'opposant par ses caractéristiques au transfert de calories entre milieux. Soucieuses d'améliorer l'efficacité énergétique du parc de logement français, les autorités ont, ces dernières décennies, promulgué une réglementation thermique de plus en plus stricte. L'actuelle RT 2012 sera d'ailleurs remplacée par la RT

2020 qui devrait fixer des règles de construction particulièrement ambitieuses. Dans la pratique, la déperdition thermique trop importante d'un logement peut être corrigée par :

- **l'isolation des combles perdues** : soufflage de 39 centimètres de ouate de cellulose pour une résistance de $10 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$;
- **l'installation de fenêtre double vitrage** : la lame d'air entre les deux vitres de la fenêtre permet de faire passer la résistance thermique de celle-ci à $2.9 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$;
- **l'isolation des parois par l'intérieur** : mise en place de panneaux de coton métisse de 50 mm entre la face intérieure du mur et le Placoplatre offre une résistance de $1.28 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$;
- **l'isolation du sol** : pose avant chape de panneaux polystyrène expansé blanc (PSE) de 80 mm pour une résistance thermique de $2.35 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$;
- **l'étanchéité à l'air** : la pose de joints efficaces et l'utilisation de mousse expansée ou de mortier peut limiter les échanges de fluides non souhaitables notamment au niveau des ouvrants ;
- **mise en place d'une VMC double flux** : le réchauffage de l'air entrant permet une diminution de 20% de la consommation énergétique pour le chauffage.

4. L'isolation thermique et matériaux isolants

4.1. Introduction

L'homme a toujours eu besoin d'énergie pour survivre, pour améliorer son confort et pour son avancée technologique. La première forme d'énergie qu'il a découverte et exploitée est la chaleur, la chaleur du feu dont il avait besoin pour se réchauffer et manger.

Aujourd'hui, différentes technologies d'extraction, de transformation et d'utilisation des énergies sont acquises, mais la situation énergétique mondiale actuelle, la consommation excessive des énergies surtout fossiles et la démographie poussent l'homme à réfléchir sur les moyens d'économie d'énergie et efficacité énergétique pour réduire la pollution, rationaliser la consommation et atteindre le développement durable. Le secteur du bâtiment considéré comme très énergivore est concerné par ces mesures surtout depuis la crise pétrolière de 1970 et 1973 comme on a déjà vu dans le 1^{er} chapitre, il fallait réfléchir à mieux isoler les constructions. Ainsi, l'isolation thermique occupe une place importante dans la conception et

la réalisation des constructions actuelles et futures. L'isolation de l'enveloppe du bâtiment est primordiale pour le confort hygrothermique à l'intérieur sans être trop influencé par les conditions climatiques extérieures.

4.2. Définitions

4.2.1. Isolation

On entend par isolation, la capacité à empêcher l'échange énergétique entre un corps et son environnement et cela dans différents domaines non isothermes ou liés aux gradients de température.

• **En construction :** L'isolation consiste à protéger contre le bruit (isolation phonique), contre la chaleur (isolation thermique) ou contre l'électricité (isolation électrique). On parle d'isolation thermique pour désigner les techniques dont l'objectif est de minimiser les transferts de chaleur. Pour cela, il faut utiliser des matériaux isolants possédant une faible conductivité thermique, comme la ouate de cellulose, la laine de verre, la laine de roche...

4.2.2. Isolation thermique

Dans notre thème d'études, nous nous intéressons uniquement à l'isolation thermique dans le bâtiment. L'isolation thermique est utilisée dans de nombreux domaines incluant notamment : le bâtiment (obtenir une température de confort à l'intérieur du bâtiment en dépensant le minimum d'énergie), l'industrie, l'automobile, la cuisine etc.

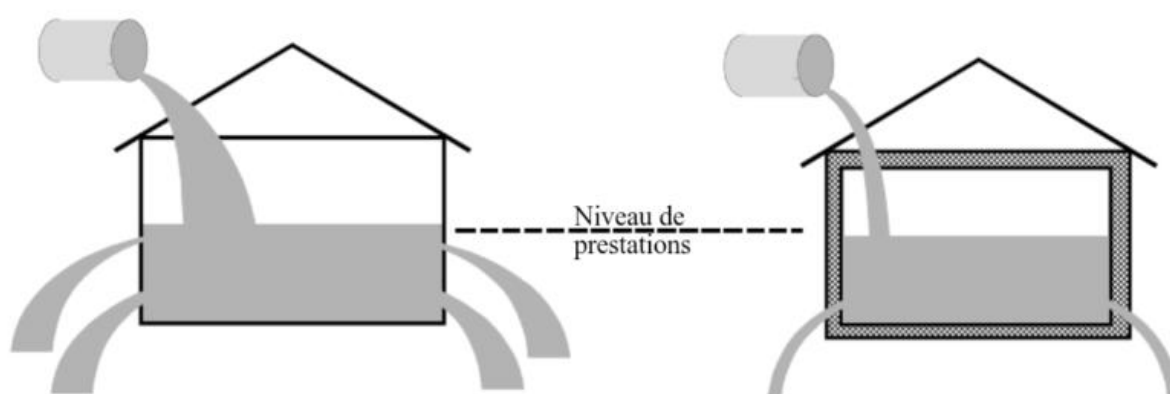


Figure 19: Différence entre bâtiment isolé et bâtiment mal isolé.

4.3. Le but de l'isolation thermique

L'isolation dans le bâtiment permet de :

- 1- Réduire la quantité d'énergie consommée pour le chauffage et pour la climatisation durant toute l'année afin d'atteindre les conditions de confort.
- 2- Aider à la protection de l'environnement en réduisant les consommations et les émissions de gaz à effet de serre et en préservant les ressources énergétiques.

De nombreux phénomènes sont observés si une isolation thermique n'est pas mise en place :

4.3.1. Pertes de chaleur

Que ce soient les sols, les plafonds, les toits ou les murs, il est nécessaire d'isoler toute l'enveloppe en contact avec l'extérieur qui est soumis à des conditions climatiques variables et parfois extrêmes.

Les besoins en isolation varient suivant la zone à isoler car les pertes énergétiques ne se répartissent uniformément dans le bâtiment à cause de l'air comme agent fluide. Le but est d'assurer une continuité de l'enveloppe isolante autour des pièces de vie pour homogénéiser le milieu.



Figure 20:Exemple des pertes de chaleur par caméra infrarouge.

4.3.2. Ponts thermiques

Un pont thermique est un défaut d'isolation où il existe une discontinuité de l'enveloppe isolante continue entraînant d'importantes pertes thermiques. Il représente les jonctions entre murs, mur-plancher, mur-fenêtre, poutres etc... Un raccordement plancher-mur extérieur, une gaine de ventilation ou un cadre de fenêtre mal isolés sont des exemples à vérifier et rectifier par des techniques spécifiques de traitement.



Figure 21:Exemple sur les ponts thermiques (en orange).

4.3.3. Parois froides

Au sein d'une pièce, la température ressentie par un corps humain correspond à la moyenne entre la température de l'air de la pièce et la température de surface des parois l'entourant. Si par exemple, l'air dans une pièce est en moyenne à 21°C et les parois sont à une température de 13°C, la température résultante ressentie sera de 17°C. Cela provoque une forte sensation d'inconfort thermique, l'utilisateur procèdera systématiquement à l'augmentation des apports en chauffage pour compenser ce déséquilibre. Par contre si on isole bien les murs au contact de l'extérieur, cette température à la paroi sera plus proche de la température de l'air. Cela représentera, un gain d'énergie et un gain en facture

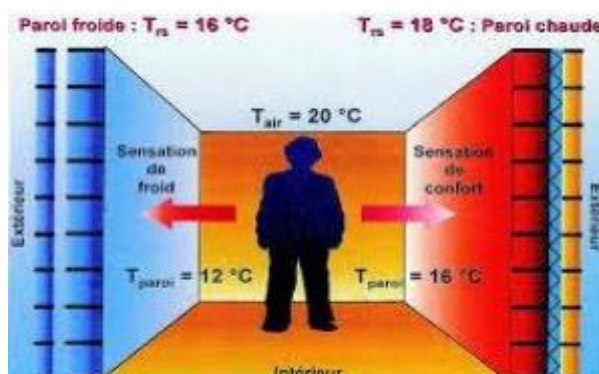


Figure 22:Exemple sur les parois froides.

4.3.4. La Condensation

Qui n' a pas déjà vu de la buée sur une vitre, spécialement quand la température à l'extérieur est basse et que l'air intérieur est chauffé ?

C'est la vapeur d'eau contenue dans l'air qui se condense au contact d'une paroi à partir d'une certaine température pour un taux d'humidité donné. Si le taux d'humidité d'une pièce à 25 °C est de 50% et que la température de la paroi est à 14 °C , alors l'humidité va se condenser en surface sur le mur. Cette condensation est déconseillée car elle dégrade les matériaux de la paroi et cause les moisissures et problèmes d'humidité qui sont dangereux pour la santé. Si la paroi avait été à 20 °C , il n'y aurait pas eu d'apparition de condensation.



Figure 23:Exemple sur la condensation.

4.4. Techniques d'isolation thermique

4.4.1. Isolation par l'intérieur

L'isolation thermique par l'intérieur est une technique utilisée pour renforcer la performance énergétique des murs, de la toiture (isolation des combles perdus et des combles habitables) et des planchers.

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



Figure 24:Exemple sur l'isolation par intérieur.

4.4.2. Isolation thermique par l'extérieur

L'isolation par l'extérieur convient également pour isoler les toits, les combles et les murs. Mais c'est une solution coûteuse qui nécessite des travaux importants. L'isolation par l'extérieur est conseillée pour à la réfection des toitures ou les ravalements de façades. L'avantage principal de l'isolation par l'extérieur est de bien envelopper le bâtiment et

éliminer ainsi les ponts thermiques linéiques existants notamment autour des portes, fenêtres, balcons

Une large gamme d'isolants pour l'extérieur est disponible sur le marché. Les matériaux les moins chers sont la laine de verre et la laine de roche. Par contre, les matériaux sous forme de panneaux isolants sous vide (PIV) et le verre cellulaire sont plus onéreux.



Figure 25:Exemple sur l'isolation par extérieur.

4.4.3. Isolation thermique intégrée

L'isolation intégrée est une isolation des murs dans leur épaisseur. Elle n'est possible que pour les nouvelles constructions dès le début des travaux ou lors d'une opération de rénovation lourde, comme une extension ou une surélévation.

Cette technique d'isolation permet de gagner du temps et réduire les coûts. Parmi ses autres avantages, elle permet de limiter les risques de ponts thermiques et reste une solution de construction durable puisque l'isolant n'est pas exposé aux agressions externes. Elle a la même durée de vie que les murs porteurs.

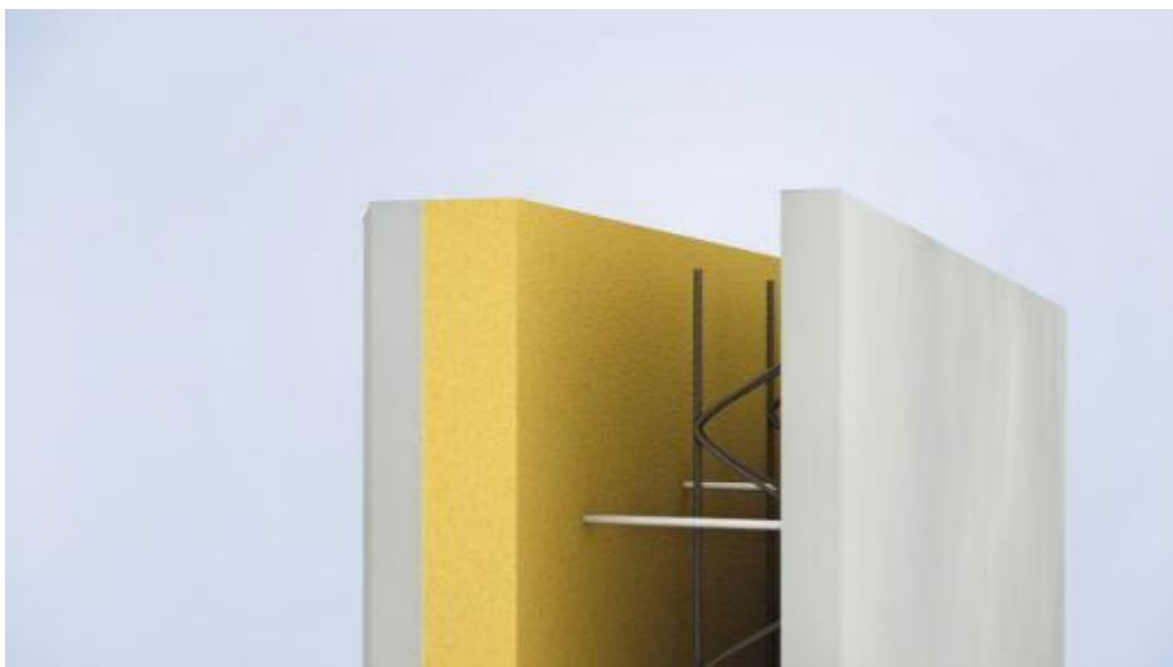


Figure 26:Exemple sur l'isolation intégrée.

4.5. Avantages de l'isolation thermique

- L'isolation réduit les déperditions à travers les parois.
- Les besoins en chauffage sont diminués.
- En été, l'isolation fait barrière à la chaleur et au rayonnement solaire extérieur.
- Une bonne isolation supprime « l'effet paroi froide » en hiver. Les espaces à proximité des parois deviennent « utilisables ».
- À température égale, un bâtiment isolé offre un plus grand confort.
- L'isolation thermique contribue à améliorer l'isolation acoustique.

4.6. Inconvénients de l'isolation thermique

- Augmente le coefficient d'occupation au sol sur le terrain.
- Modifie l'aspect de la maison (façades, toiture et ouvertures).

- Le pont thermique entre les combles et la façade reste malgré tout important.
- Ne peut pas être appliquée sur tous les bâtiments à rénover ou restaurer.
- Le cout au (m^2) reste élevé selon le matériau, la technique et le projet.

4.7. Isolation thermique des murs dans le bâtiment

Un bâtiment perd une certaine quantité de la chaleur à travers son enveloppe. Ce qui oblige les usagers à consommer de l'énergie achetée pour répondre aux besoins en chauffage et en climatisation. Les pertes de chaleur par transmission sont influencées par les murs et leur composition. A cet effet le choix des matériaux de construction est très important. On choisit un isolant pour deux paramètres essentiels :

- Son coefficient d'isolation (faible conductivité thermique).
- Son déphasage thermique : c'est-à-dire la capacité des matériaux de construction à ralentir les changements de température, c'est ce qu'on appelle inertie thermique utile, c'est la capacité d'un bâtiment à absorber puis à restituer la chaleur de manière diffuse. Plus l'inertie est importante, plus le matériau stockera d'énergie.

4.8. Les types d'isolants

Un isolant est un matériau ou une composition des matériaux qui empêche les échanges d'énergie entre deux systèmes tels que les isolants thermiques.

4.8.1. Isolant thermique

Un isolant thermique est un matériau qui permet de réduire le transfert de la chaleur ou du froid.

4.8.2. Différents types d'isolant thermique

L'isolation thermique existe depuis longtemps, d'essue l'homme a constaté que certains matériaux aident à assurer un confort intérieur à l'époque où les appareils de chauffage et climatisation n'existaient pas encore. Les matériaux de constructions locaux étaient exploités de manière à assurer une bonne isolation et ventilation des maisons traditionnelles selon le climat et la région.

4.8.2.1. Les isolants traditionnels

Ces isolants sont des matériaux utilisés depuis longtemps, on distingue :

- **Les isolants minéraux :**(Les laines minérales), Ils sont composés de matériaux recyclés et fabriqués à partir de fibres minérales liées entre elles par collage. Ces produits sont commercialisés sous forme de matelassés et panneaux.
- **Les isolants synthétiques :** Le polystyrène (expansé ou extrudé) et le polyuréthane. Ces matériaux sont défavorables, ils contiennent des substances qui peuvent appauvrir la couche d'ozone et émettent des gaz toxiques en cas de combustion. Ils se présentent sous forme de panneaux.
- **Les isolants d'origine végétale et animale :** Cette catégorie d'isolants sont généralement issus de sources renouvelables et un mode de production qui à une grande énergie. Il existe de nombreux isolants d'origine végétale (chanvre, lin, coton, paille ou laine de bois), ou animale (laine de mouton, plumes de canard) plus ou moins utilisés dans l'isolation du bâtiment.

4.8.2.2. Les nouveaux isolants

Ce sont des isolants possédant d'excellentes propriétés thermiques très compétitifs par rapport à l'air immobile, en effet l'air immobile est susceptible d'être un isolant idéal si ce n'est un fluide capable de circuler dans la lame d'air. Il s'agit de panneaux isolants sous vide, dits PIV, et l'aérogel de silice.

4.9. Rôle d'un isolant

Le rôle de l'isolant est d'interposer entre l'intérieur et l'extérieur une barrière contre les calories qui se transmettent du milieu chaud au milieu plus frais et ce, au moyen de matériaux ayant une capacité de conduction la plus faible possible ou d'une autre manière d'une résistance thermique la plus élevée.

4.10. Choix d'un matériau isolant

Le choix d'un bon isolant dépend de sa conductivité thermique (λ). Il est conditionné également par son épaisseur, nous obtenons sa résistance thermique (R) qui exprime la résistance d'un matériau au passage d'un flux de chaleur (ne pas laisser l'enveloppe perdre sa chaleur et entrer le froid l'hiver et ne pas absorber de la chaleur l'été). Plus la résistance est grande plus l'isolation est efficace.

Matériau	Conductivité thermique(W/m.K)	Masse volumique(Kg/m³)	Chaleur spécifique(J/Kg.K)
Mortier	1.175	1845	1120
Béton	1.783	2425	1023
Plâtre	0.552	1380	957

Tableau 2:Caractéristiques thermique des matériaux de construction .

Matériau	Conductivité thermique(W/m.K)	Masse volumique(Kg/m³)	Chaleur spécifique(J/Kg.K)
Liège	0.04	120	1512
Polystyrène(PSE)	0.039	20	1404
Polyuréthane(PUR)	0.031	35	1404
Laine de mouton	0.038	25	1500

Tableau 3:Caractéristiques thermiques de quelques isolants.

Le tableau ci-dessous donne une estimation des épaisseurs nécessaires pour obtenir une isolation des sols, murs et toitures répondant aux normes BBC (Bâtiment Basse Consommation). [Guide des matériaux isolants", Conseil Général de Haute-Loire / ADEME].

Isolant	Murs	Toitures	Sol
Laine de mouton	17 à 23 cm	25 à 30 cm	-
Liège	14 cm	30 cm	14 cm
Polystyrène expansé	16cm	23 cm	-
Polystyrène extrudé	-	20 cm	10 cm
polyuréthane	12 cm	20 cm	12 cm
Laine de verre ou minérale	17 à 23 cm	17 cm	-

Tableau 4:Épaisseurs nécessaires pour obtenir une isolation aux normes BBC.

4.10.1. Le polystyrène expansé (PSE)

Le PSE est un matériau isolant d'origine synthétique obtenu à partir d'un mélange de polystyrène et de gaz qui donne un matériau léger de couleur blanche.

Avantage :

- Très bon isolant thermique.
- Très bonne durabilité et très bonne stabilité.
- Résistance à la compression.
- Matériau non capillaire.
- Il est réutilisable
- Il supporte l'humidité et l'eau et ralentie le feu.
- Non altérable en présence d'eau.

Inconvénients :

- Pollution de l'ozone.
- Difficilement recyclable.
- Mauvaise performance phonique.
- Sensible au feu.

Propriétés :

- Conductivité thermique varie entre 0.028 et 0.039 (W/m.K).
- La densité du matériau varie de 10 et 30 (KG/m³).
- La chaleur spécifique du matériau est de 1450 (J/Kg.K).
- Le coefficient de diffusion à la vapeur varie entre 20 et 100

Utilisation :

- Protection des appareils fragiles.
- Emballage alimentaire.
- Flottabilité : en peut l'utiliser comme un flotteur.
- Isolation thermique .

Matériau	Conductivité thermique(W/m.K)	Masse volumique(Kg/m³)	Chaleur spécifique(J/Kg.K)
Polystyrène(PSE)	0.039	20	1404

Tableau 5:Caractéristiques thermiques du PSE.

4.11. L'isolation du vitrage

L'isolation de la partie opaque de l'enveloppe n'est pas suffisante pour obtenir la performance thermique souhaitée, il faut considérer également la partie transparente ou ouvertures vitrées. Le simple vitrage est caractérisé par une performance thermique (U_g) très faible de 5.7 à 6 $W/m^2.k$. Vers la fin des années 70, le double vitrage a vu le jour, le principe est d'emprisonner une quantité d'air entre deux vitrages pour l'utiliser comme isolant surtout dans les pays froids. La performance thermique d'un complexe de 4-12-4 est à un U_g de 2.9 $w/m^2.k$. Si les verres sont de 6 mm U_g deviendra 2.8 $w/m^2.k$.

Pour plus d'amélioration du vitrage, le double vitrage à faible émissivité donne un U_g de 1.7 à 1.9 $w/m^2.k$. Le remplacement de l'air entre les deux vitrages par un gaz plus isolant tel que les gaz nobles, l'argon est le plus usuel, donne un U_g de 1.7 $w/m^2.k$. Le triple vitrage quant à lui est caractérisé par très bonne performance thermique avec un U_g 0.5 à 0.8 $w/m^2.k$. [34] Plusieurs techniques pour l'isolation des vitres et des fenêtres, par exemple :

La première, consiste à utiliser des joints d'isolation sur les cadres des fenêtres, mais ce n'est pas très satisfaisant, puisque le verre permet de transmettre l'énergie.

La seconde, consiste à superposer un sur- vitrage sur la fenêtre sans la changer. Cette opération ne nécessite pas de lourds travaux.

La troisième technique consiste à changer toute la fenêtre et placer un double vitrage, opération nécessitant des travaux et pouvant coûter cher.

CHAPITRE III :

Solutions et techniques d'efficacité énergétique

CHAPITRE III : Solutions et techniques d'efficacité énergétique

1. Introduction

La partie précédente de ce travail, a été consacré aux situations énergétiques et politiques de l'Algérie à la lumière de trois autres orientations politiques. Ce chapitre sera ainsi l'occasion de donner les définitions nécessaires à la maîtrise du concept « d'efficacité énergétique » et d'observer de façon synthétique les solutions et les techniques mises en œuvre jusqu'à présent, ces solutions peuvent se diviser en trois entités :

- Les solutions passives qui englobe : l'enveloppe et l'orientation du bâtiment, le solaire passif, la ventilation naturelle...etc.
- Les solutions actives tel que: la régulation, la domotique, les énergies renouvelables et la ventilation assisté.
- Le comportement des usagers. Dans le domaine de l'efficacité énergétique chaque « chapelle » dispose d'une stratégie propre à ses orientations et idéologies. Le choix sera de transcender ces clivages et de proposer une présentation qui englobe et se focalise sur les techniques les plus appropriées au climat local. Malgré l'aspect hétéroclite de la somme de solutions proposées, elle garde une cohérence par rapport à l'objectif de ce chapitre : mettre à la disposition des pouvoirs publics et des particuliers des solutions, pour atteindre une plus grande performance énergétique et ainsi sortir du marasme écologique/économique/énergétique dans lequel se noie l'Algérie.

2. Définitions

- **Efficacité énergétique**

L'efficacité énergétique peut se définir comme le rapport entre le service délivré au sens large (performance, produit, énergie, confort, service) et l'énergie qui y a été consacrée. L'amélioration de l'efficacité énergétique consiste donc, par rapport à une situation de référence soit à :

- Augmenter le niveau de service rendu, à consommation d'énergie constante ;
- Économiser l'énergie à service rendu égal ;
- Réaliser les deux simultanément. Ainsi, les solutions d'efficacité énergétique visent à améliorer la performance délivrée avec une moindre consommation d'énergie.

supérieur et la durée de vie est 8 fois plus longue ; elles sont rentabilisées en moins d'un an.

- **Démarche et étapes de l'efficacité énergétique**

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

- La diminution des besoins qui sont relatifs au bâti ;
- L'amélioration des équipements techniques du bâtiment et leur gestion ;
- Le comportement de l'utilisateur L'approche conceptuelle d'amélioration de l'efficacité énergétique est identique pour les secteurs résidentiel et tertiaire.

En revanche la mise en pratique sur le terrain sera différente en raison des divergences liées :

- Aux aspects techniques ;
- Aux équipements, systèmes et solutions à mettre en œuvre ;
- Aux coûts d'exploitation et de maintenance ;
- Aux méthodes de financement ;
- Aux temps de retour sur investissement.

La conception efficace ne se suffit pas à elle-même. Elle doit être appuyée à chaque instant par une gestion rationnelle de l'énergie. La maîtrise des consommations consiste à devenir acteur conscient de ses consommations.

- **Efficacité énergétique dans le bâtiment**

L'efficacité énergétique se réfère à la réduction de la consommation d'énergie sans toutefois provoquer une diminution du niveau de confort ou de qualité de service dans les bâtiments.

Le secteur du bâtiment, dont sa consommation énergétique représente plus de 40% du total de l'énergie, et il est responsable de 20% des émissions mondiales de gaz à effet de serre, se positionne comme un acteur clé pour parvenir à résoudre les inquiétants défis à faire face. Ce secteur pourrait bien être le seul qui offre des possibilités de progrès suffisamment fortes pour répondre aux engagements de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Ces possibilités de progrès sont actuellement mieux identifiées qu'au cours des années passées, les bâtiments peuvent utiliser plusieurs sources d'énergie, dont les énergies renouvelables.

Le bâtiment peut être construit pour deux usages distincts : usage tertiaire (tels que commerce, bureaux, enseignement, santé, etc.) et usage résidentiel (bâtiment d'habitation, maison individuelle ou logement collectif).

Le cycle de vie du bâtiment se divise en plusieurs étapes, toutes engageant de nombreuses professions et usagers, et ayant un impact direct ou indirect sur l'environnement : production des matériaux, transport des matériaux, construction du bâtiment, utilisation du bâtiment et déchets en fin de vie.

Cependant, agir efficacement pour réduire de manière sensible la consommation énergétique impose une identification des facteurs de gaspillage, afin de les maîtriser à l'avenir.

De nombreuses études et retours d'expériences ont montré que la diminution des consommations énergétiques des bâtiments passe par une conception architecturale prenant en compte la compacité du bâtiment et la gestion des apports solaires passifs, une sur-isolation de l'enveloppe.

- **Bâtiment à Basse Consommation**

Un bâtiment qui a une consommation d'énergie réduite pour le chauffage, le rafraîchissement, l'eau chaude sanitaire et l'éclairage. Ces labels basse énergie apportent des avantages de diminution de taxes foncières, d'extension de COS, coefficient d'occupation des sols... fixe dans l'habitat neuf à 50 KWHEP/M².AN et par an la consommation d'énergie primaire et à 80 KWHEP/M².AN dans l'habitat existant.

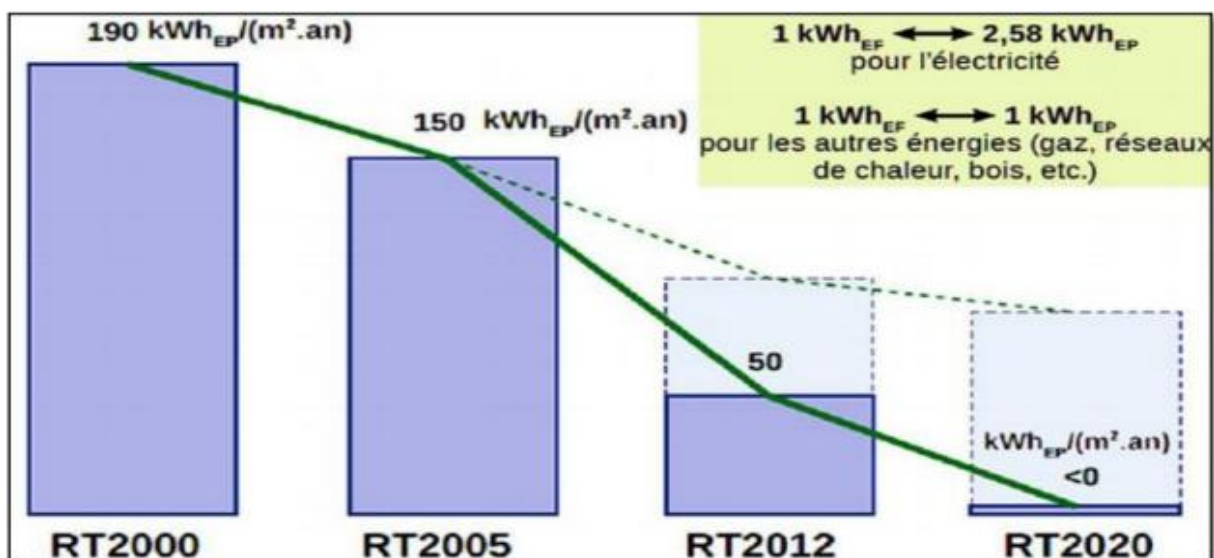


Figure 27: Les RT 2000-2020.

Quelques exemples de techniques et procédés du BBC pour améliorer l'efficacité énergétique dans le bâtiment :

- Bonne isolation thermique
- Vitrages peu émissifs
- Utilisation de lampes à basse consommation
- Utilisation de l'énergie solaire passive
- Exploitation des énergies renouvelables locales

- Systèmes performants (chauffage, éclairage,...) Gestion de l'eau : (Récupération et utilisation de l'eau de pluie pour les usages sanitaires
- Réservoirs des toilettes à faible contenance
- Système de détection des fuites
- Dispositifs de limitation des surpressions Procédés, produits et matériaux de construction : (Demander la déclaration de la composition des matériaux selon la norme NF XP P01010
- Utilisation de produits incorporant des matériaux recyclés
- Choix de produits de traitement des bois à faible impact sur l'environnement et la santé
- Choix de produits de construction et de revêtements à faible émission de COV (Composés Organiques Volatiles) Mesures de réduction des déchets et des nuisances de chantier : (Evaluer et organiser le trafic généré par le chantier
- Limiter la production de déchets
- Tri sélectif et valorisation des déchets de chantier
- Limiter l'emploi de matériels de chantier bruyant
- Installer une aire de lavage des camions en sortie de chantier
- Traiter les eaux de lavage des cuves à béton
- Organiser l'information des riverains Mesures prises pour améliorer la qualité de l'environnement intérieur et extérieur :
- Mesures de contrôle du radon : ventilation des sous-sols
- Systèmes de ventilation assurant un renouvellement d'air et une qualité d'air intérieur satisfaisants
- Bonnes performances acoustiques
- Optimisation du confort thermique d'été par l'inertie et les protections solaires.

- **Bâtiments bioclimatiques**

La conception bioclimatique d'un bâtiment vise à optimiser l'utilisation des apports solaires et de la circulation naturelle de l'air, limitant ainsi le recours au chauffage et à la climatisation. Elle valorise les avantages du terrain (orientation du bâtiment), l'orientation des pièces, les surfaces vitrées, L'inertie du bâtiment... (FFB, 2010) Les maisons bioclimatiques ne retiennent que l'influence du climat, se protègent passivement de ses inconvénients, valorisent toujours passivement ses atouts (ÉCOCONSO, 2009) Les maisons bioclimatiques reposent sur l'idée que l'édifice peut, par le choix de son orientation et sa conception, tirer le maximum d'énergie des éléments naturels et en particulier du climat et de la topographie locale (ÉCOCONSO, 2009). L'architecture bioclimatique doit respecter certaines contraintes qui sont développées.

- **Construction durable**

L'éco conception vise à produire des biens de consommation ou matériaux conçus, dès l'amont de la chaîne de fabrication, en limitant leurs impacts environnementaux (énergie, eau, air...), dans les conditions techniques et économiques du moment. C'est une démarche préventive qui prend en compte le cycle de vie du produit, depuis (extraction des matières premières jusqu'à son élimination en fin de vie (FFB, 2010).

Alors que, l'éco construction est utilisée pour toute construction qui, tout en assurant confort et santé des occupants, limite au mieux les impacts sur l'environnement, en cherchant à s'intégrer le plus respectueusement possible dans un milieu et en utilisant le plus possible les ressources naturelles et locales (FFB, 2010). Maison écologique: Les bâtiments écologiques diffèrent des bâtiments conventionnels en raison de l'intégration d'objectifs sociaux et économiques. Les considérations environnementales correspondent en gros aux impacts écologiques directs et indirects, comme des émissions réduites de gaz à effet de serre ou une consommation d'eau réduite. Les considérations sociales peuvent être directement liées au bâtiment en soi (comme de l'air sain et confortable ou une lumière naturelle) ou déborder le cadre du bâtiment (promotion de l'utilisation des transports en commun ou densification urbaine). La construction de bâtiments écologiques respecte un processus unique de réalisation de projet (Lucuik, et al., 2005). Pour les caractéristiques distinctives des maisons écologiques voir Annexe 2. Maisons solaires: Précurseurs des maisons bioclimatiques, elles

n'utilisent que le soleil direct comme solution d'économie d'énergie (ÉCOCONSO, 2009). 3. Les solutions d'efficacité énergétique

Nous avons choisis d'organiser les solutions d'EE en trois catégories distinctes, qui ont trait à leurs rapports à l'énergie utilisée, ainsi la première catégorie dite passive regroupe toutes les solutions qui n'exigent pas une consommation énergétique pour leurs fonctionnements (conception, ventilation naturel, solaire passif, vitrage, isolation) à l'inverse de la catégorie active où une source d'énergie est requise, la troisième catégorie celle du comportement humain concerne le choix et l'utilisation raisonnée des usages énergétiques dans le bâtiment.

3. Les clés de l'efficacité énergétique

Dans le bâtiment La conception des bâtiments à efficacité énergétique est un processus complexe, sa complexité est due aux informations volumineuses qui nécessitent une approche particulière pour le choix techniques et architecturaux retenus pour ce genre de conception. Ainsi, la forme, la compacité et l'orientation du bâtiment ont des conséquences significatives sur sa performance énergétique, de mauvais choix peuvent entraîner des défaillances imprévisibles dont l'impact sur la consommation énergétique du bâtiment sur le long terme sera effrayant. Selon l'article du FFEM33 ces paramètres clés peuvent être résumés comme suit :

3.1.1. La conception architecturale des bâtiments La prise en compte, dès la conception, des paramètres de construction du bâtiment tels que l'orientation des façades et des ouvertures, le taux de vitrage et les protections solaires ; éviter les grandes ouvertures sur les façades exposées au Nord qui favorisent les entrées d'air froid en hiver et laissent peu pénétrer le rayonnement solaire. De même, un facteur essentiel de confort en été est la protection solaire des fenêtres notamment celles orientées au sud. Par exemple, les brise-soleil qui assurent un ombrage efficace.

3.1.2. L'isolation thermique des parois (murs et toiture) L'isolation thermique des bâtiments permet la diminution des échanges de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur, elle réduit également les besoins de chauffage et de climatisation en minimisant les déperditions thermiques. Cette isolation doit être étudiée en fonction des conditions climatiques du lieu de la construction.

3.1.3. Le choix des matériaux Il faut choisir de meilleurs isolants thermiques et des matériaux énergétiquement performants. Ainsi, les matériaux locaux qui permettent de réduire les déperditions thermiques.

3.1.4. L'utilisation de vitrage de bonne performance optique et thermique Le type du vitrage utilisé joue un rôle très important dans la maîtrise de l'ambiance interne de l'espace construit. Les ouvertures dans les murs ou les murs rideaux sont des points faibles de l'isolation des constructions, il est donc nécessaire d'utiliser des vitrages à haute performance énergétique.

3.1.5. Énergies renouvelables L'utilisation des sources d'énergies dont le renouvellement naturel est assez rapide, considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain. Par exemple, la production d'eau chaude sanitaire (ECS) par énergie solaire est une technique répandue, les besoins en E.C.S sont constants tout au long de l'année, ce qui permet d'être complètement autonome pendant la période estivale, permettant de fournir 60% des besoins en E.C.S.

3.1.6. L'utilisation de systèmes d'éclairage performants dans les bâtiments Les lampes à incandescence ou halogènes standards sont à éviter et à remplacées par des lampes économiques dont le rendement lumineux est 5 à 6 fois

Chapitre IV :
Simulation
numérique via
TRNSys

Chapitre IV : Simulation numérique via TrnSys

Introduction:

Ce chapitre va définir l'objectif de l'étude ainsi que les paramètres du bâtiment cas de base, qui est créé selon des paramètres qui reflètent au plus près la réalité de la construction résidentielle en Algérie ; ces paramètres impliquent les dimensions, les différentes zones, les caractéristiques des matériaux qui composent l'enveloppe du bâtiment en plus des coordonnées géographiques.

Le second temps sera l'occasion de développer la méthodologie choisie pour l'étude des besoins énergétiques, ainsi que la pertinence du choix de l'outil de simulation.

En dernier lieu on évoquera les mesures d'efficacités énergétiques passives, qui impliquent des modifications sur la structure du cas de base, ces modifications seront mentionnées pour chaque mesure.

Objectif de l'étude:

L'objectif de la présente étude est d'évaluer l'évolution des besoins énergétiques en fonction des mesures d'efficacité énergétique passives et les conditions de confort thermique, d'un bâtiment de base créé selon des paramètres qui reflètent au plus près la réalité de la construction résidentielle en Algérie.

1. Paramètre du bâtiment (cas de base):

1.1. Dimensions et zonage du projet :

Le bâtiment a une surface de 80 m^2 , pour un volume de 240 m^3 . L'entrée du bâtiment est orientée vers le nord comme l'indique la figure 28.

Les murs extérieurs non isolés sont en brique creuse d'une épaisseur de 15 cm avec un enduit extérieur en mortier de ciment et l'intérieur en plâtre ; alors que les séparations sont en brique creuse de 10 cm l'enduit est en plâtre sur les deux côtés. Le plancher bas est constitué d'une couche en pierre d'une épaisseur de 20 cm suivie de 10 cm de béton, couvert de

carrelage (la souschape est en mortier de ciment d’une épaisseur de 2 cm). La toiture est en béton-hourdi d’une épaisseur de 20 cm et une chape en mortier de ciment et un enduit intérieur en plâtre. Dans notre cas, chaque pièce est modélisée par une seule et unique zone thermique, le tableau présente les caractéristiques de chaque zone.

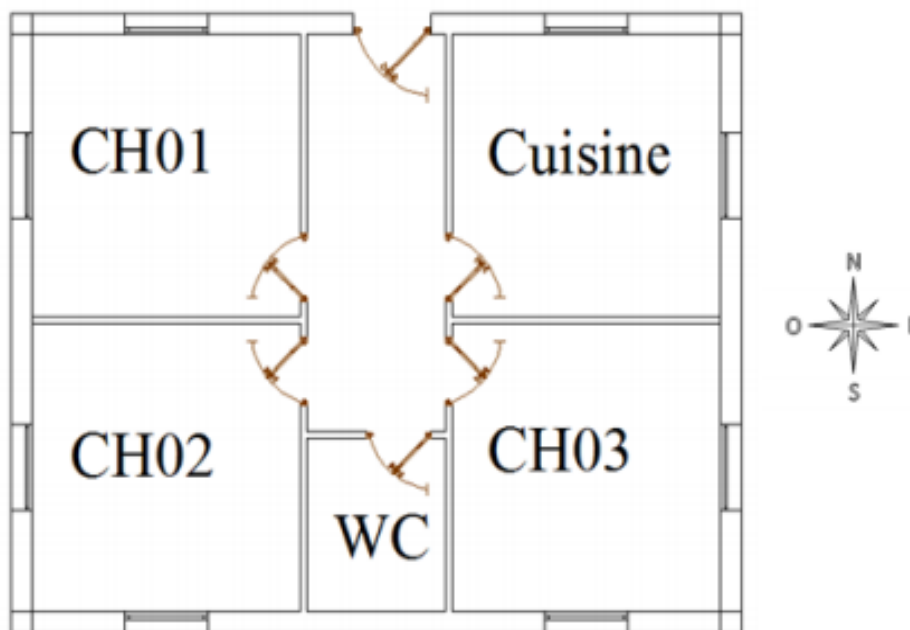


Figure 28: Plan générale du cas de base.

Zones	Hauteur (m)	Largeur (m)	Longueur (m)	Surface (m ²)	Volume (m ³)
A1 (CH1)	3	4	4	16	48
A2 (CH2)	3	4	4	16	48
B1 (Couloir)	3	2	4	8	24
B2 (Salle d'eau)	3	2	4	8	24
C1 (Cuisine)	3	4	4	16	48
C2 (CH3)	3	4	4	16	48
Total				80	240

Tableau 6: Zones et dimensions du cas de base.

Les surfaces vitrées sont de 10% de la surface du plancher (ce qui représente environ 6.67 % surface vitrée par façade). Avec des fenêtres à simple vitrage qui ont un coefficient $U = 5.74 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ et un coefficient $g = 0.87$.

1.2. Caractéristiques thermiques des matériaux

Les caractéristiques thermiques des matériaux utilisés dans le cas de base sont représentées dans le tableau :

Matériaux	Conductivité thermique ($KJ/h m K$)	Chaleur spécifique ($KJ/kg K$)	Densité (kg/m^3)	Epaisseur (m)
Brique creuse	1.7	0.79	720	0.15
Brique creuse	1.8	0.79	720	0.10
Enduit extérieur	4.15	1	1700	0.01
Enduit plâtre	1.26	1	1500	0.01
Mortier	4.15	0.84	2000	0.01
Carrelage	6.14	0.7	2300	/
Béton	7.56	0.8	2400	0.1
Pierre	5	1	2000	0.2
Béton Hourdi	4.801	0.65	1300	0.2

Tableau 7:Caractéristiques thermiques des matériaux.

1.3. Méthodologie de l'étude des besoins énergétiques:

L'étude des besoins énergétiques du projet passe par la réalisation de séries de simulations thermiques dynamiques :

Une simulation du cas de base, qui repose sur un modèle de base et de laquelle on déduit la consommation du cas de base.

Des simulations du cas optimisé qui repose sur un modèle du projet exploitant les mesures d'efficacité énergétique et de laquelle on déduit la consommation du cas optimisé. On distinguera alors deux types de données d'entrée :

- Les données identiques entre le modèle de base et les modèles du projet. Il s'agit :
De la volumétrie (surface, volume, surface des façades...)

Des données météorologiques et des schémas d'utilisation (apports internes et consignes de température...)

Consignes de température : Selon le document technique réglementaire en application en Algérie, les températures de confort pour le chauffage et la climatisation dans les chambres sont respectivement (21°C, 24°C) et les autres espaces (cuisine, salle d'eau et couloir) sont (18°C, 27°C).

- Les données qui seront autorisées à évoluer entre le modèle de base et les modèles du projet et qui traduiront ainsi le gain énergétique. Il s'agit :

De La compacité du bâtiment.

De la répartition des pièces d'intérieures.

Des types des fenêtres.

Des surfaces vitrées.

Des types des matériaux de construction.

De l'impact de l'isolation.

De La protection solaire permanente

1.4. Outils de simulation

1.4.1. Logiciel de simulation :

Il existe un nombre important de logiciels dédiés à la simulation énergétique. Les logiciels existants diffèrent entre eux par les algorithmes qu'ils utilisent, par leur interface utilisateur et finalement par leurs vocations et leurs domaines d'application. Le logiciel utilisé dans le cadre de cette présente étude est : TRNSYS version 16

Présentation du logiciel TRNSYS

TRNSYS est :

- Un programme réalisant des simulations dynamiques
- Un programme basé sur une approche modulaire

- Une méthode pour créer de nouveaux modèles en plus de ceux de la bibliothèque de modèles de systèmes thermiques et de composants auxiliaires (données météo, histogrammes, ...)
- Un solveur pour la résolution de systèmes d'équations Développeurs :
- SOLAR ENERGY LABORATORY (Code source de TRNSYS, TRNSED),
- TRANSOLAR (Type 56, PREBID = TRNBUILD),
- CSTB (Interface graphique IISiBat) = Simulation Studio TRNSYS prend en compte : Les variations horaires :
- Du taux d'occupation
- De la puissance de l'éclairage et des équipements divers
- Des consignes de températures et du fonctionnement du système chauffage et climatisation.

Les effets d'inertie thermique

Les effets de ventilation naturelle

Cent zones thermiques au maximum et les échanges thermiques entre ces zones (par conduction, convection et rayonnement) Couplage avec systèmes : systèmes solaires, mur trombe, serre, production d'électricité... Sorties : + 80 sorties possibles (énergie sensible et latente, échanges radiatifs des fenêtres, stores...) Modèle d'humidité pour la prise en compte des phénomènes de sorption aux parois (TRNSYS)

1.3. Les données météorologiques:

Les données météorologiques qu'il convient d'utiliser pour la simulation thermique sont par défaut celles de la station météorologique, Constantine. Correspondants à la zone géographique du projet. Dans notre cas, les données météorologiques du modèle de base sont identiques en tout point à celles des modèles du projet:

- La température

- L'humidité
- La vitesse et direction du vent
- Le rayonnement solaire

1.4. Etat des lieux des besoins thermiques du cas de base :

Cette étape consiste à paramétrer le logiciel TRNSYS avec les données caractéristiques du cas de base à l'aide du TRNBUILD (Type 56) ainsi que les données météorologiques de Constantine, et on fixe le pas de calcul à une heure pour chaque itération, enfin on simule pour obtenir l'évolution de la température moyenne de l'air à l'intérieur de chaque zone ainsi que les besoins énergétiques de chauffage et de climatisation en énergie utile (*EU*). La figure ci-dessous montre l'évolution de la température.

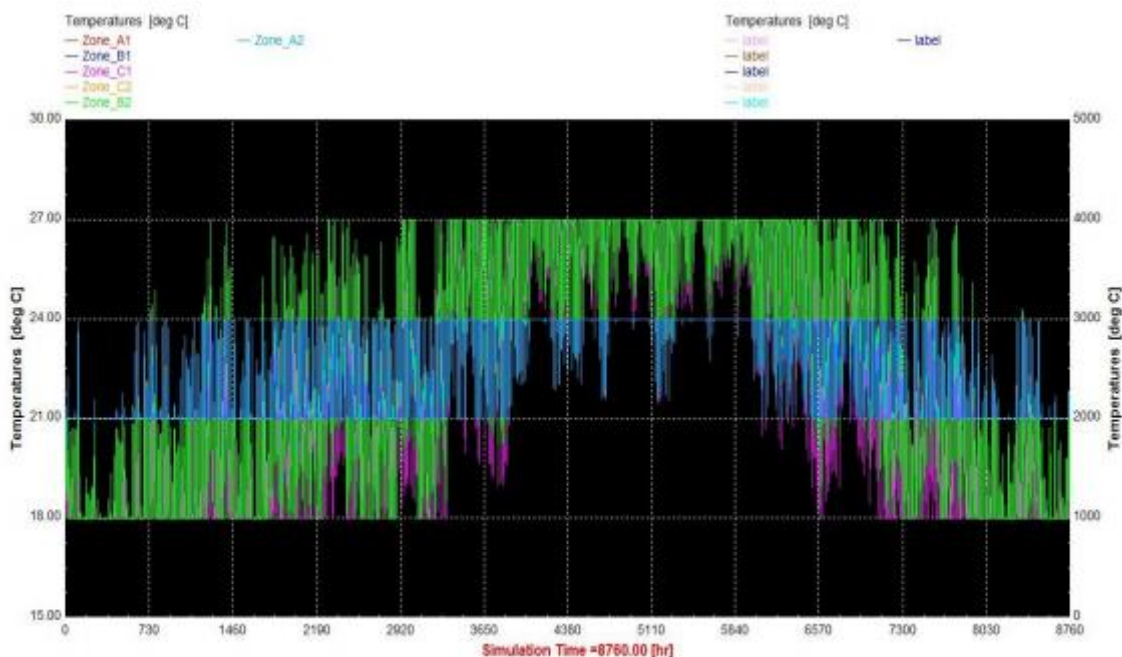


Tableau 8: Evolution annuelle de la température intérieure.

Les besoins énergétiques de chauffage et de climatisation en énergie utile (*EU*) du bâtiment (cas de base) se révèlent être de l'ordre de 9180 (*KWh/an*) pour le chauffage et de 11060 (*KWh/an*) pour la climatisation soit un besoin total annuel de 20240 (*KWh*).

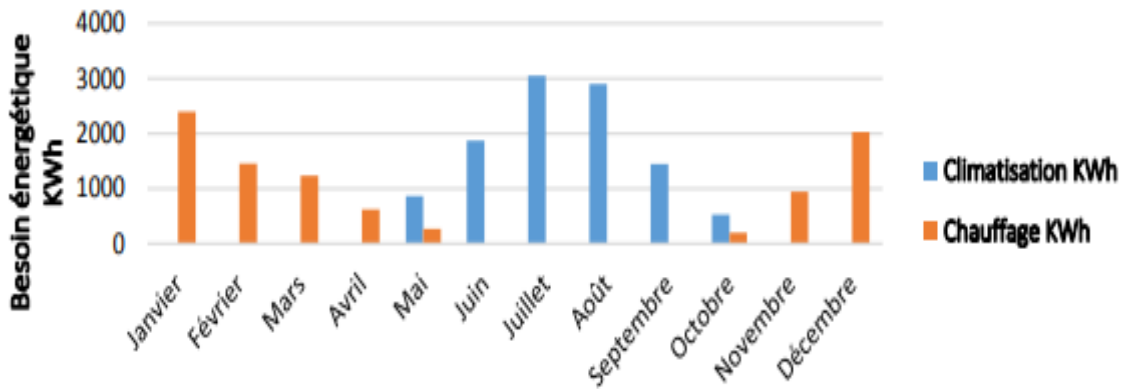


Figure 29: L'évolution mensuelle des besoins énergétiques.

La performance énergétique de notre cas est de l'ordre de $253 \text{ KWhEU/m}^2 \cdot \text{an}$ (on obtient cette performance en divisant le besoin total annuel par la surface du bâtiment 80 m^2). On estime la facture énergétique annuelle (Energie finale) selon le prix de la 2^{ème} tranche de l'électricité et du gaz à $31346,00 \text{ DA}$ soit une moyenne trimestrielle de $7836,50 \text{ DA}$, on obtient ce résultat si on considère que le système de climatisation a un $COP = 2$ et le rendement du système de chauffage est $\eta = 0.6$.

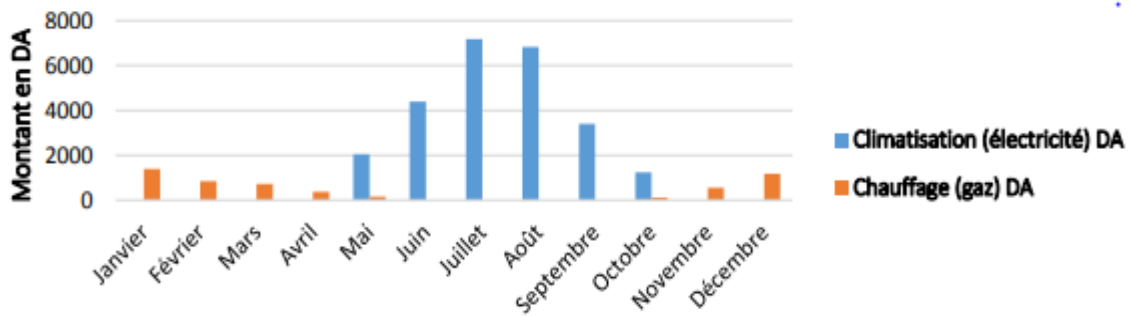


Figure 30: Montant des factures énergétiques mensuelles.

2. Les mesures d'efficacité énergétique:

On s'intéressera uniquement aux mesures d'efficacité énergétique passives qui nécessitent ni une assistance énergétique ni une intervention des occupants, ces mesures concernent l'enveloppe du bâtiment et visent à rendre le cas de base le plus efficace possible. La simulation se fera selon sept scénarios, qui prennent en compte ces paramètres:

- La compacité du bâtiment.

- La répartition des pièces d'intérieures.
- Les types des fenêtres.
- Les surfaces vitrées.
- Les types des matériaux de construction.
- L'impact de l'isolation.
- La protection solaire permanente.

Dans ce qui suit on présentera la méthode de la mise en œuvre de ces mesures à travers la simulation qui a trait à chaque cas et ainsi dégager le cas optimale qui réunira l'ensemble de l'optimale de chaque cas, chaque mesure implique des modifications par rapport au cas de base du point de vue de chaque scénario.

2.1. La compacité du bâtiment :

La première mesure consiste à simuler et étudier l'impact de la compacité, ainsi nous retiendrons trois formes spécifiques en dégradant la compacité du cas de base comme le montre le tableau ci-dessous.

		Zones	Hauteur	Largeur	Longueur	Surface	Volume						
Forme 01 (Cas de base)	<table border="1"> <tr> <td>A1</td> <td>B1</td> <td>C1</td> </tr> <tr> <td>A2</td> <td>B2</td> <td>C2</td> </tr> </table>	A1	B1	C1	A2	B2	C2	A1 CH1	3	4	4	16	48
		A1	B1	C1									
		A2	B2	C2									
		B1 COULOIR	3	2	4	8	24						
		B2 WC	3	2	4	8	24						
		C1 CUISINE	3	4	4	16	48						
		A2 CH2	3	4	4	16	48						
		C2 CH3	3	4	4	16	48						
Somme					80	240							
		Zones	Hauteur	Largeur	Longueur	Surface	Volume						
Forme 02		A1 CH1	3	4	4	16	48						
		B1 Couloir	3	2	4	8	24						
		C1 Cuisine	3	4	4	16	48						
		B2 WC	3	2	4	8	24						
		C2 CH2	3	4	4	16	48						
		C3 CH3	3	4	4	16	48						
		Somme					80	240					
		Zones	Hauteur	Largeur	Longueur	Surface	Volume						
Forme 03		A1 CH1	3	4	4	16	48						
		B1 COULOIR	3	2	4	8	24						
		B2 WC	3	2	4	8	24						
		C2 CUISINE	3	4	4	16	48						
		C3 CH2	3	4	4	16	48						
		D3 CH3	3	4	4	16	48						
		Somme					80	240					

Tableau 9:Zones et dimensions des formes (Compacité du bâtiment).

2.2. La répartition des pièces:

Notre cas de base se compose de six zones, pour déterminer la meilleure répartition de ces six zones par apport au besoin énergétique on inter changera la position des zones comme l'indique le tableau et simuler à chaque fois le besoin énergétique annuel.

Forme 01 (Cas de base)	Zones	Hauteur	Largeur	Longueur	Surface	Volume
	A1 CH1	3	4	4	16	48
	B1 COULOIR	3	2	4	8	24
	B2 WC	3	2	4	8	24
	C1 CUISINE	3	4	4	16	48
	A2 CH2	3	4	4	16	48
	C2 CH3	3	4	4	16	48
	Somme				80	240
Forme 02	Zones	Hauteur	Largeur	Longueur	Surface	Volume
	A1 CUISINE	3	4	4	16	48
	B1 COULOIR	3	2	4	8	24
	B2 WC	3	2	4	8	24
	C1 CH1	3	4	4	16	48
	A2 CH2	3	4	4	16	48
	C2 CH3	3	4	4	16	48
	Somme				80	240
Forme 03	Zones	Hauteur	Largeur	Longueur	Surface	Volume
	A1 CH1	3	4	4	16	48
	B1 COULOIR	3	2	4	8	24
	B2 WC	3	2	4	8	24
	C1 CH2	3	4	4	16	48
	A2 CUISINE	3	4	4	16	48
	C2 CH3	3	4	4	16	48
	Somme				80	240
Forme 04	Zones	Hauteur	Largeur	Longueur	Surface	Volume
	A1 CH1	3	4	4	16	48
	B1 COULOIR	3	2	4	8	24
	B2 WC	3	2	4	8	24
	C1 CH3	3	4	4	16	48
	A2 CH2	3	4	4	16	48
	C2 CUISINE	3	4	4	16	48
	Somme				80	240

Tableau 10:Zones et dimensions des formes (Répartition des pièces).

2.3. Les types de fenêtres:

Ce cas présent sera l'étude de l'influence du type des fenêtres sur les besoins énergétiques utiles, cela on employant quatre types de fenêtres dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau qui suit :

Fenêtres	Coefficient de déperdition $U(W/m^2 K)$	Coefficient de transmission $g (%)$	Hauteur (m)	Largeur (m)
Simple vitrage	5.74	87.00	1.00	0.80
Double vitrage	2.95	77.70	1.00	0.80
Triple vitrage	2.00	70.00	1.00	0.80
Double vitrage peu émissif	1.76	59.70	1.00	0.80

Tableau 11:Caractéristiques des fenêtres.

2.4. Les surfaces vitrées

Ce cas aura comme objet l'étude de la simulation de la proportion de la surface vitrée par rapport aux façades extérieures (de 0% à 90% surface vitrée par façade), pour déterminer le pourcentage optimal de la surface vitrée pour chaque façade. L'opération sera renouvelée pour les deux types de fenêtres (Simple vitrage et double vitrage peu émissif).

2.5. Les types des matériaux de construction:

La simulation se fera sur la pertinence du choix des matériaux des façades extérieurs, ainsi nous retiendrons cinq types de matériaux en plus de notre cas de base qui est construit en brique creuse, à savoir le parpaing, le béton, la paille, la pierre, la terre crue ainsi que deux composition :

Double murette en briques creuses (15cm et 10cm) avec une lame d'air (5cm) et le mélange terre crue paille.

La simulation intégrera deux épaisseurs différentes pour la brique et le parpaing. Le choix des épaisseurs des matériaux est motivé par leurs disponibilités sur le marché algérien sous cette forme, ce qui porte le nombre de cas à dix. Les caractéristiques des matériaux sont décrites dans le tableau suivant :

Matériaux	Conductivité thermique ($KJ/h m K$)	Chaleur spécifique ($KJ/kg K$)	Densité (kg/m^3)	Epaisseur (m)
Brique creuse	1.70	0.79	720	0.15
Brique creuse	1.80	0.79	720	0.10
Lame d'air	9.216	1.227	1	0.05
Parpaing	4.007	0.65	1300	0.10
Parpaing	3.79	0.65	1300	0.20
Béton	7.56	0.80	2400	0.1
Paille	0,252	1.70	100	0.45
Terre crue	0.72	1.00	750	0.45
Terre crue-paille	0.603	1.17	580	0.45
Pierre	5.00	1.00	2000	0.45

Tableau 12:Caractéristiques thermiques des matériaux.

2.6. L'impact de l'isolation:

L'impact de l'isolation sera au cœur de cette simulation en effet nous avons opté uniquement pour le polystyrène expansé comme isolant pour les matériaux conventionnels dont les caractéristiques thermiques sont :

$$\lambda = 0.141(KJ/h m K), C = 1.38(KJ/kg K) \text{ et } d = 25 (kg/m^3).$$

L'isolant sera utilisé selon plusieurs épaisseurs qui varient entre 1 cm et 10 cm, pour les façades extérieurs, la toiture et le plancher bas ; afin de déterminer à la fois la partie qu'il faut isoler en priorité et l'épaisseur de l'isolant qui garantit un besoin énergétique optimal. Pour les cas dont les murs extérieur sont en matériaux « naturelles », la toiture sera doté d'une isolation avec de la paille (une demi botte d'épaisseur 22,5cm), les caractéristiques thermiques de la paille sont les même que ceux définit dans le tableau 12.

2.7. La protection solaire permanente:

L'objectif sera de déterminer l'opportunité d'une protection solaire permanente comme mesure passive d'efficacité énergétique sur le cas de base avec fenêtres simple vitrage ; en modifiant la dimension de la protection solaire (d et s) en fonction de la hauteur de la fenêtre comme le montre la figure.

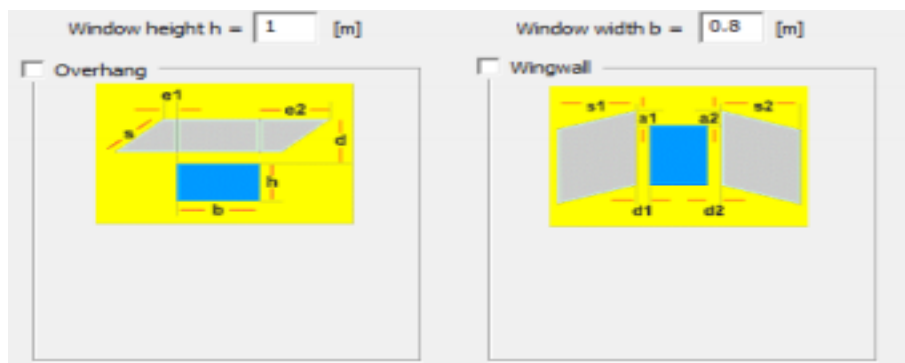


Figure 31:Dimensions de la protection solaire.

3. Conclusion:

L'objectif de l'étude étant mis au point : évaluer l'évolution des besoins énergétiques en fonction des mesures d'efficacité énergétique choisies, sur un bâtiment conçu sur la base des habitudes constructives et de données géographiques et météorologiques locales.

Le logiciel TRNSYS sera utilisé pour faire les simulations :

La première est la simulation de cas de base, qui intègre les données spécifiques du bâtiment (cas de base) afin de simuler les besoins énergétiques de ce dernier.

La deuxième, la simulation du cas optimisé qui consiste à appliquer une-à-une les mesures d'efficacité pour dégager en chaque mesure -suivant l'impact de cette dernière- sur le besoin énergétique du cas de base ; le cas optimisé serait la somme des cas optimaux de chaque mesure. Ce chapitre a été consacré aux matériels et méthodes qui seront mis en œuvre pour cette étude, le prochain sera dédié aux résultats des simulations du projet

Chapitre V :

Résultats et discussion

Chapitre V : Résultats et discussion

1. Introduction :

Ce chapitre se focalisera sur la simulation de l'impact des mesures d'efficacité énergétique passives sur les besoins énergétiques du bâtiment de base,

L'objectif assigné à ce travail est de faire sortir le modèle qui correspond à un bâtiment le plus efficace possible en tenant compte des mesures précédemment citées. Cet objectif passe par la comparaison de l'influence de chaque mesure passive avec le cas de base pour faire ressortir l'impact de chaque paramètre indépendamment et ainsi éviter l'effet des interactions des paramètres.

L'impact des mesures d'efficacité énergétique sera étudié séparément en se référant au cas de base pour chaque mesure. Après avoir préalablement paramétrer le cas de base et simuler ces besoins énergétiques. Cette démarche permettra de déterminer l'impact de chaque mesure qui sera matérialisé par une évolution du besoin énergétique du nouveau cas, s'en suit la comparaison de l'influence des mesures par rapport à la proportion d'énergie économisée

2. Résultats de la simulation:

2.1. L'impact des mesures d'efficacités énergétiques passives :

2.1.1 La compacité du bâtiment:

Besoin énergétique (Energie utile)	Forme 01 (Cas de base)	Forme 02	Forme 03
Chauffage (KWH)	9180	10290	11710
Climatisation (KWH)	11060	11530	11160
Besoin total (KWH)	20240	21820	22870
Performance énergétique	253,00	272,75	285,88
Energie économisée (%)		-7,81	-12,99

Tableau 13:Besoin énergétique annuel (Compacité du bâtiment).

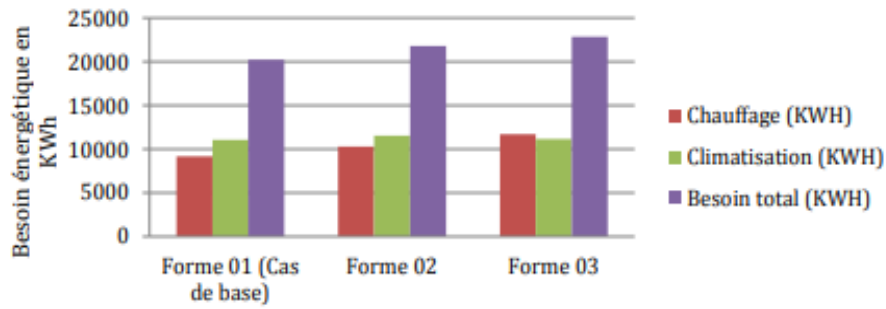


Figure 32: Besoin énergétique annuel (Compacité du bâtiment).

2.1.2 La répartition des pièces:

Besoin énergétique (Energie utile)	Forme 01 (Cas de base)	Forme 02	Forme 03	Forme 04
Chauffage (KWH)	9180	9173	9268	9274
Energie économisée (%)		0,08	-0,96	-1,02
Climatisation (KWH)	11060	11050	10900	10910
Besoin total (KWH)	20240	20223	20168	20184
Performance énergétique	253,00	252,79	252,10	252,30
Energie économisée (%)		0,08	0,36	0,28

Tableau 14: Besoin énergétique annuel (Répartition des pièces).

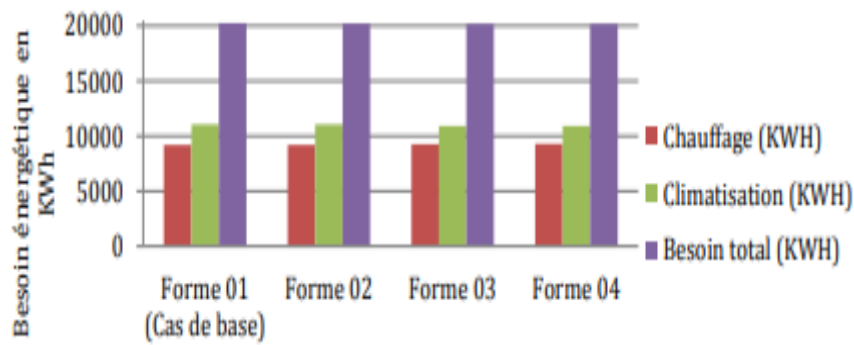


Figure 33: Besoin énergétique annuel (Répartition des pièces).

2.1.3 Les types de fenêtres:

Besoin énergétique (Energie utile)	Simple vitrage (base)	Double vitrage	Triple vitrage	Double peu émissif
Chauffage (KWH)	9180	8259	8064	8095
Climatisation (KWH)	11060	11220	11170	11040
Besoin total (KWH)	20240	19479	19234	19135
Performance énergétique	253,00	243,49	240,43	239,19
Energie économisée (%)		3,76	4,97	5,46

Tableau 15: Besoin énergétique annuel (Type de fenêtres).

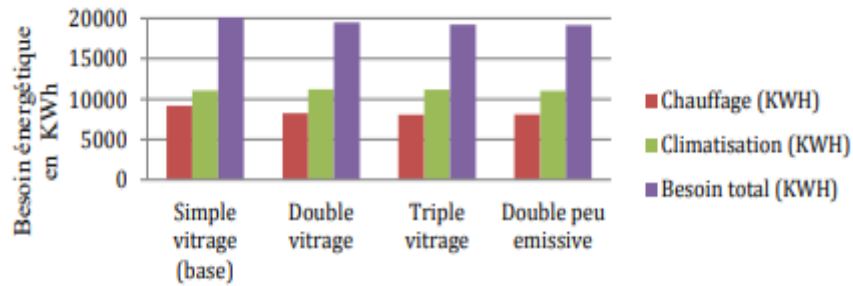


Figure 34: Besoin énergétique annuel.

2.1.4. Les surfaces vitrées

2.1.4.1 Simple vitrage

• Façade Nord :

Besoin énergétique (KWh)	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Chauffage	8897	9259	9630	10010	10390	10780	11180	11590	11990	12410
Climatisation	10980	11080	11170	11260	11340	11410	11480	11540	11600	11650
Besoin total	19877	20339	20800	21270	21730	22190	22660	23130	23590	24060
Performance énergétique	248,46	254,24	260,00	265,88	271,63	277,38	283,25	289,13	294,88	300,75
Energie économisée (%)	1,79	-0,49	-2,77	-5,09	-7,36	-9,63	-11,96	-14,28	-16,55	-18,87

Tableau 16: Besoin énergétique annuel (Simple vitrage, façade Nord).

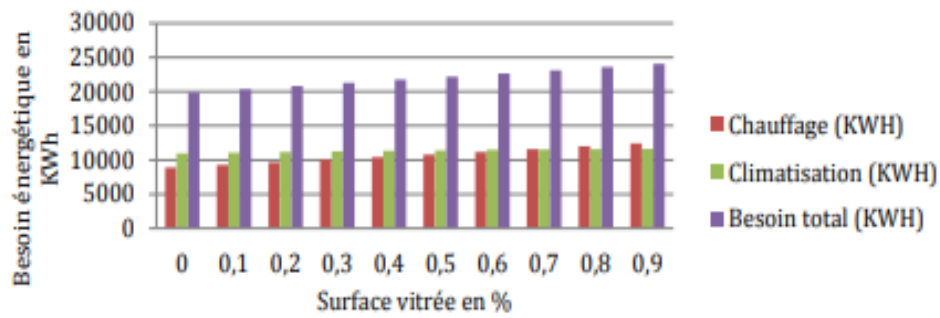


Figure 35 : Besoin énergétique annuel (Simple vitrage, façade Nord).

• Façade Sud :

Besoin énergétique (KWh)	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Chauffage	9041	9226	9440	9678	9938	10220	10510	10810	11130	11460
Climatisation	10800	11130	11450	11780	12100	12410	12710	13010	13290	13570
Besoin total	19841	20356	20890	21458	22038	22630	23220	23820	24420	25030
Performance énergétique	248,01	254,45	261,13	268,23	275,48	282,88	290,25	297,75	305,25	312,88
Energie économisée (%)	1,97	-0,57	-3,21	-6,02	-8,88	-11,81	-14,72	-17,69	-20,65	-23,67

Tableau 17: Besoin énergétique annuel (Simple vitrage, façade Sud).

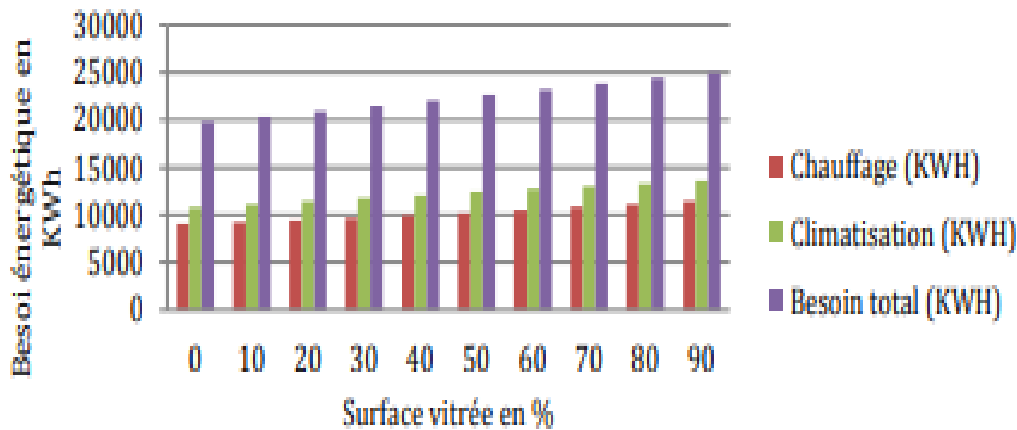


Figure 36: Besoin énergétique annuel (Simple vitrage, façade Sud).

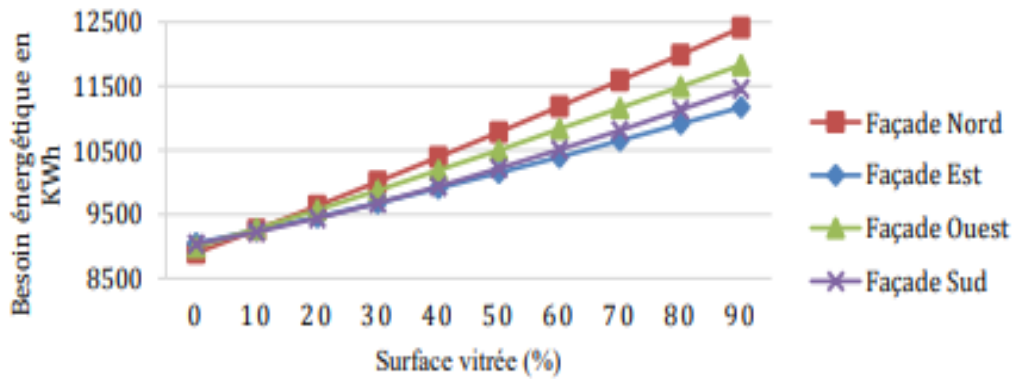


Figure 37: Besoin énergétique du chauffage en fonction des surfaces vitrées ; simple vitrage.

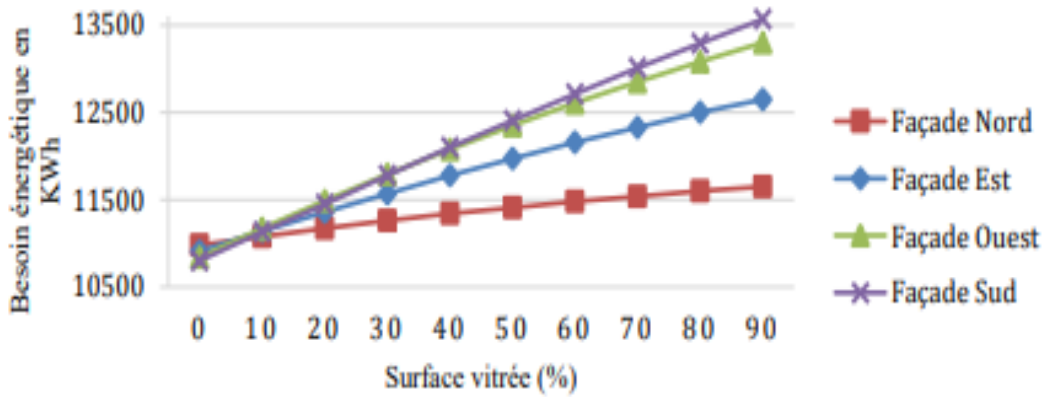


Figure 38: Besoin énergétique de la climatisation en fonction des surfaces vitrées ; simple vitrage.

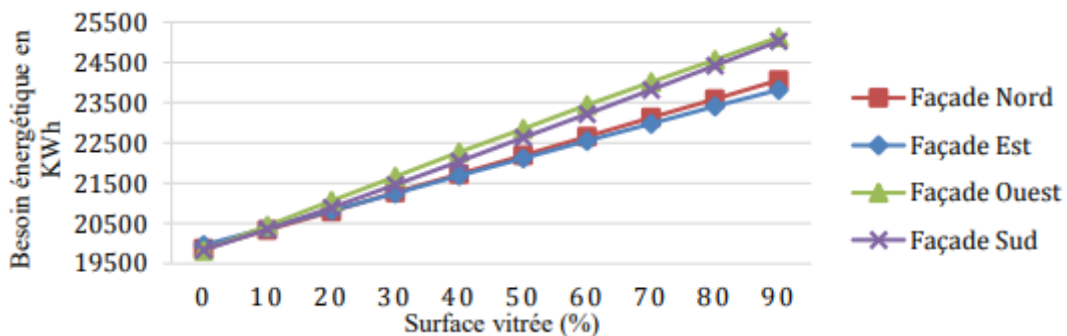


Figure 39: Besoin énergétique total en fonction des surfaces vitrées simple vitrage.

2.1.4.2 Doubles vitrages peu émissif:

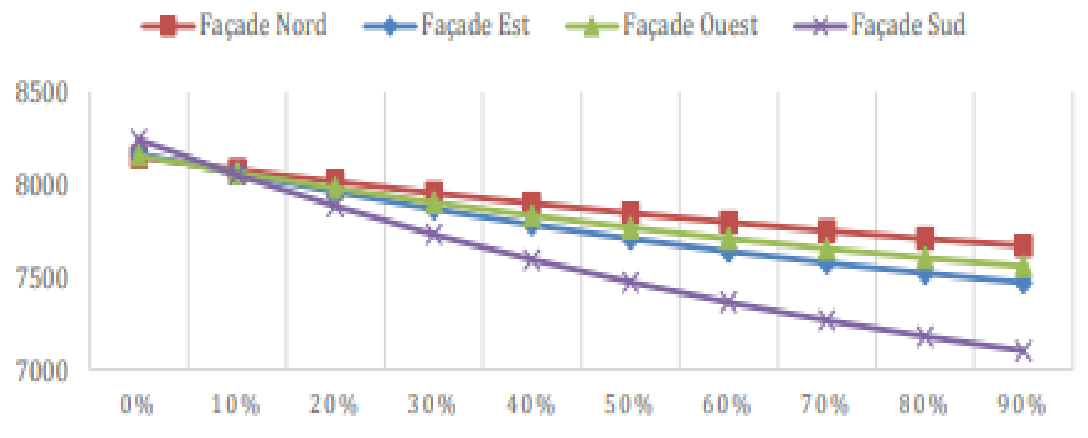


Figure 40: Besoin énergétique du chauffage en fonction des surfaces vitrées double vitrage peu émissif.

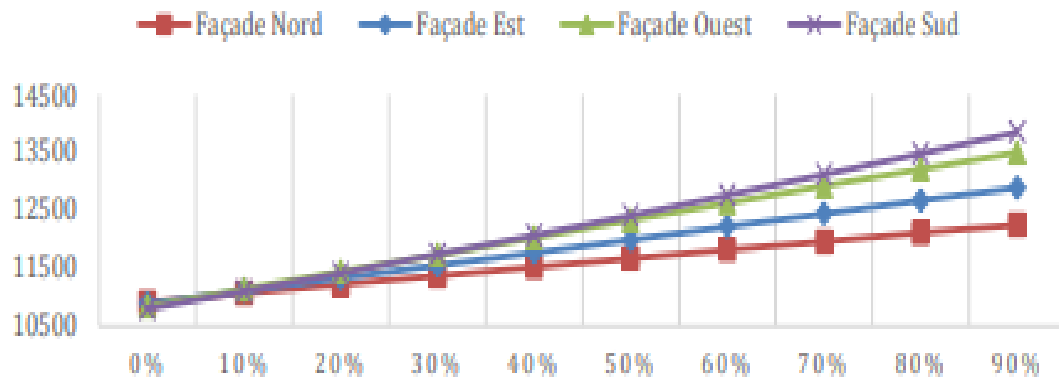


Figure 41: Besoin énergétique de la climatisation en fonction des surfaces vitrées double vitrage peu émissif.

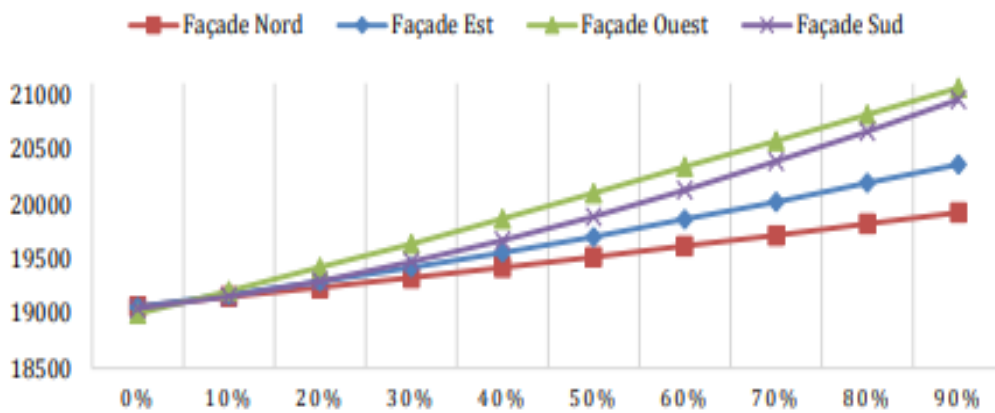


Figure 42: Besoin énergétique total en fonction des surfaces vitrées double vitrage peu émissif.

2.1.5 Les types des matériaux de construction:

Besoin énergétique (KWh)	Brique (15cm) (base)	Brique (10cm)	Parpaing (10cm)	Parpaing (20cm)	Double murette (30cm)	Béton (15cm)	Paille (45cm)	Terre-paille (45cm)	Terre crue (45cm)	Pierre (45cm)
Chauffage	9180	10910	12940	10300	5334	12250	4125	4579	4652	8105
Climatisation	11060	11590	11780	10690	10470	10600	10950	10580	10640	9760
Besoin total	20240	22500	24720	20990	15804	22850	15075	15159	15292	17865
Performance énergétique	253,00	281,25	309,00	262,38	197,55	285,63	188,44	189,49	191,15	223,31
Energie économisée (%)		-11,17	-22,13	-3,71	21,92	-12,90	25,52	25,10	24,45	11,73

Tableau 18: Besoin énergétique annuel (Types des matériaux).

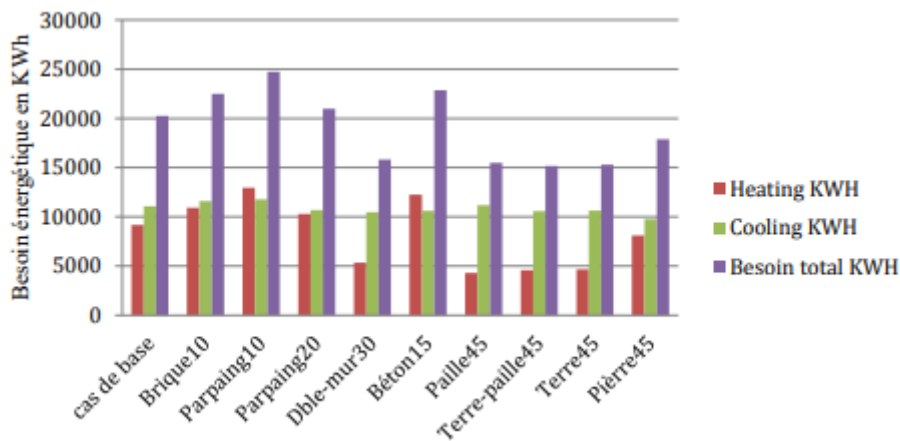


Figure 43: Besoin énergétique annuel (Types des matériaux).

2.1.6 L'impact de l'isolation:

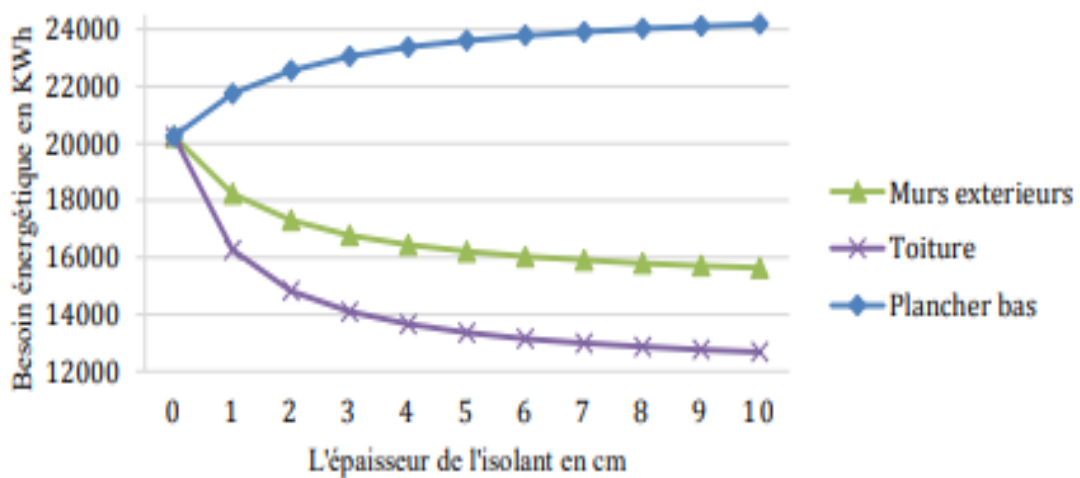


Figure 44: L'évolution du besoin énergétique annuel (L'impact de l'isolation).

2.1.7 La protection solaire permanente:

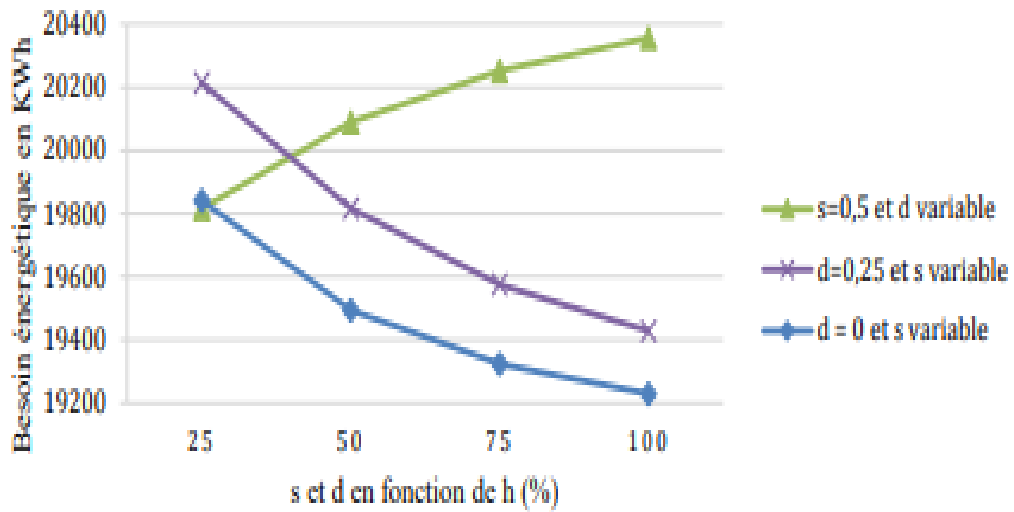


Figure 45: Dimensionnement de la protection solaire.

Besoin énergétique (KWh)	Sans protection solaire (cas base)	Avec protection solaire
Chauffage	9180	10090
Climatisation	11060	9110
Besoin total	20240	19200
Performance énergétique	253,00	240,00
Energie économisée (%)		5,14

Tableau 19: Besoin énergétique annuel (Protection solaire permanente).

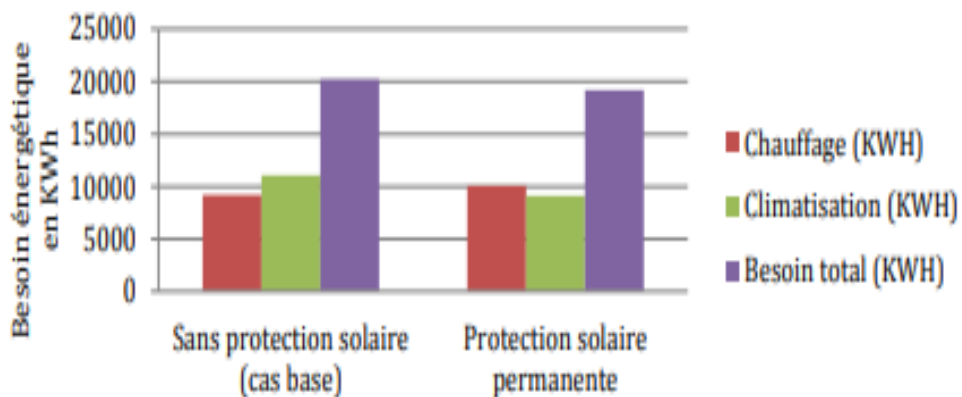


Figure 46: Besoin énergétique annuel (Protection solaire permanente).

3. Discussions:

3.1. Analyse des résultats :

La simulation du cas de base a donné un besoin énergétique total annuel de 20240 (KWh) soit 9180 (KWh) pour environ sept mois de fonctionnement du chauffage alors que pour plus de cinq mois de climatisation le résultat obtenu est de 11060 (KWh).

Ce qui donne une performance énergétique pour le bâtiment d'une valeur de **253 KWhEU /m²an**, cette valeur inclus 114,75 KWhEU /m²an uniquement pour le chauffage. Il est à rappeler que le label Allemand PassivHaus exige pour le chauffage une performance de l'ordre de 15 KWhEU /m²an, est-il nécessaire d'indiquer que le cas de base a été simulé on incluant les données météorologiques de la ville de Constantine qui n'est pas connu pour avoir un hiver aussi rude que celui en Allemagne. D'ailleurs le même bâtiment (cas de base) simulé avec les donnée météorologique de la ville de Stuttgart exige un besoin énergétique en chauffage de 24750 KWh (309,38 KWhEU /m²), soit vingt fois plus de ce que exige le label si le bâtiment été situé en Allemagne.

Afin d'atténuer les besoins énergétiques du cas de base nous avons proposé une série de mesure suivie de la simulation de leur impact sur le besoin énergétique du bâtiment.

3.1.1. Compacité du bâtiment:

Les résultats pour la première mesure en occurrence la compacité de l'architecture montrent que la performance énergétique se détériore au fur et à mesure que la surface des façades extérieures augmente ainsi une baisse de la performance énergétique pour la forme 02 de 7,81% et pour la forme 03 (encore moins compacte) une baisse de l'ordre de 13%.

La compacité qui souvent n'est pas prise en compte au cours de la conception et même lors des études thermiques alors que l'étude a montré sans ambiguïté le rôle non négligeable de la compacité pour la maîtrise énergétique. La forme du cas de base sera gardée car elle s'est avéré la plus compacte donc la plus efficace.

3.1.2. Répartition des pièces :

Le bâtiment étudié a une répartition plutôt symétrique des zones, en plus le rapport des surfaces vitrées aux surfaces des façades est identique, ce qui a pour résultat une performance énergétique quasi identique en dépit du changement de répartition des pièces ainsi un gain d'énergie total de seulement 0,36% pour la forme 03 par rapport au cas de base, mais le gain pour la climatisation est quatre fois plus importants (1,45%) par rapport au gain total ; L'influence de la répartition des pièces sur le besoin énergétique pour notre cas de base a été très limité cela n'interdit nullement que cette mesure sera bénéfique pour une autre conception.

3.1.3. Types de fenêtres :

Les résultats qui accompagnent le changement de type de fenêtre montrent que la qualité du vitrage influe sur le besoin énergétique total du bâtiment ainsi l'utilisation des fenêtres double vitrage peu émissif ont apporté un gain substantiel de 5,46% alors que le triple vitrage a apporté 4,97% de gain.

En conséquence le gain énergétique n'est pas proportionnel au nombre de vitrage qui constitue la fenêtre mais de la qualité thermique de la fenêtre elle-même, car une fenêtre double vitrage performante a apporté un gain énergétique supérieur à celui obtenu par une fenêtre triple vitrage. L'utilisation d'une fenêtre qui dispose d'un coefficient UW trois fois inférieur à celui des fenêtres utilisées dans notre cas de base a apporté un gain modeste par rapport au cout d'investissement ce qui prolonge le temps du retour sur investissement.

Cet état rend cette mesure non pas nécessaire mais complémentaire d'une approche globale, cependant la fenêtre double vitrage peu émissif sera retenu comme le cas optimale dans cette étape de simulation.

3.1.4. Les surfaces vitrées :

L'étude de l'impact de la répartition du pourcentage des surfaces vitrées dans chaque façade a pour but l'examen du gain énergétique en chauffage grâce aux apports solaire.

La première simulation a gardé les fenêtres à simple vitrage du cas de base qui disposent d'un grand coefficient de déperdition ($5.74 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) qui a conduit à rendre la

simulation des besoins énergétiques insensible aux gains énergétiques en modifiant la proportion des surfaces vitrées, pour toute les façades y compris la façade Sud.

Les fenêtres doubles vitrages ont été au centre de la deuxième simulation, concluant qu'il faut absolument éviter de disposer des fenêtres dans la façade Nord sous peine de voir ses besoins énergétiques explosés simultanément avec l'accroissement de la surface vitrée. Pour les autres façades un gain énergétique pour le chauffage est enregistré proportionnellement à l'augmentation des surfaces vitrées toutefois la façade sud, le gain est plus important et se stabilise au-delà de la moitié de la surface de la façade, par contre pour les façades Est et Ouest le gain augmente lentement pour atteindre le maximum quand la surface vitrée atteint le 1/3 de la façade. Les deux derniers types de fenêtre (le triple vitrage et le double vitrage peu émissif), ont donné approximativement les mêmes résultats, à savoir un gain pour le chauffage de 23,51% au maximum pour le triple vitrage et 22,64% pour le double vitrage peu émissif pour leurs façades Sud, les trois autres façades elles enregistrent un pour cent de gain au moyenne pour dix pour cent de surface vitrée en plus.

La détermination de la proportion des surfaces vitrées pour chaque façade ne peut être définie à ce stade, car l'intégration de la protection solaire qui a pour objectif de baisser le besoin en climatisation et d'augmenter celui du chauffage contrairement à l'augmentation de la surface vitrée, l'intégration de ces deux facteurs produit le cas optimal.

3.1.5. Type des matériaux de construction :

Le choix du type du matériau de construction c'est révélé fondamental dans la détermination du besoin énergétique total, en effet les résultats de la simulation ont montré que lors de l'utilisation de la botte de paille comme matériau de construction le gain énergétique peu atteindre jusqu'à 25,52%, alors que l'emploi du parpaing peut engendrer une baisse de la performance énergétique de pas moins de 22,13%. L'intervalle de l'impact du choix des matériaux de construction sur le besoin en énergie utile, peut atteindre jusqu'à **50%**.

Le parpaing (l'un des matériaux les plus utilisés) a une performance énergétique lamentable contrairement à la double murette en brique creuse qui a un gain énergétique de 21,92%. Le détail des résultats montre que, le premier résultat doit être nuancé. En effet il faut intégrer d'autres paramètres qu'il faut retenir séparément: les besoins en climatisation et en

chauffage. Sachant que l'énergie finale pour la climatisation est beaucoup plus importante, les matériaux qui privilègent le rafraîchissement passif tout en abaissant le besoin de chauffage sont les plus performants. Cette particularité va être confirmée grâce à l'optimisation finale qui retiendra les matériaux suivants : la botte de paille, le mélange terre crue paille, la double murette en brique et la pierre ; car leurs taux de gain sont proches. D'un autre côté quand certains matériaux minimisent le besoin en chauffage passif les autres favorisent le rafraîchissement.

3.1.6. L'impact de l'isolation :

Les résultats ont montré que l'isolation du plancher bas avait un impact négatif sur le gain énergétique total, par contre l'isolation de la toiture et des murs extérieurs ont un impact non négligeable bien que ce soit dans des proportions différentes.

L'isolation des murs extérieurs peut apporter un gain de l'ordre de 22,73%, mais l'isolation de la toiture dépasse largement celles des murs extérieurs, en plus l'isolation de la toiture permet une baisse du besoin énergétique en chauffage et en climatisation simultanément contrairement à l'isolation des murs extérieurs qui abaisse seulement le besoin en chauffage. Concernant l'épaisseur de l'isolant, on distinguera entre l'isolation des murs extérieurs et celle de la toiture car pour l'isolation des murs extérieurs on constate qu'après une épaisseur de 3cm la courbe du besoin énergétique en climatisation remonte contrairement à la courbe de l'isolation de la toiture.

3.1.7. La protection solaire permanente :

L'étude de la protection solaire permanente a montré que le besoin énergétique pour le chauffage a augmenté inversement à la climatisation qui a enregistré une baisse de plus de 19%, pour au final arriver à un gain énergétique total de plus de 5%.

Cette étude a intégré uniquement une protection solaire permanente (une avancée architecturale) qui manque d'un appoint pour protéger le vitrage par exemple la protection solaire végétale qui a l'avantage de protéger les surfaces vitrées du rayonnement solaire en été et de favoriser le solaire passif en hiver.

En dépit de ce manque qui s'explique par le souci de garder simplement les mesures complètement passives. Le gain énergétique total occasionné par la protection solaire

permanente est proche de celui obtenu grâce au plus performant des fenêtres à savoir la fenêtre à double vitrage peu émissif

3.2. Le cas optimisé :

Le cas de base a subi les mesures d'efficacité énergétique passives, en premier lieu la compacité et la répartition des pièces, ensuite l'ajout de la protection solaire. Ces trois mesures ont permis un gain énergétique de plus de 5%, puis l'ajout -au cas de base optimisé avec ces trois mesures- de l'optimisation du type de fenêtre a engendré un gain de plus de 10%.

Comme cela était prévu la prochaine étape consistait à définir le type du matériau le plus performant, ainsi les matériaux suivants sont retenus : la botte de paille, la pierre et la double murette en brique creuse. Le mélange terre-paille étant exclu car présentant un gain énergétique moindre au niveau du chauffage et de la climatisation par rapport aux trois autres matériaux.

La simulation du type des matériaux a montré que la paille représente le meilleur gain énergétique total, alors que la pierre présente le meilleur gain énergétique pour la climatisation. Bien que la double murette en brique creuse ne soit pas le meilleur matériau en terme d'optimisation énergétique, elle est retenue encore à ce stade dans l'optique de simuler son impact combiné avec son isolation par l'extérieur avec un isolant conventionnelle, suite à cela la double murette a prouvé une économie énergétique de 30,70% en dessous de celui de la paille qui s'établit à 31,79%, mais en ce qui concerne le gain énergétique pour la climatisation elle bénéficie d'un avantage par rapport à la paille.

A ce niveau de l'optimisation, trois matériaux sont à retenir : La botte de paille et la pierre sans isolation par l'extérieur et la double murette avec isolation. Le cas en botte de paille et en pierre ont leurs toitures isolées en paille d'une épaisseur de 22,5cm. Alors que la toiture du cas en double murette en brique creuse, est isolée avec du polystyrène expansée d'une épaisseur de 10cm. Le résultat final donne la double murette en position avec une performance énergétique totale de **107 KWhEU /m2an** ce qui représente près de **2/3** d'économie d'énergie par rapport au cas de base (253 KWhEU /m2an), mais la botte de paille et la pierre comme matériaux de construction s'en tirent bien car la botte de paille demande un besoin énergétique du chauffage de seulement **29,62 KWhEU /an** ce qui en fait le

matériaux idéal si le but est de s'en passer du besoin énergétique du chauffage, alors que la pierre privilégie la diminution du besoin énergétique pour la climatisation jusqu'à près de la moitié (**47, 08%**) par rapport au cas de base, ce qui en fait l'unique et la seule mesure qui a permis d'atteindre une telle efficacité

CONCLUSION GENERALE

Le secteur résidentiel est celui dont toutes les attentions en termes d'efficacité énergétique doivent être tournées, étant partout dans le monde le secteur responsable de la plus grande part de la consommation énergétique, cela est toute en plus vrai pour l'Algérie qui en l'espace de quelques années a vue croître son parc de logement sans la moindre prise en considération de la question de la maîtrise de l'énergie.

Le choix de simuler uniquement les mesures d'efficacité énergétique passives c'est au final révélé pertinent, car rien que en isolant la toiture le gain énergétique total obtenu est plus de 1/3 à l'aide d'un isolant conventionnel.

Alors que ce résultat peut très bien être obtenu par l'emploi des matériaux naturels respectueux de l'environnement, sans prendre en considération la notion d'énergie grise ni même l'analyse du cycle de vie qui exclurait de fait les matériaux conventionnels. Les mesures d'efficacité énergétique passives ont chacune de leurs côté apporté un gain énergétique mais dans des proportions différentes, c'est ainsi qu'il faut distinguer l'ordre de priorité suivant l'objectif assigné et les moyens financiers consacrés. Cependant la simulation a exclus les équipements car l'objectif était de faire diminuer le besoin énergétique du bâtiment (énergie utile) , cette démarche a permis de distinguer l'impact des mesures sans qu'il ne soit altéré par le fonctionnement des équipements.

D'un autre côté cela éloigne les résultats de la réalité car les équipements sont généralement non adaptés aux besoins particuliers de chaque bâtiment. Par ailleurs il est difficile de définir les apports internes réels qui influencent les résultats finals que ce soit pour le chauffage en le diminuant ou pour la climatisation en l'augmentant.

Les données concernant les caractéristiques des matériaux ne correspondent pas exactement à ceux employés localement.

Enfin l'analyse du cycle de vie n'a pas été entreprise ce qui aurait pu modifier le choix des cas optimaux

ANNEXE

- La Loi n° 99-09 relative à la maîtrise de l'énergie :

10 Rabi' Ethani 1420 Jasdjil 1999	JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 51	3
LOIS		
Loi n° 99-09 du 15 Rabi' Ethani 1420 correspondant au 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie.	Vu le décret législatif n° 93-12 du 19 Rabi' Ethani 1414 correspondant 5 octobre 1993 relatif à la promotion de l'investissement;	
Le Président de la République,	Vu le décret législatif n° 94-01 du 3 Chou'eb 1414 correspondant au 15 janvier 1994 relatif au système statistique;	
Vu la Constitution, notamment ses articles 132 et 136;	Après adoption par le Parlement;	
Vu l'ordonnance n° 66-155 du 8 juin 1966, modifiée et complétée, portant code de procédure pénale;	Promulgue la loi dont le teneur suit :	
Vu l'ordonnance n° 66-156 du 8 juin 1966, modifiée et complétée, portant code pénal;	Article 1er. — La présente loi a pour objet de définir les conditions, les moyens d'encadrement et la mise en œuvre de la politique nationale de maîtrise de l'énergie.	
Vu l'ordonnance n° 75-58 du 26 septembre 1975, modifiée et complétée, portant code civil;	TITRE I DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE	
Vu l'ordonnance n° 75-59 du 26 septembre 1975, modifiée et complétée, portant code de commerce;	Chapitre I	
Vu la loi n° 79-07 du 21 juillet 1979, modifiée et complétée, portant code des douanes;	Définitions	
Vu la loi n° 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement;	Art. 2. — La maîtrise de l'énergie couvre l'ensemble des mesures et des actions mises en œuvre en vue de l'utilisation rationnelle de l'énergie, du développement des énergies renouvelables et de la réduction de l'impact du système énergétique sur l'environnement.	
Vu la loi n° 84-17 du 7 juillet 1984, modifiée et complétée, relative aux lois de finances;	Art. 3. — L'utilisation rationnelle de l'énergie couvre l'action d'optimisation de la consommation d'énergie aux différents niveaux de la production d'énergie, de la transformation d'énergie et de la consommation finale dans les secteurs de l'industrie, des transports, du tertiaire et du domestique.	
Vu la loi n° 85-07 du 6 août 1985 relative à la production, au transport, à la distribution d'énergie électrique et à la distribution publique du gaz;	Art. 4. — Le développement des énergies renouvelables, vise l'introduction et la promotion des filières de transformation des énergies renouvelables exploitables, notamment l'énergie solaire, la géothermie, (la biomasse), l'électricité hydraulique et l'énergie éolienne.	
Vu la loi n° 86-14 du 19 août 1986, modifiée et complétée, relative aux activités de prospection, de recherche, d'exploitation et de transport par canalisation des hydrocarbures;	Art. 5. — La réduction de l'impact du système énergétique sur l'environnement consiste en la réduction des émissions de gaz à effet de serre et des gaz d'échappement en milieu urbain.	
Vu la loi n° 87-03 du 27 janvier 1987 relative à l'aménagement du territoire;	Chapitre II	
Vu la loi n° 87-09 du 10 février 1987 relative à l'organisation, la sécurité et la police de la circulation routière;	Principes et objectifs	
Vu la loi n° 88-17 du 10 mai 1988 portant orientation et organisation des transports terrestres;	Art. 6. — La maîtrise de l'énergie vise à orienter la demande d'énergie vers une plus grande efficacité du système de consommation, à travers un modèle de consommation énergétique nationale, dans le cadre de la politique énergétique nationale.	
Vu la loi n° 89-02 du 7 février 1989 relative aux règles générales de protection du consommateur;		
Vu la loi n° 89-23 du 19 décembre 1989 relative à la normalisation;		
Vu la loi n° 90-29 du 1er décembre 1990 relative à l'aménagement et l'urbanisme;		

Le modèle de consommation énergétique nationale, en tant que cadre de référence pour l'orientation et la gestion de la demande d'énergie, repose sur les options énergétiques suivantes :

- l'utilisation prioritaire et maximale du gaz naturel, notamment pour les usages thermiques finaux;
- le développement de l'utilisation des gaz de pétrole liquéfiés (GPL), en complémentarité avec le gaz naturel;
- l'orientation de l'électricité vers ses usages spécifiques;
- la promotion des énergies renouvelables;
- la réduction progressive de la part des produits pétroliers dans le bilan de la consommation nationale d'énergie;
- la conservation de l'énergie, la substitution inter-énergies et les économies d'énergie au niveau de la production de l'énergie, de sa transformation et de son utilisation.

Art. 7. — La maîtrise de l'énergie est une activité d'utilité publique qui permet d'assurer et d'encourager le progrès technologique, l'amélioration de l'efficacité économique et de contribuer au développement durable, à travers notamment :

- la préservation et l'accroissement des ressources énergétiques nationales non renouvelables;
- la promotion de la recherche/développement, de l'innovation technique et la diffusion des technologies efficaces;
- l'amélioration du cadre de vie, la protection de l'environnement et la contribution à la recherche des meilleurs équilibres en matière d'aménagement du territoire;
- la réduction des besoins d'investissements dans le secteur de l'énergie;
- la satisfaction des besoins énergétiques nationaux;
- l'amélioration de la productivité nationale et la compétitivité des entreprises au niveau national et international.

TITRE II

MODALITES DE CONCRETISATION DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE

Art. 8. — La mise en œuvre de la maîtrise de l'énergie repose notamment sur les obligations, les conditions et les moyens nécessaires suivants :

- l'introduction des normes et exigences d'efficacité énergétique;
- le contrôle d'efficacité énergétique;
- l'audit énergétique obligatoire et périodique;

- le programme national de maîtrise de l'énergie;
- la recherche/développement;
- le financement de la maîtrise de l'énergie;
- les mesures d'encouragement et d'incitation;
- la coordination des actions de maîtrise de l'énergie;
- l'amélioration de la connaissance du système énergétique;
- la sensibilisation des utilisateurs.

Chapitre I

Normes et exigences d'efficacité énergétique

Art. 9. — Des normes et exigences d'efficacité énergétique et d'économie d'énergie, établies dans le cadre de réglementations spécifiques, régissent les constructions et bâtiments neufs ainsi que les appareils fonctionnant à l'électricité, aux gaz et aux produits pétroliers.

Section I

L'isolation thermique dans les bâtiments neufs

Art. 10. — Les normes d'isolation thermique dans les bâtiments neufs sont fixées par voie réglementaire.

Les normes d'isolation thermique sont des normes de construction et de rendement énergétique qui favorisent les économies d'énergie.

Art. 11. — La réglementation thermique dans les bâtiments neufs, s'appliquant à la conception et à la construction des bâtiments, détermine :

- les catégories de bâtiments et les normes de rendement énergétique y afférentes, selon les données climatiques des lieux où sont situés les bâtiments;
- les normes techniques relatives à la construction se rapportant à la résistance thermique, à l'étanchéité des ouvertures de l'enveloppe extérieure d'un bâtiment, à la qualité des matériaux d'isolation et leur mode d'installation, à la fenestration, aux dispositifs des systèmes de chauffage ou de climatisation;
- les modalités relatives à la certification et au contrôle de conformité avec les normes d'efficacité énergétique et d'économie d'énergie.

Art. 12. — A titre transitoire, le caractère obligatoire de l'isolation thermique ne s'applique pas aux bâtiments individuels.

Les modalités d'application du présent article sont fixées par voie réglementaire.

Section 2

*Les appareils fonctionnant à l'électricité,
au gaz et aux produits pétroliers*

Art. 13. — Les normes d'efficacité énergétique et d'économie d'énergie, s'appliquant aux appareils fonctionnant à l'électricité, au gaz et aux produits pétroliers, concernent tout appareil neuf vendu ou utilisé sur le territoire national.

Art. 14. — Les rendements énergétiques des appareils doivent être étiquetés sur les appareils et sur leur emballage.

Art. 15. — La réglementation sur l'efficacité énergétique doit déterminer notamment :

- les catégories d'appareils et les normes relatives à leur rendement énergétique;
- la procédure de certification ou d'homologation des appareils;
- le système d'étiquetage des appareils, notamment la forme, le matériau, la dimension, la couleur, la façon d'apposer et la localisation des étiquettes ou des marques distinctives qu'ils doivent comporter.

Chapitre II

Contrôle d'efficacité énergétique

Art. 16. — Il est institué un contrôle d'efficacité énergétique qui permet de constater et de certifier la conformité aux normes relatives au rendement énergétique des équipements, matériels et appareils.

Art. 17. — Le contrôle d'efficacité énergétique est assuré par des organismes et/ou des laboratoires compétents, chargés de la certification et de l'homologation et agréés par les ministères concernés.

Art. 18. — Le contrôle d'efficacité énergétique s'applique, notamment, aux :

- bâtiments neufs, en vue de la certification de conformité avec les normes de rendement énergétique des bâtiments;
- appareils fonctionnant à l'électricité, au gaz et aux produits pétroliers raffinés, en vue de la certification de conformité avec les normes de rendement énergétique des appareils ainsi que le contrôle de la conformité de l'étiquetage des appareils;
- véhicules et engins à moteurs par inspection périodique, sur la base de normes établies à l'échelle nationale, en vue de s'assurer de leur fonctionnement dans des conditions conformes aux normes de rendement énergétique et normes de l'environnement.

Art. 19. — Les modalités d'organisation et d'exercice du contrôle d'efficacité énergétique sont fixées par voie réglementaire.

Chapitre III

L'audit énergétique

Art. 20. — Il est institué un système d'audit énergétique obligatoire et périodique pour établir le suivi et le contrôle de la consommation d'énergie des établissements grands consommateurs d'énergie dans les secteurs de l'industrie, du transport et du tertiaire, en vue d'assurer l'optimisation énergétique de leur fonctionnement.

Art. 21. — L'audit énergétique comprend un ensemble d'investigations techniques et économiques, des contrôles de performances énergétiques des équipements et des procédés techniques, l'identification des causes de la surconsommation de l'énergie et la proposition d'un plan d'actions correctives.

Art. 22. — Les audits énergétiques sont effectués par les bureaux d'études et les experts agréés par le ministre chargé de l'énergie et sous son contrôle.

Art. 23. — Les seuils de consommation énergétique déterminant les critères d'assujettissement des établissements à l'audit, la périodicité de l'audit, les modalités d'exercice de l'audit énergétique et d'agrément des auditeurs sont fixés par voie réglementaire.

Chapitre IV

La sensibilisation des utilisateurs

Art. 24. — Des actions de formation, de perfectionnement technique et de démonstration, en direction des administrations, des collectivités territoriales et des établissements publics et privés, doivent être mises en œuvre pour promouvoir l'efficacité énergétique et les économies d'énergie.

Ces actions et ces opérations sont définies dans le cadre du programme d'efficacité énergétique prévu dans le cadre de la présente loi.

Art. 25. — Des actions de sensibilisation, d'éducation et d'information en direction, notamment du grand public et du milieu scolaire, seront mises en œuvre en vue de vulgariser et de promouvoir la culture des économies d'énergie. Ces actions doivent être inscrites dans les programmes de l'éducation nationale, de communication et de publicité éducative, établis par l'Etat.

Chapitre V

Le programme national de maîtrise de l'énergie

Art. 26. — Le programme national pour la maîtrise de l'énergie regroupe l'ensemble des projets, des mesures et des actions dans les domaines suivants :

- l'économie d'énergie,
- l'économie inter-énergétique,
- la promotion des énergies renouvelables,
- l'élaboration des normes d'efficacité énergétique,
- la réduction de l'impact énergétique sur l'environnement,
- la sensibilisation, l'éducation, l'information et la formation en matière d'efficacité énergétique,
- la recherche/développement en efficacité énergétique.

Le programme national pour la maîtrise de l'énergie revêt un caractère pluriannuel.

Art. 27. — La tranche annuelle du programme national pour la maîtrise de l'énergie peut faire l'objet d'une révision et d'une consolidation par l'inscription de mesures, d'actions ou de projets d'efficacité énergétique jugés prioritaires.

Art. 28. — Les modalités d'élaboration du programme national pour la maîtrise de l'énergie sont fixées par voie réglementaire.

Chapitre VI

Le financement de la maîtrise de l'énergie

Art. 29. — Un fonds national pour la maîtrise de l'énergie est institué pour le financement du programme national pour la maîtrise de l'énergie.

Art. 30. — Le fonds national pour la maîtrise de l'énergie est alimenté par :

- les taxes graduées sur la consommation nationale d'énergie,
- les niveaux des taxes nécessaires à l'approvisionnement du fonds, fixés par la loi de finances, sont déterminés sur la base des besoins de financement de la tranche annuelle du programme national pour la maîtrise de l'énergie,
- les subventions de l'Etat,
- le produit des amendes prévues dans le cadre de la présente loi,
- des taxes sur les appareils énergivores.

Art. 31. — On entend par appareils énergivores, tout appareil fonctionnant à l'électricité, au gaz et aux produits pétroliers dont la consommation dépasse les normes spécifiques de consommation d'énergie fixées par la réglementation.

Art. 32. — Les modalités d'utilisation des produits du fonds seront fixées par voie réglementaire.

Chapitre VII

Les mesures d'incitation et d'encouragement

Art. 33. — Des avantages financiers, fiscaux et en matière de droits de douane peuvent être accordés pour les actions et les projets qui concourent à l'amélioration de l'efficacité énergétique et à la promotion des énergies renouvelables.

En outre, ces actions et projets bénéficient des avantages prévus dans le cadre de la législation et la réglementation en matière de promotion des investissements et au bénéfice des activités déclarées prioritaires.

Art. 34. — Les conditions et les modalités d'accès à ces avantages sont fixées par voie réglementaire.

Chapitre VIII

La connaissance du système énergétique national

Art. 35. — L'organisation, le développement, la gestion et la conservation des données statistiques sur l'énergie sont assurés par un organisme national compétent.

Les données statistiques sur l'énergie sont centralisées au sein de cet organisme afin d'assurer le traitement et la diffusion d'informations statistiques fiables pour parfaire la connaissance du système énergétique national et permettre :

- la maîtrise de la consommation énergétique nationale, notamment à l'aide des enquêtes de consommation de l'énergie;
- l'élaboration du bilan énergétique national;
- l'élaboration d'études prévisionnelles sur la demande d'énergie et l'évaluation des potentiels d'efficacité énergétique;
- la mise en œuvre, dans les meilleures conditions, des actions d'efficacité énergétique définies dans le cadre du programme national pour la maîtrise de l'énergie;
- l'évaluation périodique du développement de l'efficacité énergétique;
- l'évaluation périodique des performances de l'efficacité économique du système énergétique.

Art. 36. — Les modalités d'organisation, de la collecte, du traitement de la diffusion et de la conservation des données énergétiques sont fixées par voie réglementaire.

Chapitre IX

La coordination des actions de maîtrise de l'énergie

Art. 37. — La mise en œuvre des mesures et des actions de maîtrise de l'énergie est confiée à un organisme national compétent au niveau central.

Art. 38. — L'opération de coordination technique peut être confiée à un ou plusieurs autres organismes.

Art. 39. — Compte tenu du caractère d'utilité publique de la maîtrise de l'énergie, le ou les organismes chargés de la maîtrise de l'énergie bénéficient :

— de subventions annuelles correspondant à des sujétions de service public définies dans le cadre du cahier des charges;

— des subventions en matière de fiscalité et de droits de douane pour l'acquisition d'équipements, d'instruments et autres moyens de travail nécessaires à la prise en charge de ces missions de service public.

TITRE III

CONTROLE ET SANCTIONS

Art. 40. — La non-conformité aux normes établies par la réglementation d'isolation thermique dans les bâtiments neufs expose les bénéficiaires des travaux aux mesures et sanctions prévues par la législation et la réglementation en vigueur en matière de construction et d'urbanisme.

Art. 41. — Les appareils neufs, vendus ou utilisés sur le territoire national, fonctionnant à l'électricité, au gaz et aux produits pétroliers, dont la consommation est excessive par rapport aux normes d'efficacité énergétique établies, sont soumis à une taxe fixée par la législation.

Art. 42. — Les appareils usagés et les véhicules à moteur usagés non conformes aux normes d'efficacité énergétiques sont interdits à l'importation.

Sont exclus, conformément aux lois en vigueur, les appareils et les véhicules à usage personnel importés par les particuliers.

Art. 43. — Toute infraction aux dispositions relatives à l'étiquetage des rendements énergétiques expose les contrevenants aux sanctions prévues par la législation et la réglementation en vigueur relatives à l'étiquetage.

Art. 44. — Le contrôle d'efficacité énergétique des véhicules à moteurs est régi par les dispositions législatives et réglementaires en vigueur en matière de contrôle technique et périodique des véhicules à moteurs et en matière de contrôle des émissions atmosphériques.

Art. 45. — Les établissements soumis à l'obligation de l'audit énergétique et qui ne s'y conforment pas dans un délai de six (6) mois, à compter de la date qui leur sera notifiée, sont passibles d'une amende équivalente au double du coût de l'audit.

Ces établissements restent soumis à l'obligation de l'audit et un bureau d'audit sera désigné obligatoirement pour réaliser l'audit auprès de l'établissement concerné.

Art. 46. — Les exploitants d'établissements, d'infrastructures ou d'équipements soumis au contrôle sont tenus de faciliter l'accès de leurs locaux et équipements aux agents mandatés à cet effet.

En cas de refus, et après une mise en demeure, les exploitants s'exposent à une amende égale au montant de la facture énergétique annuelle déterminée sur la base du dernier exercice.

Art. 47. — Le non respect des dispositions prévues à l'article 33 de la présente loi relatif aux mesures d'incitation et d'encouragement entraîne la déchéance partielle ou totale des avantages octroyés.

Art. 48. — Les infractions aux dispositions de la présente loi sont constatées par des procès-verbaux, établis par des agents dûment mandatés, conformément aux procédures spécifiques qui sont fixées par voie réglementaire.

Art. 49. — Les procès-verbaux constatant les infractions sont adressés au procureur de la République, avec copie au ministère chargé de l'énergie.

Art. 50. — Toute infraction aux dispositions de la présente loi et des textes pris pour son application est réprimée conformément aux dispositions du code pénal.

Art. 51. — La présente loi sera publiée au Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 15 Rabia Ehtani 1420 correspondant au 28 juillet 1999.

Abdelaziz BOUTEFLIKA.

Bibliographie

<file:///C:/Users/HP/Desktop/memoir/2018theseBendoumaM.pdf>

<file:///C:/Users/HP/Desktop/memoir/BOU6450.pdf>

<file:///C:/Users/HP/Desktop/memoir/chaalal%20final.pdf>

[file:///C:/Users/HP/Desktop/memoir/Etude%20empirique%20de%20la%20relation%20entre%20la%20consommation%20d'%C3%A9nergie%20et%20la%20croissance%20%C3%A9conomique%20%20en%20Alg%C3%A9rie%20\(1970-2018\).pdf](file:///C:/Users/HP/Desktop/memoir/Etude%20empirique%20de%20la%20relation%20entre%20la%20consommation%20d'%C3%A9nergie%20et%20la%20croissance%20%C3%A9conomique%20%20en%20Alg%C3%A9rie%20(1970-2018).pdf)

<file:///C:/Users/HP/Desktop/memoir/Etude-Theorique-et-Experimentale-de-lIsolation-ThermiqueInterieure-dune-Piece-dun-Habitat-dans-la-region-de-Ghardaia.pdf>

<file:///C:/Users/HP/Desktop/memoir/Feuilletage.pdf>

<file:///C:/Users/HP/Desktop/memoir/ID117.pdf>

<file:///C:/Users/HP/Desktop/memoir/isolation.pdf>

file:///C:/Users/HP/Desktop/memoir/loi_99-09_5b68630e15102.pdf

<file:///C:/Users/HP/Desktop/memoir/Mansouri%20m%C3%A9moire.pdf>

file:///C:/Users/HP/Desktop/memoir/S.M.A._bekkouche1_cder.pdf

file:///C:/Users/HP/Desktop/memoir/Simulation_de_l_effet_de_l_isolation_thermique_des_batiments.pdf

<http://bib.univ-oeb.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/7744/1/L%E2%80%99efficacit%C3%A9%20%C3%A9nerg%C3%A9tique%20dans%20le%20b%C3%A2timent%20architectural.pdf>

https://energypedia.info/images/e/e4/%C3%89nerg%C3%A9tique_du_B%C3%A2timent.pdf

<https://occitanie.ademe.fr/sites/default/files/solutions-garantir-efficacite-energetique-batiment.pdf>

<https://www.clicours.com/memoire-online-efficacite-energetique-de-lenveloppe-du-batiment/>

<https://www.laprimeenergie.fr/les-travaux/lisolation-thermique/tout-savoir-sur-la-deperdition-thermique>

<https://www.pacte-energie-solidarite.fr/eco-travaux/l-isolation-thermique/deperditions-thermiques?fbclid=IwAR1dnJJhnqirz4PIe6lSOWGJ1PMthOnW9Wj9KAAKpFbQspZd9Pr7Uz6hLKE#:~:text=La%20d%C3%A9perdition%20thermique%20d%C3%A9signe%20la,l'efficacit%C3%A9%20thermique%20du%20logement>