



Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou
Faculté de génie de la construction
Département d'architecture

MEMOIRE RECHERCHE POUR L'OBTENTION DU GRADE DE
MASTER II EN ARCHITECTURE

Option: Architecture et Environnement.

THEME :

Contribution à la réhabilitation thermique d'un immeuble collectif

Essai d'évaluation de la conformité à la réglementation thermique en Algérie

Présenté par :

Mlle. ISSAADI Nouara

Encadré par :

Mme GUERRAH
ABBASSENE Naima

Septembre 2016

Remerciements

A mon encadreur ; Mme GUERRAH ABBASSENE Naima pour ses précieuses remarques et directives.

A tous les membres de jury qui ont accepté d'évaluer ce travail, Mr BELKHAMSA Belkacem Mme BOUTIBA Aldjia et Mr AIT KACI Zohir.

Mes remerciements les plus sincères sont surtout adressés à mes parents, mes frères et sœurs, à mes amis qui, sans leur aide et soutien, l'accomplissement de ce travail aurait été incertain.

Ce travail est dédié

A mes parents

A ma famille

A mes amis et à tous ceux qui ont cru en moi et m'ont soutenue

Mon infinie gratitude et ma reconnaissance

Résumé :

L'efficacité énergétique est devenue l'un des grands enjeux de notre époque et les bâtiments en sont une des composantes majeures ; ils consomment plus d'énergie que tout autre secteur et contribuent donc dans une large mesure au changement climatique.

En Algérie, Le secteur du bâtiment est l'un des secteurs dont la consommation énergétique a un impact significatif sur la consommation nationale globale.

En effet, ces dernières années, plusieurs programmes de construction de logements à grande échelle ont été lancés avec pour principales exigences, les délais de réalisation et les coûts minimes, négligeant un temps soit peu la maîtrise de la consommation énergétique.

Malgré l'institution de la réglementation thermique depuis l'année 2000, l'absence de textes réglementaires régissant le contrôle de l'efficacité énergétique, entrave son application.

En effet, les professionnels de la production architecturale ont du mal à l'appliquer –voire même ignorent son existence. Ils continuent ainsi, de produire des immeubles énergivores.

Le parc de logement existant dépasse les six millions d'unités, et recèle un gisement important d'économie d'énergie, il doit de ce fait constituer une cible prioritaire, en adoptant tous les outils liés à la maîtrise de l'énergie : réglementation thermique, audit énergétique, certification et labels de bonne performance....

Dans ce contexte, ce travail vise d'une part à concilier l'amélioration du confort thermique et le souci d'économie d'énergie afin de sensibiliser les hommes de l'art sur la manière d'améliorer thermiquement le bâti existant. D'autre part, il tente de chercher les moyens de réduire le recours systématique aux appoints mécaniques, de climatisation et de chauffage, une source de beaucoup de gaspillage énergétique. Enfin, il remet en question l'enveloppe architecturale intimement liée aux agents climatiques, de même que son incidence sur le confort thermique ressenti.

Un calcul du bilan des déperditions calorifiques et des simulations à l'aide d'un code de calcul ont été effectués sur un projet d'immeuble collectif existant à Azazga (wilaya de Tizi-Ouzou). Le logiciel CTBAT, comme outil méthodologique d'expérimentation, permet à la fois, de vérifier la conformité du projet choisi aux normes algériennes (décrites dans les DTR C3-2 et C3-4), de définir son identité thermique et de mesurer l'impact de la réhabilitation sur la température intérieure et les besoins énergétiques.

Mots clés : confort thermique, efficacité énergétique, DTR, réhabilitation, simulation thermique, Immeuble collectif.

Introduction générale

Introduction	1
Problématique :	2
Hypothèses :	3
Objectifs de la recherche :	4
Méthodologie et outil de recherche :	4
Etat de l'art :	7

Chapitre I : Le bâtiment face aux enjeux énergétiques planétaires

(Entre Consommation et efficacité énergétique)

Introduction	11
I.1 Les enjeux énergétiques à l'échelle planétaire :	11
I.2 Objectifs des politiques énergétiques :	13
I.3.La consommation énergétique et émissions en dioxyde de Carbone (CO2) :	13
I.4. L'efficacité énergétique :	20
I.5. Stratégie de maîtrise de l'énergie :	24
I.6. Classification des bâtiments efficace énergétiquement :	29
I.7. Le certificat de performance énergétique (certificat PEB):	30
I.8-Les labels de performance énergétique:	31
Conclusion :	33

Chapitre II :La réhabilitation thermique ou l'introduction du concept de l'efficacité énergétique dans l'habitat existant.

Introduction	35
II.1 La notion du confort thermique :	35
II.2. La réhabilitation thermique:	38
II.3 L'isolation thermique dans le bâtiment :	42
II.4.Aspect réglementaire du confort thermique en Algérie	46
II.5. Exemple d'étude de réhabilitation thermique :	47
Conclusion :	64

Chapitre III : Simulation de l'effet de la réhabilitation thermique de l'enveloppe avec l'outil CT BAT (Cas d'un immeuble collectif à AZAZGA)

Introduction	66
III-1- Simulations thermiques dans le bâtiment :	66
III.2.Choix du cas d'étude :	75
III.3.Simulation thermique d'un immeuble d'habitation existant à AZAZGA :	75
III.4. Présentation du cas d'étude :	76
III.5. Analyse énergétique du projet et vérification du respect des normes du DTR avec CTBAT: .	83

Sommaire

III.5.1. 1ere étape: composition des éléments constitutifs de l'enveloppe existante :.....	87
III.5.2. 2eme étape : Amélioration de l'enveloppe bâtie par une isolation extérieure :.....	94
II.5.3. Interprétation des résultats :	105
Conclusion ;.....	106
Conclusion générale :	107
Bibliographie et webographie :	107
Table des matière:	107
Annexe:	107

Nomenclature :

Symbole	Définition	Unité
λ	Conductivité	$W/m^2\text{°C}$
C	Capacité thermique	$J/kg\text{°C}$
ρ	Masse volumique	kg/m^3
a	diffusivité thermique	m^2/s
e	effusivité thermique d'un matériau	Ws / m^2
R	résistance thermique totale	°C
K	conductance totale ou coefficient de transmission thermique	$m^2 \text{°C}/ W$
U	coefficient de transfert thermique global	$W/m^2 \text{°C}$
t_e	température air extérieur	$W/m^2 \text{°C}$
t_i	température air intérieur	°C
T_b	température de base	°C
T_o	température extérieure quotidienne moyenne	°C
Δt	Différence de température entre l'intérieur et l'extérieur	°C
Q	flux de chaleur total	°C
Q_{le}	Pertes par conduction de l'enveloppe.	W / m^2
Q_{lv}	Pertes par renouvellement d'air.	W / m^2
APO	Les apports par les parois opaques	W
AV	Les apports à travers les parois vitrées	W
A_{Is} et A_{I1}	Les parties sensibles et latentes des apports internes	W
	A_{INFs} et A_{INF1}	
As	Représente les gains sensibles	W
Al	Représente les gains latents	W
ARENs et ARENI	Représentent les parties sensibles et latentes des apports dus à la ventilation des locaux .	W
BF	Facteur de by-pass exprime	
Aréf	Désigne les apports calorifiques de référence.	W
A réf, PH	Désigne les apports calorifiques de référence à travers les parois opaques horizontales	W
A réf, PV	Désigne les apports calorifiques de référence à travers les parois opaques verticales	W
A réf, PVI	Désigne les apports calorifiques de référence à travers les parois vitrées.	W

Abréviations :

Symbole	Définition
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AIE (IEA)	Agence internationale de l'énergie (International Energy Agency)
ANAH	Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat
APRUE	Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie.
ASHRAE Engineers	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning
BBC	Bâtiment Basse consommation
CDER	Centre de développement des énergies renouvelables
DPE	Diagnostic de performances énergétiques
DTR	Documents techniques réglementaires
ECS	Eau chaude sanitaire
FNME	Fonds National pour la Maîtrise de l'Energie
GES	Gaz à effet de serre
HPE	Haute performance énergétique
HQE	Haute qualité environnementale
PNME	Programme national de maîtrise de l'énergie
PREBAT	Programme de recherche et d'expérimentation sur l'énergie dans le bâtiment
PVC	Poly chlorure de Vinyle
RT	Réglementation thermique.
Tep	Tonne équivalent pétrole
Mtep	Million de tonne équivalent pétrole
VMC	Ventilation motrice contrôlée
PEB	Performance Energétique des Bâtiments.
SHON	Surface hors œuvre nette
BBC	Bâtiment basse consommation
D.T.R	Document technique réglementaire

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

- Fig. I.1** : Schéma de structure de la méthodologie
Fig. I.2 : Consommation énergétique mondiale, en térawatts-heures (TWh), de 1965 à 2013.
Fig. I.3 : Synthèse des flux énergétiques (Mtep) - Année 2014
Fig. I.4 : structure de la consommation finale par produit énergétique national 2014 , édition 2015
Fig. I.5 : structure de la consommation finale par secteur
Fig. I.6 : Emissions en dioxyde de Carbone par type d'énergie
Fig. I.7 : les leviers de l'efficacité énergétique,
Fig. I.8 : Etiquette de performance énergétique en France
Fig. I.9 : Etiquettes de performance énergétique en France

Chapitre II

- Fig II.1** : Evolution des températures dans des bâtiment au cours de l'année
Fig II.2 : Echanges thermique entre l'homme et l'ambiance
Figure II.3 : Défauts d'étanchéité et courants d'air dans les bâtiments
Fig. II.4 : Vue d'une construction coupe verticale ; localisation des ponts
Fig II.5 : **Exigences réglementaires pour la rénovation énergétique des bâtiments.**
Fig. II.6 : Vue aérienne du quartier montrant les bâtiments collectifs de la Copropriété
Fig. II.7 : Grilles hautes et basses sur WC .
Fig. II.8 : Grilles hautes et basses des cuisines .
Fig. II.9 : Etiquette Energétique type DPE sur 3 ans, 2010 à 2012 de la tour Angèle K
Fig : II.10 : Répartitions des déperditions thermiques de l'enveloppe de la tour K.
Fig II.11 : Graphe d'évolution des besoins en énergie de chauffage par poste de déperdition selon les 3 Scénarios décrits précédemment.
Fig II.12 : Evolution de l'étiquette type DPE en fonction du scénario.
Fig. II.13 : Ventilation mécanique contrôlée simple flux hygroréglables.
Fig. II.14 : la ventilation mécanique simple flux hygroréglables.

Chapitre III

- Fig. III.1** : Figure Interface TRNSYS pour la description d'un bâtiment
Fig. III.2 : Figure Interface CODYBA pour la description d'un bâtiment
Fig. III.3 : Figure Interface ENERGY PLUS pour la description d'un bâtiment
Fig. III.4 : Figure Interface VISUAL DOE pour la description d'un bâtiment
Fig. III.5 : Ecran d'accueil du logiciel CT BAT
Fig III.6 : L'écran nouveau projet
Fig III.7 : Ecran affiché une fois les données techniques sont insérées
Fig III.8 : Vue aérienne (situation du pos par rapport à la ville d'Azazga)
Fig. III.8 : Plan de masse (situation du projet)
Fig. III.9 : Façade principale du bloc existant
Fig. III.10 : Plan de l'étage courant
Fig . III.11 ; Principe du coffrage tunnel
Fig . III.12 : Fiche technique du projet (voir détail en annexe)
Fig. III.13 : Conductivité thermique de quelques isolants et leur épaisseur pour atteindre une résistance thermique de 3 m².K/W

LISTE DES TABLEAUX :

Chapitre I

Tableau I.1 : Consommation finale d'énergie par secteur par mégatonne d'équivalent pétrole M tep

Tableau I.2 : consommation finale par produit

Tableau I.3 : consommation finale par secteur d'activité

Tableau I.4 : Label et réglementation en France

Chapitre II

Tableau II.1 : Avantages et inconvénients de chaque type d'isolation.

Tableau. II.2 : Etat et composition de la tour Angel K située à Argenteuil.

Tableau. II.3: scénario ThCEEx du logiciel PERRENOUD U48 (version 1.01.0401)

Tableau. II.4 : Prises de vue thermographique réalisées le 11/12/2012 sur la tour K.

Chapitre III

Tableau .III.1 : éléments constitutifs du bâtiment réalisé avec le système tunnel

Tableau.III.2 : Types d'isolants et leurs caractéristiques

Tableau III.3 : Eléments de l'enveloppe

Tableau .III.4 : Résultats des scénarios de simulation

Tableau III.5 : Evaluation des gains du scénario B.

LISTE DES LOIS ET REGLEMENTS UTILISES :

Règlements utilisés :

DTR C3.2 : Règles de calcul des déperditions calorifiques des bâtiments

DTR C3.4 : Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments

Lois utilisés :

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

-La loi n° 04-09 du 14 août 2004 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable ;

Introduction

Les ressources naturelles s'épuisent, le prix des énergies fossiles s'envole et l'activité humaine provoque un changement significatif du climat qui a d'ores et déjà à des répercussions importantes : inondations, ouragans, sécheresse, canicules... et ces phénomènes vont s'aggraver inexorablement.

Pour éviter le pire, la communauté internationale s'est fixée comme but de diviser par deux les émissions de gaz à effet de serre avant 2050 à l'échelle de la planète.

Relever ce défi nécessite une prise de conscience immédiate et une modification sensible de nos comportements.

A l'horizon 2040, la région méditerranéenne devra faire face à un triple défi : démographique avec à minima un doublement de la population urbaine, énergétique en raison d'une augmentation de la demande d'énergie de près de 60%, et climatique du fait d'un accroissement des émissions de gaz à effet de serre de l'ordre de 50%.¹

Dans ce contexte, le processus de la transition énergétique devient une priorité pour l'ensemble des pays de la Méditerranée. Aujourd'hui, la dynamique de la transition énergétique est engagée et la coopération régionale euro-méditerranéenne est en mesure de la renforcer, notamment en accélérant la mise en œuvre des politiques d'amélioration de l'Efficacité Énergétique et de la promotion des Energies Renouvelables.

La consommation nationale d'énergie a connu une croissance accrue, principalement due à l'amélioration du niveau de vie des citoyens, qui s'est traduite par l'augmentation du taux d'équipement, de même la réalisation de plusieurs projets d'infrastructures d'utilité publique a contribué à cette croissance. L'efficacité énergétique s'impose alors comme une réponse appropriée à cette problématique. A cet effet, l'évaluation du potentiel d'économie d'énergie s'avère nécessaire pour cerner la marge de manœuvre possible en vue de dégager les actions et les mesures à mettre en œuvre sur le terrain afin d'agir sur la consommation d'énergie.

Dans cet objectif, le programme de développement d'efficacité énergétique publié par l'Agence pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE) à l'horizon 2030, s'intéresse à l'ensemble des secteurs de consommation qui ont un impact significatif sur la demande d'énergie : il s'agit du bâtiment, du transport et de l'industrie. Il vise globalement la réduction de la consommation de 9% à travers la substitution inter énergétique et l'introduction des équipements et des technologies performantes.²

En effet, le secteur du bâtiment est particulièrement concerné par ces engagements car il constitue un formidable gisement d'économie d'énergie et de réduction de gaz à effet de serre.

¹ APRUE. Revue de presse – mars 2016 –

² APRUE- Programme de développement de l'efficacité énergétique à l'horizon 2030 .Edition 2015

A l'échelle mondiale, ce secteur représente 30 à 40% de la consommation d'énergie et est responsable de 30% de l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre.³

En Algérie, la consommation d'énergie du secteur du bâtiment représente plus de 34% de la consommation globale nationale qui avait atteint 30 millions de tonnes équivalent pétrole (TEP) en 2012, selon une étude réalisée par l'APRUE⁴.

La consommation du chauffage vient en tête de liste avec 46% de la consommation totale dans le secteur du bâtiment, suivie par la cuisson des aliments (22%), la production de l'eau chaude (13%) et les utilisations électriques (19%).

Cette étude montre aussi que le secteur de l'habitat consomme 40% de la consommation nationale totale d'électricité.

L'adoption d'une stratégie de maîtrise de l'énergie dans le secteur résidentiel représente un enjeu capital pour les problèmes économiques, environnementaux et sociaux eu égard de l'importance de la consommation d'énergie dans ce secteur. Selon que les logements soient existants ou en projet, les outils d'application de la maîtrise de l'énergie varient. Leur application aboutit à la certification énergétique des logements selon différents labels.

Dans ce contexte, le présent travail tente de définir la consommation énergétique d'un bâtiment existant construit avec des matériaux courants (béton – brique) à travers un audit énergétique effectué avec un logiciel CT BAT développé par l'agence pour la promotion et la rationalisation de l'énergie (APRUE), en collaboration avec les experts internationaux de la coopération allemande au développement (GIZ). Ce logiciel nous permet aussi de vérifier la conformité des bâtiments à la réglementation thermique en vigueur. Nous tenterons par la suite de définir la consommation du même bâtiment après amélioration de l'isolation de l'enveloppe et une comparaison entre les résultats obtenus avant et après réhabilitation s'ensuivra afin de calculer les gains énergétiques obtenus.

Problématique :

Face à l'exécution hâtive des programmes d'habitat en Algérie, aux efforts entrepris pour la production massive de logements et au non contrôle de l'application de normes qualitatives liées à un bon cadre de vie, que ce soit pour les logements collectifs ou pour l'auto-construction. La situation qui résulte, soulève certaines contraintes, parmi elles la surconsommation des énergies non renouvelables et l'inconfort induit par l'utilisation des sources artificielles, non pensée lors de la programmation, la conception et l'exécution de ces programmes.

³- APRUE ;Rapport des consommations annuelles de 2007-

⁴- APRUE :Un guide pour rationaliser la consommation énergétique dans le secteur du bâtiment - novembre 2015

En Algérie le parc de logement existant dépasse les six (06) millions d'unités selon l'APRUE ; L'absence de texte réglementaire régissant le contrôle de l'efficacité énergétique entrave l'application de la réglementation thermique, malgré son institution depuis l'année 2000. Il ressort de ce fait que le parc de logement existant recèle un gisement important d'économie d'énergie.

La plupart des bâtiments existants sont inadaptés et gros consommateurs d'énergie de part la négligence des aspects climatiques lors de leur construction, dont l'importance ne paraît ni aux yeux du propriétaire ni même du concepteur que lors de dépenses supplémentaires de chauffage et de climatisation.

Selon une étude réalisée par le United Nations for Environnement and Développement (UNED⁵), le bâtiment existant est le plus pénalisant pour l'environnement, car c'est au cours de sa vie qu'il consomme le plus d'énergie soit entre 70% et 80% de sa consommation globale durant tout son cycle de vie .

Il est urgent d'adopter des actions d'économie d'énergie dans ce secteur en promouvant une démarche de réhabilitation énergétique conforme aux normes.

Dans ce cadre, les questions auxquelles il nous faudra répondre sont les suivantes :

- ✓ **Quelle est l'influence de l'enveloppe du bâtiment sur sa demande énergétique?**
- ✓ **Comment peut-on maximiser (optimiser) l'efficacité énergétique des bâtiments collectifs existants et les rendre conforme a la réglementation ?**
- ✓ **Existe-t-il des outils d'aide à la réhabilitation des bâtiments en Algérie ?**

Hypothèses :

Pour réduire progressivement et significativement la consommation d'énergie des bâtiments existants, la réhabilitation thermique s'avère une solution qui permet une plus grande performance énergétique et ce en intervenant sur la performance thermique de l'enveloppe du bâtiment.

La réhabilitation de cette dernière à travers une isolation extérieure permet d'assurer un confort intérieur optimal ainsi que la réduction de la consommation d'énergie, ce qui contribue à la réduction de l'impact écologique de l'habitat sur son environnement.

On se basera dans un premier temps, sur la situation actuelle de la consommation énergétique des bâtiments existants en Algérie, ensuite on tentera de donner les meilleures

⁵ United Nations for Environnement and Développement UNED : division des nations unies chargée des problèmes liés à l'environnement et le développement.

combinaisons et améliorations possibles pour atteindre deux cibles : économies d'énergie et confort thermique à l'aide d'une simulation avec le logiciel CT BAT.

Objectifs de la recherche :

Toute démarche visant à améliorer la performance énergétique dans le bâtiment résidentiel existant a comme objectif :

- La diminution des émissions des gaz à effet de serre ;
- L'économie des énergies dites non renouvelables ;
- Assurer le confort thermique des usagers

Dans ce sens, ce travail remet en question l'enveloppe architecturale et sa dépendance des agents climatiques, de même son incidence sur le confort thermique, et tant à :

- 1- **Démontrer** l'influence de l'enveloppe du bâtiment sur sa demande énergétique en étudiant sa performance thermique avant et après amélioration ;
- 2- **Définir et mettre en œuvre** une stratégie de réhabilitation énergétique dans le bâtiment, et démontrer son importance.
- 3- **Identifier** les principales solutions techniques pour une meilleure gestion des consommations énergétiques en respectant le confort et la santé des usagers, notamment par le renouvellement d'air et la recherche du confort thermique d'hiver et d'été.
- 4- **Sensibiliser** les acteurs du secteur du bâtiment sur la nécessité d'améliorer la qualité de l'enveloppe architecturale du bâti ;

Méthodologie et outil de recherche :

Notre recherche s'inscrit dans le cadre du développement durable et repose sur la conciliation de deux éléments distincts, celui de l'amélioration du confort thermique d'une part et le souci d'économie d'énergie d'autre part. Elle est incitée par la réalité du terrain dans notre pays, où nous avons constaté un retard considérable en matière d'efficacité énergétique des bâtiments et en particulier le résidentiel. L'objectif étant de contribuer à l'établissement d'une démarche de réhabilitation adaptée à notre contexte et qui se conformera à la réglementation thermique en vigueur (DTR C3-2 ET C3-4) à travers un logiciel de calcul thermique spécifique à l'Algérie, nommé **CT BAT**.

Le travail est structuré en trois chapitres.

Le premier chapitre traite de la question du bâtiment et de son efficacité face aux enjeux énergétiques planétaires et vise à justifier à travers l'importance des consommations énergétiques de ces bâtiments, la pertinence du sujet ainsi que, son importance dans l'économie, les causes de l'augmentation de la consommation énergétique et son impact sur l'environnement. Ce chapitre tente aussi de donner un aperçu de l'efficacité énergétique avec ses définitions, ses modalités de déroulement, ses outils et objectifs, tant dans la littérature internationale que dans la réglementation algérienne. Il s'agit de :

- Décrire l'état de prise en compte de l'efficacité énergétique du bâtiment en Algérie ; réglementation en vigueur et mise en application, état des lieux ;
- Comparaisons avec les références étrangères ;

Quand au deuxième chapitre, il aborde la réhabilitation thermique dans le bâtiment à travers la présentation des notions portant sur le confort thermique et les réglementations le régissant en Algérie et ailleurs (en France) .Un exemple d'une étude de réhabilitation thermique d'un bâtiment situé en France est présenté à la fin pour servir de référence.

Le troisième et dernier chapitre, il concerne la procédure d'audit énergétique, basée sur une simulation avec un outil d'analyse thermique qui est le logiciel **CT BAT**, d'un bâtiment collectif existant, construit avec des matériaux standards (béton –brique), et sans prise en compte de la réglementation thermique lors de sa conception.

Sur la base des résultats obtenus, en tentera de porter des améliorations sur l'enveloppe en testant l'effet des éléments la constituant, à travers la validation de différentes solutions thermiques (isolation de l'enveloppe extérieure, changement du simple vitrage, isolation de la toiture) pour prédire le comportement thermique de l'enveloppe et son impact sur la réduction des consommations de l'énergie.

Le travail de cette recherche devra aboutir à des recommandations sur les principales solutions techniques de réhabilitation énergétique pour une meilleure efficacité énergétique du bâtiment et un confort optimal pour les habitants.

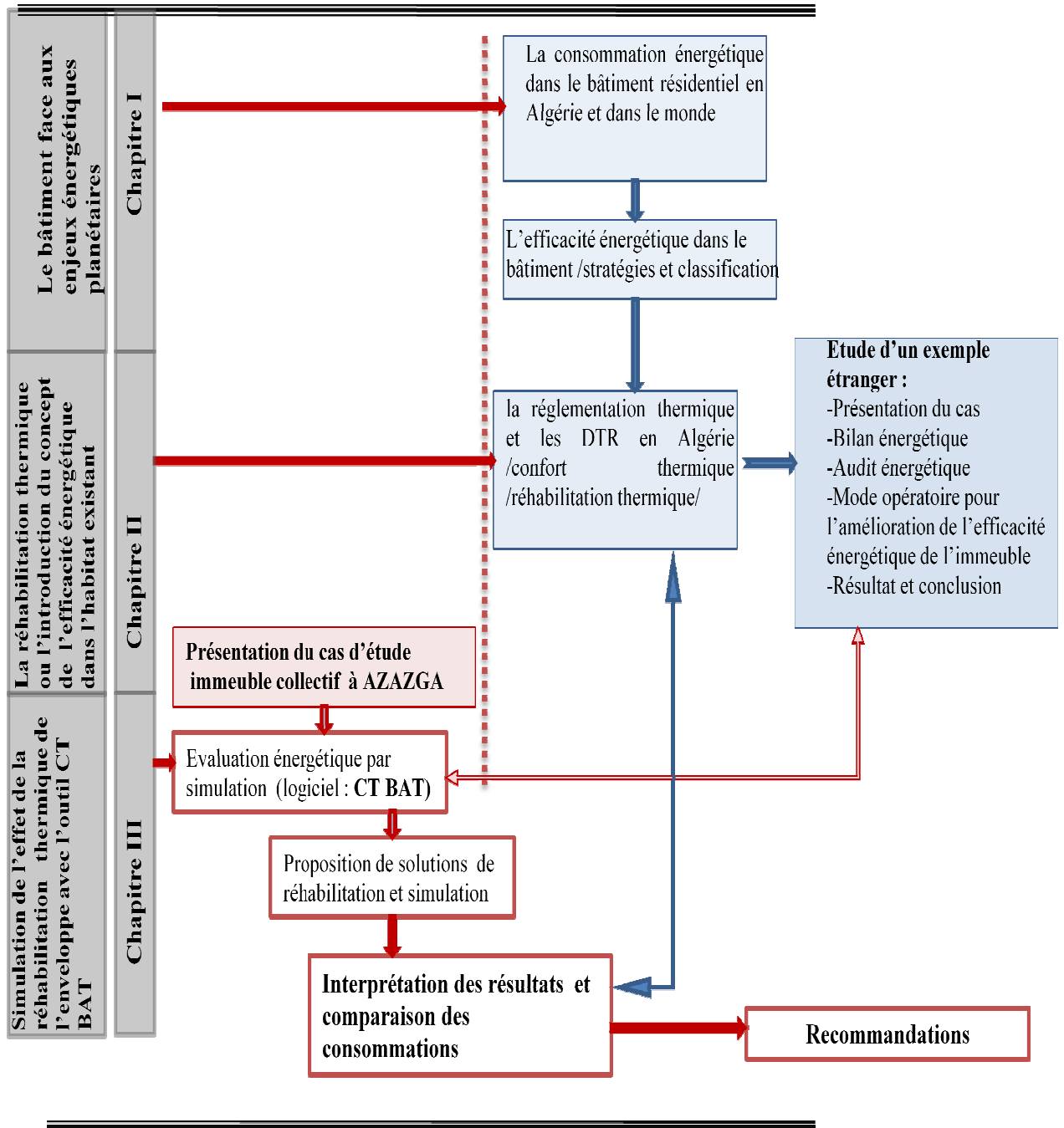


Fig. I.2 : schéma de structure du mémoire.

Etat de l'art :

Les réflexions sur la réhabilitation thermique se sont multipliées ces dernières années, vu la prise de conscience des émissions des gaz à effet de serre et de ses conséquences sur le réchauffement climatique, elles apparaissent assez nettement à l'étranger. Elles couvrent des champs de recherches et des thématiques différentes :

L'analyse bibliographique recense différentes méthodes et méthodologies glanées dans la littérature d'une part et les principes bioclimatiques associés aux niveaux de rénovation d'autre part.

Pour les méthodologies, il existe deux grandes familles : les guides et les outils. La méthodologie adoptée consiste à privilégier l'approche « outil » et par conséquent amène à décrire le bâtiment existant dans un outil de simulation énergétique, pour cela plusieurs logiciels de calcul existent dans le monde à l'instar de ; « **ENERGY PLUS** », « **COMFIE PLEIADES** », « **VISUAL DOE** » « **CODYBA** » et « **TRNSYS** »

Ces logiciels de calcul sont certes très performants vu leur niveau de détail mais ne répondent pas exactement aux prescriptions de la réglementation nationale notamment les DTR Algériens ; dans la mesure où les méthodes de calculs et les bases de données utilisées sont, dans certains cas, différentes. A cet effet, une application nommée CT BAT a été conçue par l'APRUE en collaboration avec la GIZ .

Au niveau méthodologique, la littérature propose de nombreuses approches. Elles portent pour la plupart sur des solutions dites « Isolation » ((Roulet et al, 2002), (Gustafsson et al, 1986), (Jaggs et al, 2000)) et essentiellement sur les bâtiments tertiaires ((Filfi, 2006), (Santamouris, 2002)). Par ailleurs, elles se focalisent souvent sur des études de cas ((Peuportier, 2000), (Zhao et al, 2006)) et peuvent pousser à considérer un grand nombre de simulations.

L'approche « Isolation » consistant à limiter les pertes est l'approche retenue dans cette étude qui intègre la limitation des pertes, mais également la limitation des apports en période de chaleur.

Sur le plan réglementaire, plusieurs pays disposent de réglementations thermiques dans les bâtiments existants, le cas de la RT existant en France, elle s'applique aux bâtiments résidentiels existants et tertiaires existants. L'objectif général de cette réglementation est d'assurer une amélioration significative de la performance énergétique d'un bâtiment existant.

En Algérie :

Plusieurs thèses et mémoires ont porté sur le thème de la réhabilitation et la rénovation énergétique dans le bâtiment en Algérie. Les travaux présentés ci après sont ceux qui se rapprochent de plus près à notre contribution.

➤ Mme Nait Nadia (2011) dans son mémoire de magistère intitulé « La réhabilitation énergétique dans les logements collectifs existants .Cas du climat semi aride de Constantine, qui a pour objectif l'obtention d'un niveau de confort thermique avec une consommation énergétique réduite en étudiant l'influence de l'enveloppe du bâtiment sur sa demande énergétique. Dans ce

sens, elle tente d'identifier les principales solutions techniques et de meilleure gestion des consommations énergétiques, et de définir et mettre en œuvre une stratégie de réhabilitation énergétique d'un logement. Aussi, cette recherche tente de démontrer l'importance d'une opération de réhabilitation énergétique d'un logement.

L'investigation in situ et la simulation à travers un logiciel thermique EDSL TAS program version 9.1.4.2 » sur d'un bâtiment d'habitat collectif à Constantine construit avant toute réglementation thermique, aura pour rôle la validation des différentes solutions thermiques (isolation de l'enveloppe extérieure, changement du simple vitrage, isolation de la toiture) pour prédire le comportement thermique de l'enveloppe et son impact sur la réduction des consommations de l'énergie de rafraîchissement en période chaude et devra aboutir à des recommandations sur les principales solutions techniques de réhabilitation énergétique

➤ Mr MAZARI M Mohammed ; dans son mémoire de magistère , qui porte sur une étude et évaluation du confort thermique des bâtiment à caractère public du département d'architecture de Tamda (Tiazi Ouzou), (septembre 2012) .Elle a pour objet , la situations des problèmes de confort liés à la disposition architecturales du bâtiment , de son enveloppe , et de chercher les stratégies de conception a adopter , les dispositifs architecturaux a utiliser pour assurer un niveau de confort thermique acceptable et ce a travers l'étude de l'influence de l'enveloppe sur les ambiances intérieure . L'étude est basée sur deux outils de recherche, les mesures in situ à l'aide d'instrumentation technique (mesure des températures, humidité relative) et l'enquête par questionnaire auprès de la communauté estudiantine. Une comparaison des résultats dont le but est d'évaluer les performances thermiques du bâtiment existant est établie. Des recommandations architecturales et techniques sont établies pour l'amélioration du confort thermique dans les bâtiments d'enseignements en particulier et dans le bâtiment public en général.

➤ Mr FOURA Samir : (2007/2008) université de Constantine, dans sa thèse de simulation des paramètres du confort thermique d'hiver en Algérie, tente d'établir une méthode de calcul thermique afin de réduire au minimum le coût d'énergie employée pour chauffer les bâtiments nouveaux ou existants. Les recommandations publiées dans les documents techniques réglementaires du ministère de l'habitat, (Ministère de l'habitat, D.T.R C 3-2 et D.T.R C 3-4, 1998) soumises pour le climat algérien ,sont prises comme référence dans le choix du modèle informatique élaboré dans . Un programme personnel, dénommé "SimulArch", qui modélise les différents paramètres extérieurs et intérieurs agissant sur le bâtiment, a été développé essentiellement pour vérifier la base de données de la Sonelgaz en utilisant la simulation thermique des architecturaux et les facteurs climatiques de la région. Ce programme nous a permis d'atteindre des économies d'énergie allant de 10% à 20% par ménage selon les applications des matériaux de construction préconisés.

➤ Mme CHABANE LILA (2010) : contribution à la définition d'une procédure d'audit énergétique dans l'habitat en Algérie (EPAU Alger) à travers son mémoire de magister, tente de rechercher les outils les plus adéquats pour l'application de la certification énergétique des logements en Algérie.

Elle s'intéresse de plus près à l'audit énergétique sur la base de modèle de calcul .considérant l'opportunité d'une large application sans recours à des compagnes de mesures très

laborieuses .Il abouti ainsi à la définition d'un modèle de calcul des déperditions calorifiques intégrant les caractéristiques physiques des bâtiments produits en Algérie .Son application sur deux exemple de logements vérifie alors qu'il est nécessaire de tenir compte des particularités de l'enveloppe architecturale des logements qui ne peuvent être remplacées par des valeurs par défaut tel que proposé dans différents modèles de calcul , une approche prospective permettant de définir les principaux éléments à développer afin de compléter le modèle de calcul et aboutir à une procédure d'audit énergétique adaptés à l'habitat en Algérie est présentée à la fin .

Sur le plan réglementaires, deux documents techniques réglementaires (DTR C3.2 ET C3.4 ont été élaborés par le centre national CNERIB .L'un relatif à la période d'été et l'autre d'hivers.

Un livre portant sur Isolation thermique des constructions en Algérie à été élaboré par EUGENE DUMETRIU-VALCEA (Alger 1986) qui vise à répondre aux nécessités croissantes pour le confort des constructions réalisés en Algérie, Il donne la possibilité de réaliser en Algérie des construction normalisées de point de vue isolation .le livre est nécessaire dans les conditions d'application des nouveaux matériaux et structure en Algérie.

Projets démonstratifs :

Le programme ECO. BAT vise à apporter le soutien financier nécessaire à la réalisation de logements assurant une optimisation du confort intérieur en réduisant la consommation énergétique liée principalement au chauffage et à la climatisation à travers notamment l'introduction de l'isolation thermique des bâtiments qui permettront de réduire la consommation énergétique d'un logement d'environ 40%.

L'APRUE a déjà lancé dans le cadre du PNME 2007-2011, la réalisation de 600 logements à haute performance énergétique et devait réaliser 3 000 autres pour le PNME 2010-2014. Ces deux projets sont lancés en partenariat entre le ministère de l'Énergie et des Mines et le ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme.

Le nouveau programme nationale d'efficacité énergétique (2016-2030) prévoit l'isolation thermique de 100 000 logements annuellement .L'Etat assurera 80% des coûts d'isolation, ce plan permettra non seulement de contribuer à la généralisation des bonnes pratiques dans la conception architecturale de l'habitat mais aussi de développer une industrie locale des isolants et de promouvoir la création de bureaux d'architectures spécialisés en efficacité énergétique

L'Algérie, très en retard en termes de réhabilitation thermique dans le bâtiment comparés à ses pays voisins (le Maroc et la Tunisie) et aux autres pays notamment les pays européens, des efforts colossaux doivent être effectués dans ce domaines afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre qui sont la cause essentiel du réchauffement climatique.

Chapitre I

Le bâtiment face aux enjeux énergétiques planétaires

(Entre Consommation et efficacité énergétique)

Introduction

Les populations utilisent l'énergie en appliquant des technologies pour faire face à leurs besoins de confort, d'éclairage, de mobilité, de produits transformés... etc. Ce rapport entre l'utilisation d'énergie et les besoins essentiels de l'homme font de l'énergie une ressource fondamentale pour presque tous les aspects de l'activité économique humaine, qu'il s'agisse d'une composante nécessaire à tous les équipements ménagers de chauffage et de climatisation, d'un carburant pour le parc mondial de voitures, ou encore du préalable indispensable à tout procédé industriel.

Tous les modes de transformation et de consommation de l'énergie impliquent une forme ou une autre de pollution et de détérioration de l'environnement. Malheureusement, l'avenir n'étant pas utopique, améliorer la qualité de l'environnement aura généralement un coût économique; il faudra trouver un compromis entre la prospérité et la protection de l'environnement.

Dans le présent chapitre nous essayerons de présenter dans un premier temps un état de fait sur la consommation énergétiques dans le monde et en Algérie des différent secteurs en particulier celui du bâtiment, ses défis et ses enjeux, d'énumérer les objectifs des politiques énergétiques. Dans un second temps, nous tenterons de comprendre le concept d'efficacité énergétique qui est devenu l'un des grands enjeux de notre époque, et de connaître les efforts entrepris dans le monde et en Algérie pour atteindre cet objectif, quelles mesures et quel résultat ? Quelles sont les priorités ? Quelles mesures sont favorisées ? Et Quels sont-les résultats ?

I.1 Les enjeux énergétiques à l'échelle planétaire :

Le système énergétique mondial actuel, où prédominent les combustibles fossiles, est par essence l'une des causes de l'accroissement des concentrations atmosphériques de CO₂ qui accélère l'altération du système climatique de la planète. La consommation moyenne d'énergie par habitant varie d'un facteur supérieur à 20 entre les pays industrialisés et les pays en développement, et elle porte en elle le risque d'un quadruplement de la demande d'énergie dans les pays en développement, au fur et à mesure que l'industrialisation et l'urbanisation s'imposent et gagnent de la vitesse. Ce qui laisse prévoir que le système énergétique actuel ne saurait durer .Il est donc indispensable de découpler la consommation d'énergie de la croissance économique pour s'engager dans la transition vers un système durable.

Le défi du changement climatique et du réchauffement de la planète sera peut-être le problème d'environnement le plus épineux à résoudre pour la communauté internationale dans les prochaines décennies. Ces dernières années, et en particulier depuis le **sommet de Rio en 1992**, nombre de pays ont pris de nouvelles initiatives pour faire face au changement climatique. A l'échelon international, la convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques entrée en vigueur en 1994 engage globalement les parties signataires à atteindre un objectif commun de stabilisation des concentrations **atmosphériques des gaz à**

effet de serre à un niveau permettant d'éviter une interférence anthropique dangereuse avec le système climatique. Aux termes de la convention, les pays en développement et développés s'engagent à prendre en compte le changement climatique dans les cadres où s'inscrivent leurs politiques sociales, économiques et environnementales; à coopérer sur les aspects scientifiques, techniques et éducatifs, ainsi qu'à mettre en commun les informations. Les parties s'engagent également à promouvoir le transfert de technologies et une gestion durable des ressources.⁶

Aussi en décembre 1997, un accord s'est dégagé sur le **Protocole de Kyoto**, qui renforce les engagements des pays développés en matière d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre. Le Protocole engage les pays développés à réduire leurs émissions globales d'au moins 5 % dans les années 2008 à 2012, par rapport aux niveaux de 1990.

Le Protocole définit également un certain nombre de mécanismes du marché destinés à permettre aux parties de collaborer pour atteindre les objectifs de réduction au moindre coût : il s'agit notamment de l'application conjointe, de l'échange de droits d'émission et du mécanisme pour un développement «propre». Ce dernier prévoit des transactions entre les pays développés et en développement concrétisées dans le cadre de projets, en vue de favoriser un développement durable et de générer des compensations d'émissions pour les investisseurs des pays développés.

Les modalités précises de l'accord restent à décider et elles détermineront, dans l'ensemble, ses coûts et son efficacité. Les pays participants sont en désaccord sur un certain nombre de questions importantes, notamment le calendrier et les règles d'application des mécanismes du marché, ainsi que l'équilibre entre l'investissement dans les mesures d'atténuation par le biais de mécanismes internationaux du marché et les actions nationales. Malgré ces difficultés, le Protocole de Kyoto est perçu, en général, comme un changement radical dans la gestion internationale des problèmes de l'environnement mondial.

De l'avis général, il est nécessaire de continuer à renforcer la coopération internationale pour faire face à la menace du changement climatique. Dans une perspective à long terme, la nécessité de limiter les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre à un certain niveau – pour éviter un changement trop grave du climat amène à fixer un plafond pour les émissions cumulées pendant la période visée. Il se pose de ce fait le problème de trouver un profil temporel optimal, de nouveaux modes de coopération internationale pour atteindre ces objectifs avec un bon rapport coût-efficacité. Il serait essentiel de s'orienter vers des systèmes énergétiques se passant des énergies fossiles et d'encourager les consommateurs et les producteurs à prendre en compte les problèmes d'environnement dans leurs décisions courantes. Les politiques des pouvoirs publics auront un rôle important à jouer pour s'assurer que les producteurs et les consommateurs soient incités à amorcer la transition vers un avenir à faibles émissions de gaz à effet de serre.

⁶ ENERGIE les cinquante prochaines années, organisation de coopération et de développement économique. OCDE.26 OCTOBRE 1999. P 19

I.2 Objectifs des politiques énergétiques :

Ils sont de trois ordres : environnemental, économique et social :

- 1-Environnemental : en réduisant les émissions de gaz à effet de serre et en maîtrisant les consommations énergétiques.
- 2-Economique : la préservation de la qualité des bâtiments en garantissant les conditions sanitaires, en améliorant le confort et en valorisant le patrimoine bâti.
- 3- Social : la garantie de la cohésion sociale en maîtrisant les loyers et les charges.

I.3.La consommation énergétique et émissions en dioxyde de Carbone (CO₂) :

La consommation en énergie ne cesse d'augmenter depuis la révolution industrielle dans le monde comme en Algérie , ce qui engendre une augmentation des émissions des gaz à effet de serre et de là ,les changements climatiques .La consommation en énergie dans le monde et en Algérie est détaillée dans cette partie du chapitre par secteur d'activité et par type de produit ainsi que les émissions en dioxyde de carbones ,et ce ,afin de constater la pertinence d'adopter une stratégie de maîtrise de l'énergie .

I.3.1 La consommation énergétique dans le monde :

Sous le double effet de la croissance économique et de la hausse de la population mondiale, la demande mondiale en énergie devrait croître de 52 % à l'horizon 2030 selon les prévisions de l'Agence internationale de l'énergie, voire de 71 % selon les estimations du département américain de l'énergie⁷.

Depuis la révolution industrielle, la **consommation d'énergie** n'a cessé d'augmenter (voir fig. I.2). Elle a plus que doublé en quarante ans (de 1973 à 2013). En 2009, à la suite de la crise de 2008, elle n'avait augmenté que de 1 %. La consommation énergétique mondiale (énergie primaire) était en 2012, selon l'Agence internationale de l'énergie de 13,37 milliards de tep (tonne équivalent pétrole), (6,1 en 1973) pour une production énergétique mondiale (énergie primaire) de 13,5 milliards de tep (6,2 en 1973)⁸.

⁷ Evolution est tendance de la demande mondiale en énergie.

http://lapsuske.brubel.net/IMG/pdf/demande_mondiale_energie_reserves.pdf

⁸ Ressources et consommation énergétiques mondiales. wikipedia.org

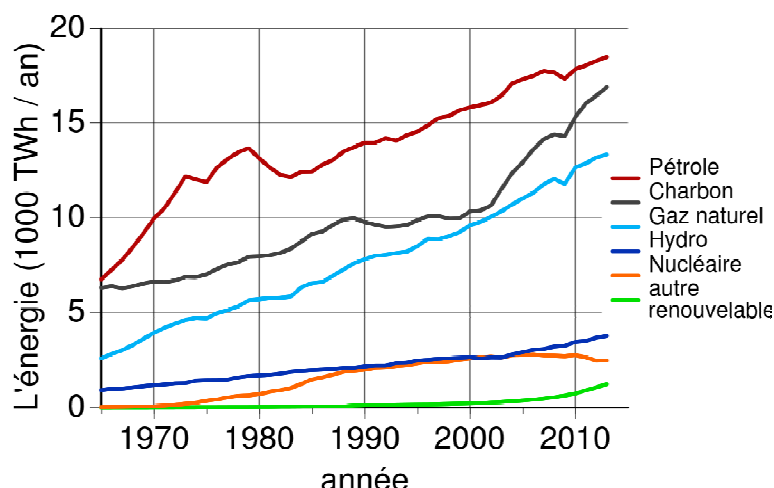


Fig.I.2 : consommation énergétique mondiale, en térawatts-heures (TWh), de 1965 à 2013.
(source : BP Statistical Review of World Energy .)

I.3.1.1 Consommation énergétique par type :

- Combustion d'énergies fossiles : 81,7 % ;
- Le Nucléaire : 4.8 % ;
- Energies renouvelables (bois énergie, éolien, solaire, agro carburants, ...etc.) : 13,5 %.

I.3.1.2 Consommation énergétique par secteur :

L'Agence internationale de l'énergie fournit les estimations suivantes :

Secteurs	Consommation finale 1990	Part dans la consommation	Consommation finale 2013	Variation consommation 2013/1990	Part dans la consommation
Industrie	1 807	29 %	2 702	+50 %	29 %
Transport	1 576	25 %	2 564	+63 %	28 %
Résidentiel	1 528	24 %	2 128	+39 %	23 %
Tertiaire	463	7 %	752	+62 %	8 %
Agriculture +pêche	170	3 %	203	+19 %	2 %
Non spécifié	260	4 %	131	-50 %	1 %
Usages non énergétiques	477	8 %	821	+72 %	9 %
Total	6 281	100 %	9301	+48 %	100

Tableau I.1 : Consommation finale d'énergie par secteur par mégatonne d'équivalent pétrole
M tep source ; ressources et consommation énergétiques mondiales IAE

Le secteur du bâtiment (résidentiel et non résidentiel) représente le plus gros gisement d'économie d'énergie parmi tous les autres secteurs. C'est le secteur d'utilisation finale le

plus important avec 31% de la consommation énergétique mondiale suivi de l'industrie 29%, et du transport 28%.

I.3.2 Consommation énergétique en Algérie : Etude de l'APRUE

Avec une population estimée à 39,5 millions d'habitants au 1er janvier 2015, selon l'Office National des Statistiques (ONS)⁹, la consommation de l'Algérie en énergie a atteint 56 millions de tonnes équivalent pétrole (TEP) en 2014.

En 2030, la demande énergétique risque de doubler dans les quinze (15) années à venir, d'autant plus que la consommation en gaz et en électricité connaît un rythme de croissance annuel de 14% à 18%. A noter que la forte hausse des besoins énergétiques, au niveau national, se traduira forcément par une diminution des exportations algériennes, et donc par une diminution des recettes financières si, parallèlement, aucun effort allant dans le sens de l'économie de l'énergie ne serait entrepris. (*Portail algérien des énergies renouvelables*) op. Cit.

Les données utiles à la compréhension de la consommation énergétique en Algérie sont listées ci après¹⁰ :

- Le parc logement est de 6.500.000 dont 70 % urbain ;
- Le taux d'occupation est en moyenne de 6 personnes par logement ;
- Le taux d'équipement des ménages est de 75% ;
- Taux d'électrification national est de 99%
- Taux de ménages raccordés au réseau gaz naturel est de 47%.
- La consommation énergétique moyenne annuelle d'un logement est de 1,303 TEP.

⁹ Extrait du Portail Algérien des ENERGIES RENOUVELABLES ; Utilisation rationnelle de L'énergie en Algérie : Quels efforts à faire et comment y parvenir ? Dans actualité du dimanche 2 août 2015.

¹⁰ APRUE ; agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie, Consommation énergétique finale en Algérie, chiffres clés année 2012. Edition 2014 .

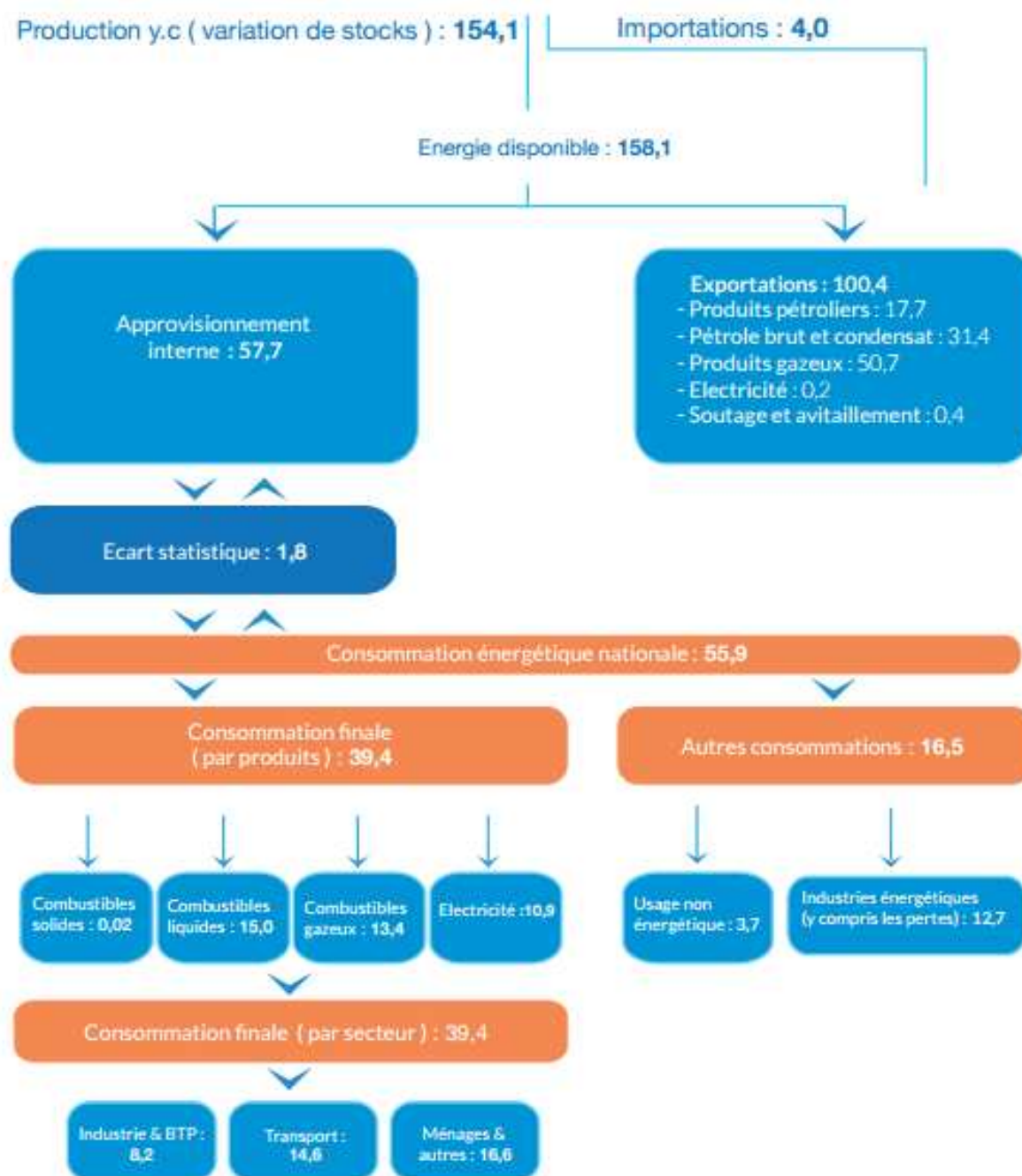


Fig. I.3. : Synthèse des flux énergétiques (Mtep) –
source APRUE Bilan énergétique national Année 2014

La consommation finale de l'énergie comprend tous les usages à caractère final d'énergie. Elle a atteint 39,4 Mtep en 2014, reflétant une hausse de 1,9 Mtep par rapport à 2013. L'évolution de la consommation finale par produit et par secteur d'activité est détaillée ci-après:

I.3.2.1 : Par type de produit:

	Unités	2013	2014	Evolution	
				Quantité	(%)
Produits pétroliers	K tep	14 190	14 989	+798	+5,6
	K tonnes	13 570	14 328		
Electricité	K tep	10 246	10 914	+668	+6,5
	GWh	43 156	45 750		
Gaz naturel	K tep	10 562	11 207	+645	+6,1
	10 ⁶ m ³	11 177	11 860		
GPL	K tep	2 415	2 236	-178	-7,4
	K tonnes	2 046	1 895		
Coke sidérurgique	K tep	41	14	-26	-64,6
	K tec	58	20		
Autres (bois)	K tep	22	6	-16	-71,8
	K tec	112	32		
Total	K tep	37 476	39 368	+1 891	+5,0

Tableau I.2 : consommation finale par produit
(source APRUE)

Du tableau ci-dessus, il ressort que la croissance de la consommation nationale d'énergie a été tirée notamment par la hausse de la consommation du gaz naturel, des produits pétroliers et de celle de l'électricité.

Les produits pétroliers sont toujours la première forme d'énergie consommée, avec 38,1% de la consommation finale. Le gaz naturel, en croissance, consolide sa seconde place du bouquet énergétique final avec 28,5 %. L'électricité, en hausse également, représente 27,7 % de l'ensemble. Comme illustré dans le graphe ci-contre.

Structure de la consommation finale par produit

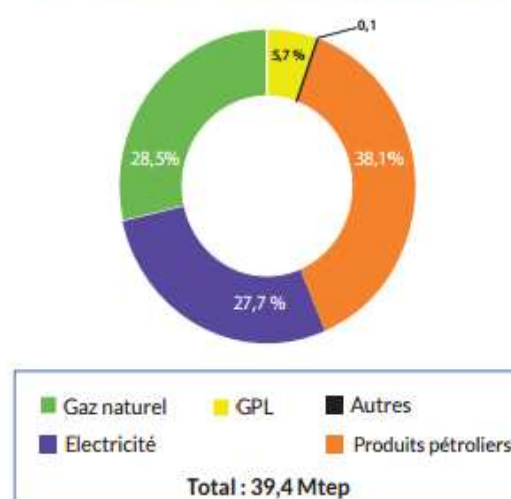


Fig. I.4: structure de la consommation finale par produit.

Source : Ministère de l'énergie : bilan énergétique national 2014, édition 2015

Enfin, le GPL qui a connu une baisse en 2014, représente 5,7% de l'ensemble. Sa consommation a été de 1,9 millions de tonnes, en diminution de (-7,4%) par rapport à 2013, suite à une substitution de plus en plus croissante des foyers au gaz naturel.

I.3.2.2 Par secteur d'activité :

L'évolution de la consommation finale en 2014 fait ressortir ce qui suit :

- **La consommation du secteur "Industries et BTP"** a connu une légère hausse (+2,8%) par rapport à l'année 2013 à 8,2 Mtep. En effet, la hausse de la consommation des sous-secteurs des matériaux de construction (+3,4%), des industries manufacturières (+7,3%) et BTP (+17,6%) a largement compensé la baisse (-1,6%) de la consommation du sous-secteur « autres industries »;
- **La consommation du secteur des "transports"** s'est accrue de +5,7% en 2014, pour atteindre 14,6 Mtep, due essentiellement à la croissance du transport routier (0,74 Mtep);
- **La consommation des "Ménages et autres", qui comprend également le secteur de l'agriculture**, a augmenté de 0,9 Mtep par rapport à l'année 2013 pour atteindre 16,6 Mtep en 2014, tirée principalement par l'accroissement de la consommation du sous-secteur résidentiel (0,5 Mtep).

Le détail de la consommation finale, par secteur d'activité, est donné dans le tableau ci-après

K tep	2013	2014	Evolution	
			Quantités	(%)
Industrie et BTP, dont :	8 010	8 238	+ 228	+2,8
- Matériaux de construction	3 435	3 552	+117	+3,4
- ISMME	639	663	+24	+3,7
- BTP	343	404	+60	+17,6
- Industries Manufacturières	892	957	+65	+7,3
- Industries Agroalimentaires	787	843	+56	+7,1
- Chimie	324	340	+16	+4,9
- Autres industries	2 360	2 322	-38	-1,6
Transport, dont :	13 762	14 551	+789	+5,7
- Routier	13 159	13 901	+742	+5,6
- Aérien	406	435	+29	+7,1
Ménages et autres, dont :	15 704	16 579	+875	+5,6
- Résidentiel	12 141	12 597	+456	+3,8
- Agriculture	238	421	+183	+77,0
Total	37 476	39 368	+1 891	+5,0

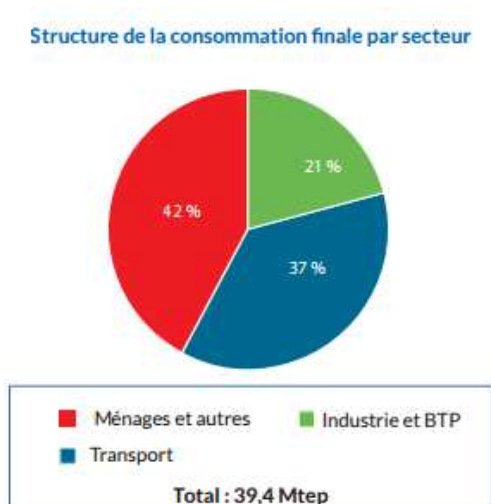
Tableau I.3 : consommation finale par secteur d'activité

Source APRUE

L'analyse de l'utilisation finale de l'énergie par secteur d'activité met en lumière la prépondérance du secteur des "ménages et autres" (y compris agriculture), qui représente 42% contre 37% pour le transport et 21% pour l'industrie. Ceci reflète notamment l'amélioration du niveau de vie des citoyens.

Fig. I.5: structure de la consommation finale par secteur.

Source : Ministère de l'énergie ; bilan énergétique national 2014 , édition 2015



I. 3.2.3 Répartition de la consommation du secteur résidentiel par type d'énergie

La consommation électrique du secteur résidentiel a atteint 1414 KTEP. Elle représente 40% de la consommation totale d'électricité. Il a atteint 7056 KTEP en produits gazeux soit 60% de la consommation totale des produits gazeux, Il représente, de ce fait, le premier secteur grand consommateur d'énergie électrique au niveau national.

I.3.3.Emissions en dioxyde de carbone (CO2)

Au niveau mondial, les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) dues à l'énergie en 2012 sont estimées par l'AIE (Agence internationale de l'énergie) à 31 734 Mt, en progression de 51 % depuis 1990, elles se résument comme suit ;

I. 3.3.1 Par type d'énergie :

- 44 % produites par le charbon ;
- 35 % par le pétrole ;
- 20 % par le gaz naturel.

I.3.3.2 Par secteur d'activité :

- 47 % étaient issues de l'industrie de l'énergie ;
- 23 % des transports ;
- 20 % de l'industrie ;
- 6 % des ménages ;
- 4 % des services et de l'agriculture.

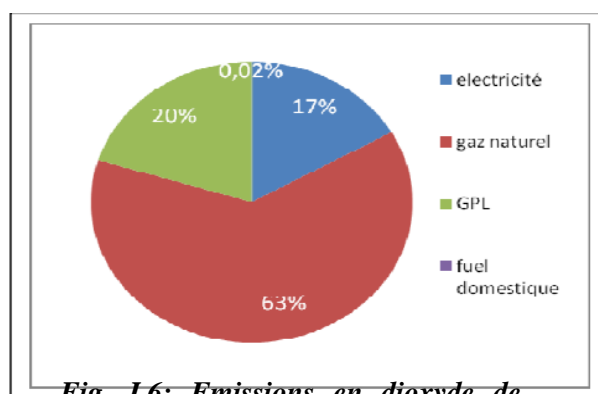


Fig. I.6: Emissions en dioxyde de Carbone par type d'énergie

Source : APRUE

Les émissions de CO₂ par habitant en 2012 sont estimées à 4.51 tonnes dans le monde, 16.15 tonnes aux États-Unis, 9.22 tonnes en Allemagne, 5.10 tonnes en France, 6.08 tonnes en Chine et 1.58 tonnes en Inde.

Après ce bref aperçu sur les consommations énergétiques et les émissions de gaz à effet de serre, nous constatons que les émissions mondiales de gaz à effet de serre doivent diminuer, afin de limiter les conséquences des changements climatiques. En tenant compte de la hausse du niveau de vie des pays en développement, cela impose à tous les pays, secteur par secteur, de mettre en place les outils nécessaires et des stratégies efficaces afin de réduire leur contribution aux émissions de gaz à effet de serre et l'Algérie ne doit pas faire l'exception.

Aussi, on constate que le secteur du bâtiment représente le secteur le plus consommateur en Algérie et dans le monde, et représente de ce fait, l'un des plus grands potentiels d'efficacité énergétique et de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Cette efficacité ne peut être obtenue qu'à travers tout un dispositif législatif, réglementaire et institutionnel. Des efforts doivent impérativement être déployés pour concilier notre aspiration au progrès et la nécessité de préserver notre environnement.

I.4. L'efficacité énergétique :

Jusqu'à présent l'évolution de nos modes de vie et de l'économie, ont engendré une augmentation de la consommation d'énergie d'une génération à une autre. La prise de conscience actuelle d'une nécessaire réorientation de nos choix, place l'énergie au cœur des réflexions sur l'avenir de nos sociétés qui pour la première fois peut-être dans l'histoire, vont devoir opérer une transition énergétique d'importance, sous l'effet de contraintes à la fois physiques (disponibilité de ressources fossiles et changement climatique) et économiques ou techniques.

Dans ce cadre, l'analyse des grandes institutions internationales - Agence Internationale de l'Énergie (AIE), Commission Européenne (CE), Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), Conseil Mondial de l'Énergie, converge pour considérer, comme l'indique ce dernier, que l'efficacité énergétique est « *un levier indispensable pour progresser vers une économie peu carbonée* ».

I.4.1 Qu'entend-on par efficacité énergétique ?

1- L'efficacité énergétique se définit comme une consommation en énergie moindre pour le même service rendu. Si on s'en tient aux textes communautaires et à ses déclinaisons nationales, elle vise à l'amélioration des usages de l'énergie. Dans une définition plus large, elle se devrait d'englober aussi l'éco conception des produits et l'économie d'énergie dans les matériaux utilisés (recyclage et réutilisation).

La notion d'efficacité énergétique est à distinguer de celle de l'intensité énergétique, qui représente la quantité d'énergie consommée pour produire une quantité de PIB (produit intérieur brut).

Elle ne se confond pas non plus avec la sobriété énergétique. Cette dernière est consensuelle si elle vise à éviter les gaspillages.¹¹

2-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. Selon Thiery Salomon¹² elle correspond à réduire à la source la quantité d'énergie nécessaire pour un même service, soit, mieux utiliser l'énergie à qualité de vie constante.

3- Le rapport final de la « comparaison internationale bâtiment et énergie » initié par PREBAT¹³ note qu'en construction neuve ou en réhabilitation, un bâtiment efficace énergétiquement est avant tout un concept d'ensemble saisissant dans un même processus l'architecture, le climat, l'enveloppe et les équipements¹⁴.

Il ressort de ces trois définitions que l'efficacité énergétique consiste, par rapport à une situation de référence :

- soit à augmenter le niveau de service rendu, à consommation énergétique égale,
- soit à économiser de l'énergie à service rendu égal,
- soit à réaliser les deux simultanément.

La démarche d'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments doit être pensée globalement : porter à la fois sur le bâti, mais également sur les équipements et systèmes qui le composent. Pour que la démarche soit complète, elle devra aussi intégrer le recours aux énergies renouvelables.

I.4.2 Type d'efficacité énergétique:

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

b) **Efficacité énergétique active** : pour superviser et gérer les équipements techniques du bâtiment. Elle est basée sur une offre de produits performants et de systèmes intelligents de régulation, d'automatismes et de mesure. L'efficacité énergétique active permet de :

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

¹¹ Anne De Béthencourt, et Jacky Chorin, 2013. Efficacité énergétique : un gisement d'économies ; un objectif prioritaire. Paris : Les éditions des JOURNAUX OFFICIELS, 2013. 978-2-11-120906-0/0767-4538.

¹² Salomon, T .et Bedel, S « la maison des [mega ,watt , le guide malin de l'énergie chez soi .] Édition .terre vivante. 2004.p11.

¹³ PREBAT ; Programme de Recherche et d'Expérimentation sur l'Energie dans le Bâtiment

¹⁴ PREBAT, ADEME et CSTB comparaison internationale bâtiment et énergie. Rapport final .Décembre 2007 .p. A19

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

- c) **L'efficacité énergétique interactive** : qui se concentre sur les besoins de l'utilisateur pour y répondre de manière pertinente. Elle permet de limiter les pertes dues aux mauvais usages.

Cumulées, l'efficacité énergétique passive et l'efficacité énergétique active révèlent la performance énergétique globale du logement.

I.4.3 Les leviers d'action de l'efficacité énergétique :

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

- *L'utilisation de produits performants :*

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

- *L'intégration des énergies renouvelables (EnR) :*

Le recours aux énergies renouvelables dans une démarche d'amélioration énergétique permet d'obtenir une partie de l'énergie nécessaire au bâtiment (électricité, chauffage, eau chaude sanitaire) de façon renouvelable et donc de diminuer voire

supprimer l'apport d'énergie extérieur.



Fig.I.7: Les leviers de l'efficacité énergétique source ; Groupe d'étude des marches, guide relatif à l'efficacité énergétique dans le bâtiment : application à un établissement scolaire. mars 2013 p7,8

- *Le comptage/mesure des consommations :*

La gestion de l'énergie d'un bâtiment consiste en premier lieu à compter/mesurer les consommations. Pour la partie électrique et gazière, une installation classique comporte un compteur général qui fournit les consommations globales en vue de leur facturation par le

distributeur d'énergie. Une installation optimisée comporte en plus du compteur général, des compteurs divisionnaires permanents. Leur rôle principal est d'établir la répartition des consommations d'énergie par poste (chauffage, eau chaude sanitaire, ventilation...).

Le comptage ou la mesure des consommations permet la réalisation du bilan énergétique, la prise de conscience par l'utilisateur ou gérant des consommations et sert pour l'estimation du gisement d'économie d'énergie. Elle garantit également un suivi dans le temps de la performance énergétique.

➤ *L'affichage des consommations :*

Un afficheur permet une visualisation pour les différents usages de la consommation ou des coûts instantanés, horaires, journaliers, l'historique des consommations voire les économies réalisées. Pour un impact optimum, les consommations doivent être affichées en temps réel et l'afficheur positionné dans le lieu de vie pour que l'utilisateur soit sensibilisé « en permanence ». Cet affichage permet à l'utilisateur, par effet pédagogique, d'adapter son comportement, de prévoir des travaux ou des investissements en équipements ou en solutions d'efficacité énergétique, de remarquer toutes dérives de consommation que ce soit à court terme ou à long terme. Cette solution est simple à installer tant en neuf qu'en rénovation, elle ne nécessite pas de travaux lourds sur le bâti. En moyenne, une information claire et simple du consommateur ou des usagers, par poste dans le lieu de vie en temps réel permet des économies d'énergie de l'ordre de 10%.¹⁵

➤ *Les systèmes intelligents de Régulation et Gestion :*

La régulation est gérée par des automates qui sont plus ou moins complexes selon les exigences du cahier des charges initial et selon le type de bâtiment : habitat individuel, collectif ou tertiaire. Ces automates permettent de traiter les informations de mesure (température, humidité...) et d'état (marche/arrêt...) des équipements de chauffage, de climatisation et d'éclairage pour les régler, les optimiser, les sécuriser et compter l'énergie consommée.

Dans l'habitat individuel, un simple thermostat d'ambiance constitue le premier système de régulation. Ces systèmes s'installent sur des sites neufs, mais également sur des sites existants. Ils permettent ainsi de :

-consommer ce qui est nécessaire pour maintenir ou améliorer la qualité de vie dans le bâtiment (notion de confort), tout en contribuant à économiser l'énergie. En effet, la notion de confort et la notion d'économies d'énergie sont des indicateurs clefs de la qualité de la régulation. Ils contribuent efficacement à la performance de l'installation ;

¹⁵ Groupe d'étude des marches, guide relatif à l'efficacité énergétique dans le bâtiment : application à un établissement scolaire. mars 2013 .p7, 8

- Fournir un outil de pilotage de l'installation à l'utilisateur ;
- Aider à modifier le comportement humain, afin d'adopter de bons réflexes (comme par exemple, éteindre le chauffage lorsqu'une fenêtre est ouverte)

C'est notamment le cas des systèmes de régulation pour les équipements de chauffage, de ventilation ou d'éclairage (systèmes centralisés ou embarqués) qui permettent d'adapter la consommation aux conditions extérieures et en fonction de la présence des utilisateurs (capteurs)

➤ *Le maintien de la performance :*

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. Partie intégrante de la maîtrise de l'énergie, le suivi de la performance permet de repérer toute déviance. En effet, le simple contrôle des factures ne suffit pas à connaître les performances de son installation. Grâce aux outils de mesure déployés, des indicateurs de performance permettent de détecter des écarts avec les consommations de référence et sont une aide à la décision pour l'utilisateur ou le gestionnaire dans la maintenance des systèmes (réglage, intervention technique, changement d'utilisation, etc.).

Un entretien régulier des installations par des professionnels et le suivi par les usagers des conseils d'utilisation fournis par les fabricants sont également des éléments essentiels au maintien de la performance des installations.

I.5. Stratégie de maîtrise de l'énergie :

Les stratégies de maîtrise de l'énergie dans le monde et en Algérie sont :

I. 5.1 Dans le monde :

Dans les pays de l'OCDE¹⁶, le principal moteur de l'amélioration de l'efficacité énergétique pour le chauffage des locaux et les appareils électriques a été l'application de réglementations thermiques plus strictes pour les bâtiments et de normes minimales de performance énergétique pour les appareils.

De plus, les pays de l'OCDE consentent de nombreuses aides financières pour l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments, la majorité offrant des prêts à des taux d'intérêt bas souvent associés à des subventions permettant de mettre aux normes thermiques les bâtiments existants.

Dans les économies émergentes, la substitution de la biomasse par des combustibles modernes constitue la principale raison de la baisse des consommations. Les normes et

¹⁶ Organisation de Coopération et de Développement Economiques.

règlements d'efficacité énergétique de construction se généralisent pour les nouvelles constructions.

Les appareils électriques sont largement visés par les politiques d'efficacité énergétique: les mesures les plus répandues étant l'étiquetage, un nombre croissant d'appareils étant désormais étiquetés, et la généralisation de normes minimales de performance énergétique.

Le recours à des normes et à l'étiquetage constitue un moyen économique de remédier aux défaillances du marché dans la vente d'appareils et d'équipements économes en énergie.

Malgré tous les efforts consentis à ce jour afin d'assurer l'efficacité de ces mesures, il existe encore un large potentiel d'économies d'énergie dans tous les secteurs, en particulier dans celui des bâtiments existants. Il est conseillé aux gouvernements de mettre en œuvre des politiques destinées à améliorer l'efficacité énergétique de ces bâtiments.

I.5.2. En Algérie :

Un ensemble de textes législatifs encadrent la politiques énergétique de l'Algérie, et qui doivent être continu et soutenu. Il s'agit de :

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

-La loi n° 04-09 du 14 août 2004 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.

Pour ce faire, l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE), qui est un établissement public à caractère industriel et commercial, a été créée par décret présidentiel en 1985 et placée sous la tutelle du ministère de l'Energie. Elle a pour mission principale la mise en œuvre de la politique nationale de maîtrise de l'énergie, et ce à travers la promotion de l'efficacité énergétique. Dans le cadre de la loi n° 99- 09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie, cette agence a pour principales missions :

- La coordination et l'animation de la politique nationale de maîtrise de l'énergie ;
- La mise en œuvre et le suivi du Programme National de Maîtrise de l'Energie (PNME)
- La sensibilisation et la diffusion de l'information sur la maîtrise de l'énergie en direction des différentes cibles (grand public, professionnels, milieu scolaire, etc.) ;
- Le montage de programmes et de projets sectoriels en partenariat avec les secteurs concernés (Industrie, Bâtiment, Transports, etc.).

I.5.2.1. Programme nationale des énergies renouvelables :

Le développement des énergies renouvelables en Algérie, qui revêt un intérêt particulier, devra inciter les pouvoirs publics à donner un nouvel essor à ce secteur en vue de les substituer aux énergies fossiles dont les ressources se font de plus en plus rares. Il est utile d'indiquer que pour la mise en œuvre et la concrétisation des plans et des objectifs arrêtés dans ce domaine, les pouvoirs publics ont procédé à l'adoption d'un cadre juridique favorable à leur promotion et à la réalisation d'infrastructures y afférentes, la création d'une multitude d'organismes œuvrant dans ce secteur ainsi que le lancement d'importants projets.

En effet, l'intégration des énergies renouvelables dans le mix énergétique national constitue un enjeu majeur dans la perspective de préservation des ressources fossiles, de diversification des filières de production de l'électricité et de contribution au développement durable. A la faveur du programme de développement des énergies renouvelables 2011-2030 adopté par le Gouvernement en février 2011, les énergies renouvelables se placent au cœur des politiques énergétiques et économiques menées par l'Algérie.¹⁷

Cet ambitieux programme, dont le solaire, essentiellement, prévoit la production de 22 000 mégawatts à l'horizon 2030, dont 12 000 mégawatts pour le marché intérieur, soit 37% des besoins en électricité. Il a connu une première phase consacrée à la réalisation de projets pilotes et de tests des différentes technologies disponibles, durant laquelle des éléments pertinents concernant les évolutions technologiques des filières considérées sont apparus sur la scène énergétique et c'est ce qui a conduit à sa révision. Parmi ces éléments nouveaux, il convient de citer :

- Une meilleure connaissance du potentiel national en énergies renouvelables, notamment pour le solaire et l'éolien, suite aux études engagées ;
- La baisse des coûts des filières photovoltaïque et éolienne qui s'affirment de plus en plus sur le marché pour constituer des filières viables à considérer ;
- Les coûts encore élevés de la filière du solaire thermique (CSP) induisant une croissance très lente du développement de ce marché à travers le monde ;
- Le parachèvement d'une réglementation nationale cohérente et attractive en direction des investisseurs.

La révision de ce programme porte ainsi, sur le développement du photovoltaïque et de l'éolien à grande échelle, sur l'introduction des filières de la biomasse (valorisation des déchets), de la cogénération et de la géothermie, et également sur le report, à 2021, du développement du solaire thermique (CSP).

¹⁷ Portail Algérien des ENERGIES RENOUVELABLES : utilisation rationnelle de l'énergie en Algérie : quel efforts à faire et comment y parvenir ? dimanche 02 Août 2015

I.5.2.2 Programme national d'efficacité énergétique :

Le nouveau programme national d'efficacité énergétique (PNEE) lancé en 2016, vise essentiellement à réduire graduellement la forte croissance de la consommation d'énergie et à donner de la visibilité aux investisseurs potentiels dans le domaine de la production énergétique.

L'efficacité énergétique est appelée à jouer un rôle important dans le contexte énergétique national, caractérisé par une forte croissance de la consommation tirée, notamment, par le secteur domestique avec la construction de nouveaux logements, la réalisation d'infrastructures d'utilité publique et la relance de l'industrie.

L'adoption par le gouvernement du programme national sur l'efficacité énergétique à l'horizon 2030, réaffirme cette dernière comme priorité. La réalisation de ce programme par une diversité d'actions et de projets, devrait favoriser l'émergence, à terme, d'un marché durable de l'efficacité énergétique en Algérie.

Les retombées économiques et sociales de l'intégration de la dimension efficacité énergétique dans les différents secteurs d'activité sont multiples. Cette intégration permet d'améliorer le cadre de vie du citoyen mais constitue, également, une réponse appropriée au défi de conservation de l'énergie avec ses implications bénéfiques sur l'économie nationale, en termes de création d'emplois et de richesse, en plus de la préservation de l'environnement.

Le programme se focalise sur les secteurs de consommation qui ont un impact significatif sur la demande d'énergie.

Il s'agit principalement du bâtiment du transport et de l'industrie.

a)- Pour le secteur du bâtiment Le programme vise à encourager la mise en œuvre de pratiques et de technologies innovantes, autour de l'isolation thermique des constructions. Des mesures adéquates seront prévues au niveau de la phase de conception architecturale des logements tels que l'optimisation de l'orientation des bâtiments et la prise en compte de l'environnement immédiat des projets de conception .

Il s'agit également de favoriser la pénétration massive des équipements et appareils performants sur le marché local, notamment les chauffe-eau solaires et les lampes économiques : l'objectif étant d'améliorer le confort intérieur des logements en utilisant moins d'énergie.

- **Isolation thermique des logements :**

Le programme prévoit l'isolation thermique de 100.000 logements annuellement (mur, toiture, double vitrage), permettant une économie d'énergie de 25 Millions TEP sur 30 ans (durée de vie d'un logement).

L'Etat assurera 80% des coûts d'isolation, ce plan permettra non seulement de contribuer à la généralisation des bonnes pratiques dans la conception architecturale de

l'habitat mais aussi de développer une industrie locale des isolants et de promouvoir la création de bureaux d'architectures spécialisés en efficacité énergétique.

- **Lampes à basse consommation;**

Dans le domaine de l'éclairage, l'objectif est de diffuser 10 millions de lampes à basse consommation/an. En parallèle, il sera interdit d'importer les lampes à incandescence à partir de 2016 alors que l'interdiction totale de la commercialisation de ce type de lampes est prévue pour 2020.

L'Etat prendra en charge 50% du prix des lampes économiques qui pourront économiser d'ici 2030 près de 19,5 millions de TEP.

- **Chauffe-eau solaires :**

Il est prévu d'installer 100.000 chauffe-eau solaires annuellement avec un apport de l'Etat fixé à 45% du prix de référence de l'installation.

- **Lampes au sodium pour l'éclairage public ;**

Le PNEE¹⁸ vise la substitution de 1,1 million de lampes à mercure, représentant actuellement la totalité du parc national, par des lampes au sodium, plus efficaces, sur une période de trois ans.

Les lampes à mercure seront interdites à partir de 2018, et l'état financera à 100% l'achat de nouvelles lampes au sodium qui permettront une économie d'énergie d'un (1) million de TEP.

b). Pour le secteur du Transport : il est l'un des plus grands potentiels d'action après les bâtiments. Les innovations technologiques permettront une évolution des comportements, engendrant de fait des gains en termes d'efficacité énergétique dans les transports. C'est un domaine qui connaît l'une des augmentations les plus rapides de la consommation d'énergie.

c). Pour le secteur de l'industrie : les mesures d'efficacité et de sobriété énergétique, indispensables dans le cadre de la transition énergétique, assurent d'importants potentiels de réduction de la consommation énergétique.

Cependant, et afin de mener une transition énergétique globale, il faut également envisager des transformations et une modernisation profondes de l'ensemble de nos infrastructures.

¹⁸ Programme national sur l'efficacité énergétique (2016-2030)

I.6. Classification des bâtiments efficace énergétiquement :

Suivant leurs niveaux de performances énergétiques, les bâtiments à basse consommation d'énergie peuvent être classés en trois familles: bâtiments performants, bâtiments très performants et bâtiments zéro énergie ou à énergie positive.

I.6.1. Bâtiments performants « basse énergie » :

Les bâtiments performants, souvent appelés bâtiments basse énergie se caractérisent principalement par une conception architecturale bioclimatique, une bonne isolation thermique (15 à 20 cm d'isolant), des fenêtres performantes, un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait, parfois associé à un puits climatique, un système de génération performant (pompe à chaleur, chaudière bois, chaudière à condensation...) et une attention particulière est portée à la perméabilité à l'air et aux ponts thermiques. On a également recours à des sources d'énergies renouvelables pour la production d'énergie, comme le solaire, l'air, la géothermie ou le bois.

-Les opérations les plus connues de ce type de bâtiments sont les labels Suisse MINERGIE.

I.6.2 Bâtiments très performants « Très basse énergie »

Il s'agit en général de bâtiments "passifs" dont le concept a été défini par le Dr. Wolfgang Feist de l'institut de recherche allemand Passivhaus (Passivhaus, 2007).

Un bâtiment passif est défini comme étant un bâtiment dans lequel l'ambiance intérieure est confortable tant en hiver qu'en été, sans devoir faire appel ni à un système conventionnel de chauffage ou de refroidissement.

Ils se caractérisent par une forte réduction des besoins de chauffage, conduisant souvent à supprimer le système de chauffage traditionnel. Le chauffage est alors assuré par le système de ventilation. Cet objectif peut être atteint grâce à une forte isolation thermique (30 à 40cm), une forte réduction de ponts thermiques et une très bonne étanchéité à l'air. De plus, les déperditions par ventilation sont réduites à travers un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait.

La ventilation double flux est parfois couplée à une installation de puits climatique afin de préchauffer l'air neuf et de protéger le central double flux des risques de givrage. Les apports gratuits fournis par le soleil, les occupants et les équipements sont pris en compte lors du dimensionnement du système de chauffage (Feist et al, 2005).

Pour assurer le confort thermique d'été, des solutions passives sont favorisées. L'air neuf est rafraîchi à l'aide d'un puits climatique et les apports solaires sont réduits à l'aide de protections solaires. De plus, le couplage surventilation nocturne - inertie thermique permet d'évacuer les apports internes accumulés durant la journée et de refroidir la structure et stocker ainsi de l'énergie afin d'éviter une surchauffe le lendemain.

La réduction des besoins énergétiques, tant pour le chauffage que pour le refroidissement, permet d'adopter des systèmes de production d'énergie spécifiques et efficace, combinant des sources d'énergie diversifiées, y compris des énergies renouvelables.

Suite au projet CEPHEUS, des labels de bâtiments passifs ont été créés en Allemagne et en Suisse. Le label Allemand s'appelle (Passivhaus, 2007) et le label Suisse (MINERGIE, 2007).

Les exigences de ces labels sont définies pour l'Europe centrale. Toute transposition dans un autre pays nécessite une étude préalable prenant en compte le contexte climatique et le mode de vie du pays, même si la méthodologie de conception et la physique des phénomènes restent les mêmes.

I.6-3 Bâtiment à énergie positive « zéro énergie »

Un bâtiment zéro énergie ou à énergie positive est défini comme étant un bâtiment qui produit autant ou plus d'énergie qu'il n'en consomme. Ces bâtiments sont la combinaison de bâtiments basse énergie ou passifs avec des toits solaires photovoltaïques et parfois thermiques.

Les besoins d'énergie pour le chauffage, le refroidissement et l'électricité sont réduits à travers une bonne conception de l'enveloppe et des équipements performants et économes. Le complément des besoins d'énergie est comblé par des sources d'énergie renouvelables comme le solaire photovoltaïque et thermique.



Fig. I.8 : Divers labels de performance énergétique

Source : site internet

I.7. Le certificat de performance énergétique (certificat PEB¹⁹):

Le certificat énergétique est un **document officiel** portant sur la performance énergétique d'un bâtiment (délivré en Europe mais pas encore en Algérie. Il est exprimé sous

¹⁹ PEB : Performance Energétique des Bâtiments.

forme d'une quantité de kWh par m² par an (la consommation du bâtiment Est exprimée en kilowattheure par mètre carré par an).²⁰

Ce chiffre est complété d'un label, afin de visualiser facilement cette performance.

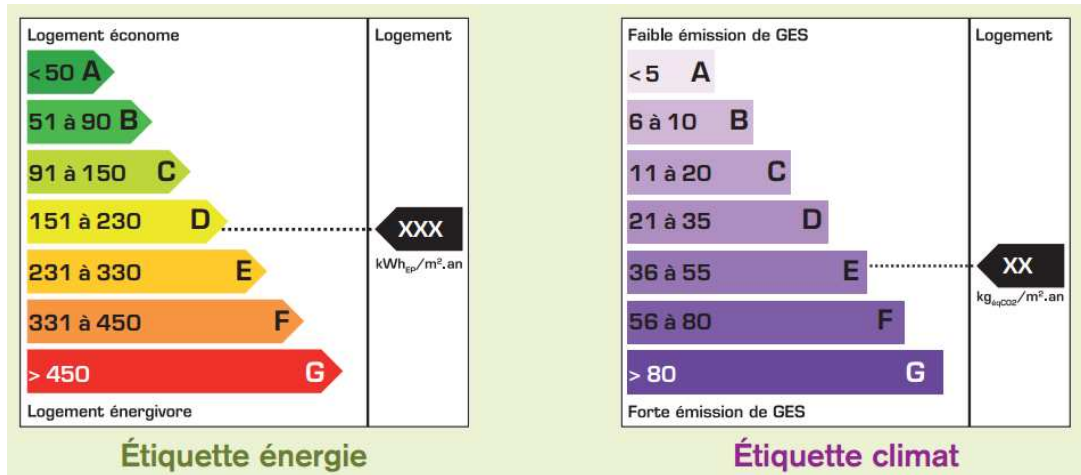


Fig. : 1.9 : Étiquettes de performance énergétique en France

Source : ADEME

Avec une valeur de $E_{cons}^{21} = 156,36 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$, l'habitat est classé à la D, moyen mais reste énergivore.

En moyenne, l'habitat en Algérie se situe à la D voir (figure ci-dessus), en consommant plus que 151 kWh/an pour le chauffage, climatisation, eau chaude sanitaire et éclairage.

I.8-Les labels de performance énergétique:

Dans les constructions neuves, les prescriptions minimales à respecter sont celles de la réglementation thermique en vigueur .Rien ne vous empêche d'aller au-delà des règles édictées, dans le cadre d'une démarche volontaire, notamment si vous souhaitez œuvrer pour l'environnement ou donner une valeur supplémentaire à votre bien. Des labels existent dans ce sens :

²⁰ KHARCHI Razika ; équipe bioclimatique, Division Solaire Thermique et Géothermie - CDER
L'efficacité énergétique dans le bâtiment . Recherche et développement. Article . 2013 .

²¹ **Econs** = énergie consommée.

Labels et réglementation en France		
Labels	Consommation conventionnelle	Conditions
Réglementation thermique (RT)	Consommation de référence	Exigée pour toutes les constructions neuves
HPE (haute performance énergétique)	Consommation de référence -10%	Consommation énergétique inférieure de 10% à la consommation de référence définie par la RT en vigueur
HPE EnR (Haute performance énergétique, énergie renouvelables)	Consommation de référence -10% +EnR	Exigence du niveau HPE avec au moins 50% de l'énergie employée pour le chauffage issue d'une installation biomasse ou d'un réseau de chaleur utilisant plus de 60 % d'énergie renouvelable.
THPE EnR Très Haute Performance énergétique	Consommation de référence -20%	Consommation énergétique inférieure de 20% à la consommation de référence définie par la RT en vigueur
THPE EnR (Très haute performance énergétique, énergie renouvelable)	Consommation de référence -30% +EnR	Consommation énergétique inférieure de 30 % à la consommation de référence définie par la RT en vigueur. et avec au moins une des exigences suivantes : -Au moins 50 % de la production d'eau chaude sanitaire est assuré par des panneaux solaires et plus de 50 % du chauffage et produit par un générateur utilisant la biomasse. -Au moins 50% de la production d'eau chaude sanitaire est assurée par des panneaux solaires et plus de 60 % du chauffage est produit par un réseau de chaleur utilisant des énergies renouvelables. -Au moins 50% de la production d'eau chaude sanitaire et du chauffage est assurée par des panneaux solaires -Bâtiment équipé d'un système de production d'électricité utilisant les énergie renouvelable , assurant une

		production annuelle de plus de 25 KWh/ M ² SHON ; -bâtiment équipé d'une pompe à chaleur rependant à des caractéristiques minimales ; Immeubles collectifs dont la production d'eau chaude est assurée à plus de 50% par des panneaux solaires.
BBC (Bâtiment basse consommation énergétique)	Consommation maximale de 50 KW hep/m ² /an	-Attribué aux bâtiments de logements neufs Consommation entre 40 et 75 KWhep/m ² / an selon la zone climatique et l'altitude
BBC Effinergie	Consommation maximale de 50 KW hep/m ² /an	Même condition d'attribution que le label BBC en intégrant un contrôle de perméabilité à l'air du bâtiment

Tableau I.4 ; Label et réglementation en France

Source : Thierry gallauziaux /David Fedullo : *Isolation thermique – comme un pro édition eyrolles mars 2011*

Conclusion :

Sans mesures immédiates, des milliers de nouveaux bâtiments seront construits sans aucune considération pour l'efficacité énergétique et des millions de bâtiments existants consommant plus d'énergie que nécessaire seront toujours présents en 2050. Agir maintenant implique de réduire leur consommation énergétique et de faire de réels progrès en faveur de la lutte contre le changement climatique.

A travers ce chapitre, nous constatons que l'Algérie doit faire beaucoup d'efforts et repenser le problème de l'énergie dans sa globalité afin de relever le déficit lié à l'efficacité énergétique dans le bâtiment en générale et l'habitat résidentiel en particulier.

En effet, des solutions existent pour aboutir à un habitat basse consommation énergétique.

Le prochain chapitre portera sur les solutions et les méthodologies existantes ainsi que les expériences de réhabilitation entreprise et les réglementations appliquées de l'efficacité énergétique.

Chapitre II

La réhabilitation thermique ou l'introduction du concept de l'efficacité énergétique dans l'habitat existant.

Introduction

Dans les années 1970, face à une croissance démographique et économique importante, la nécessité de construire rapidement des bâtiments pour tout usage a entraîné la perte de l'équilibre qui régnait entre l'homme et son habitat. Les conséquences se traduisent par la construction de bâtiments standardisés, inadaptés, énergivores et inconfortables. À l'heure où les défis énergétiques deviennent une priorité, il devient décisif non seulement de repenser notre façon de construire mais également de rénover un parc immobilier vétuste. Les solutions proposées par des démarches environnementales ou des standards de construction (par exemple : maison passive, Minergie, etc.) sont tout à fait intéressantes et le couplage avec des études de confort thermique les fortifie. L'objectif de proposer des habitations confortables et énergétiquement performantes est alors tout à fait accessible.

Dans ce chapitre, nous allons mettre en exergue les techniques et solutions utilisées dans le domaine de la réhabilitation thermique et évaluer la possibilité de leur application dans le contexte locale et leur adaptation aux techniques de construction en Algérie.

II.1 La notion du confort thermique :

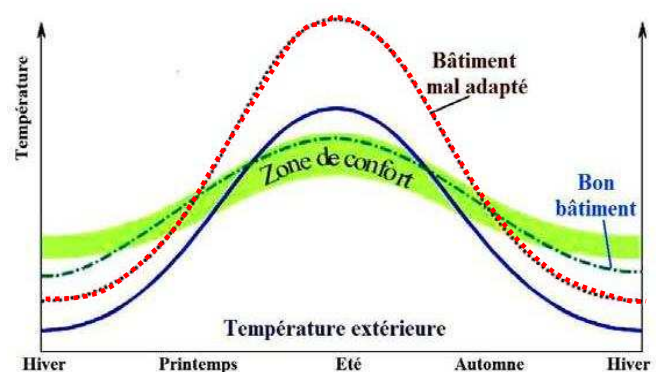
Le confort thermique est assez difficile à définir de façon précise car elle est très subjective.

Selon [ASHRAE²², 2004], Le confort thermique se définit comme la satisfaction exprimée à l'égard de l'ambiance thermique du milieu environnant.

D'après Vitruve²³, toute construction doit être confortable et saine. C'est en fait sa raison d'être. Elle doit protéger les occupants de l'environnement extérieur, et assurer un équilibre et une qualité agréable à l'intérieur qui dépend des conditions extérieures.

Le confort thermique est un état de bien-être relatif à la température ambiante. Il est subjectif et diffère d'une personne à une autre selon le métabolisme, le sexe, l'âge, l'habillement, l'activité produite..., ainsi que la zone climatique.

Fig II.1: Evolution des températures dans des bâtiments au cours de l'année
source ; N. Kadri et A. Mokhtar .



²² ASHRAE : American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers

²³ N. Kadri et A. Mokhtari , Contribution à l'étude de réhabilitation thermique de l'enveloppe du bâtiment , Revue des Energies Renouvelables Vol. 14 N°2 (2011) 301 – 311

Un bâtiment bien conçu garantit un confort nettement supérieur. Il ne surchauffe pas en été et profite des gains solaires pendant l'hiver. Tandis qu'un bâtiment inadapté à son climat comme le montre la courbe en pointillé rouge dans la figure ci-dessus, a tendance à **surchauffer** en saison **chaude** et être **glacial** en saison **froide**.

III.1.1 Principes de base :

Quelque soit l'environnement dans lequel il se trouve, l'Homme est une machine thermique qui doit maintenir sa température interne la plus constante possible grâce à des mécanismes de thermorégulation physiologique qui lui permettent de maintenir un bilan thermique équilibré.

Ainsi, à partir de ces réactions physiologiques perçues puis interprétées de façon subjective en faisant intervenir ses préférences psycho-socio-affectives individuelles, l'homme essaie de limiter l'amplitude des sensations de désagrément en développant des processus de régulation comportementale et adaptative.²⁴

L'environnement thermique est caractérisé par quatre grandeurs physiques :

- la température de l'air,
- la température de rayonnement,
- l'humidité et la vitesse de l'air.

Ces variables réagissent avec l'activité (Métabolisme) et la vêtue (habillement) du corps humain pour établir son état thermique et constituent ensemble les six paramètres de base des échanges thermiques entre l'homme et son environnement. Voir figure ci-après ;



Fig .II.2 : Echanges thermique entre l'homme et l'ambiance

(source : Le confort thermique , <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=10250>)

²⁴ IEPF institut de l'énergie et de l'environnement de la francophonie : le confort thermique dans les bâtiments

Mais au-delà de ces variables, la perception thermique d'un environnement peut être influencée par des variables physiologiques, psychologiques. Donc, la réponse de l'individu dans un environnement résulte de l'interaction entre ces différents mécanismes.²⁵

II.1.2 .Les différents types de déperditions :

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/°C).²⁶

a) Les déperditions surfaciques :

Ce sont les déperditions à travers les parois, qu'elles soient opaques (murs, toitures..,etc.) ou vitrées. Les déperditions surfaciques présentent 30 à plus de 80% des déperditions des bâtiments.²⁷

b) Les déperditions par les ponts thermiques :

Les ponts thermiques sont les points faibles de l'enveloppe qui permettent le passage des apports calorifiques. Principalement situés aux jonctions des parois entre elles), ils se trouvent également dans les parois elles-mêmes quand elles comportent des éléments de structures avec des matériaux peu isolants. Selon la technique constructive et le système d'isolation mis en œuvre, ces fuites de calories peuvent représenter de 5 à 40% des déperditions. (*Jean-Pierre Oliva et Samuel Courgey ,Op.Cit*)

c) Les déperditions par renouvellement d'air :

C'est les passages des apports calorifiques qui se fait par ventilation .il représente de 20 à 60% des déperditions totales.

²⁵ LAE ; SEMMAHI Samir, mémoire de magister, CONTRIBUTION METHODOLOGIQUE A LA CONCEPTION DES LOGEMENTS A HAUTE PERFORMANCE ENERGETIQUE (HPE) EN ALGERIE (Développement d'une approche de conception dans les zones arides et semi-arides) 16/06/2013.

²⁶ CNERIB .document technique réglementaire .réglementation thermique du bâtiment .juin 2011

²⁷ Jean-Pierre Oliva et Samuel Courgey, , *l'isolation Thermique* (22 mars 2010), Paris,,20 p.

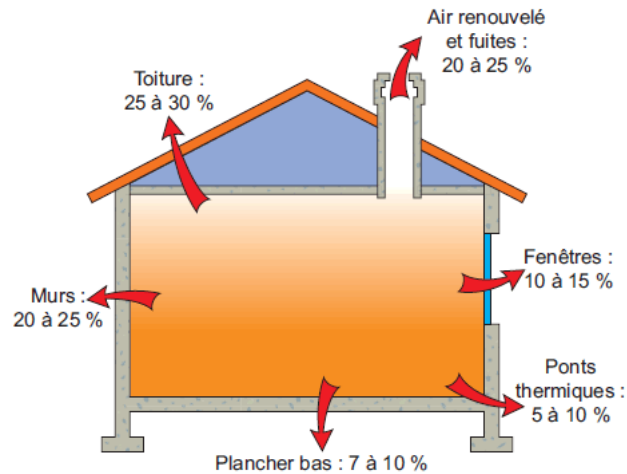


Fig.II.3 : Répartition des déperditions thermiques dans une maison mal isolée.

Source : <http://maison.architecteo.com/deperdition-thermique-maison.html>

II.2. La réhabilitation thermique:

D'après Joffroy, la réhabilitation est définie comme étant l'action d'améliorer un édifice en conservant sa fonction principale et en prolongeant sa durée de vie. En fait, elle ne concerne pas seulement le patrimoine historique connu, mais aussi le patrimoine immobilier ordinaire méconnu, c'est-à-dire les bâtiments sans qualités auquel il faudra en donner.²⁸

Dans cette définition, la réhabilitation thermique du bâtiment correspond donc à l'amélioration thermique de l'édifice notamment son enveloppe, car elle constitue un échangeur thermique entre l'intérieur et l'extérieur.

La réhabilitation thermique de l'enveloppe du bâti concerne:

-Les parois opaques verticales : et ce en renforçant l'isolation thermique, soit de l'intérieur ou de l'extérieur, selon les composants de la paroi et le style architectural de l'édifice pour ne pas défigurer la façade.

-Les planchers: Il s'agit d'isoler les planchers bas, donnant sur l'extérieur ou sur les locaux non chauffés, ainsi que le plancher terrasse.

-Les fenêtres: Elles sont les plus vulnérables aux déperditions calorifiques. Leurs améliorations thermiques permettent des économies d'énergie de l'ordre de 10 à 15 % (N. Kadri et A. Mokhtari .). Et cela par le remplacement des vitrages simples en vitrages isolants, et le redimensionnement des surfaces vitrées selon l'orientation et la zone climatique.

²⁸ N. Kadri et A. Mokhtari : Contribution à l'étude de réhabilitation thermique de l'enveloppe du bâtiment in *Revue des Energies Renouvelables Vol. 14 N°2 (2011) 301 – 311;juin 2011*

II.2.1-Problèmes fréquents et solutions efficaces à mettre en œuvres ;

L'audit énergétique de bâtiments a pour vocation d'analyser les problèmes énergétiques rencontrés et de trouver les solutions pertinentes permettant de les résoudre.

La solution la plus adaptée pour déterminer les causes d'un éventuel inconfort est de demander directement l'opinion des occupants. Ces enquêtes sur terrain sont basées sur des questionnaires et peuvent être couplées à des campagnes de mesures. Ces dernières permettent la détermination des données climatiques exploitables pour le calcul ou la détermination d'indices de confort. Des solutions techniques sont alors proposées.²⁹

- **Problème 1 : On note une hétérogénéité des températures de surface.**

La **thermographie infrarouge** est alors particulièrement adaptée : elle permet de déterminer les températures de surface et de déceler les éventuels défauts d'isolation à la source de l'inconfort. En excluant la présence d'un système de chauffage ou de climatisation par les parois, une mauvaise isolation peut créer des ponts thermiques importants et des températures de parois non uniformes. Le champ d'action est alors plutôt faible ; il consiste essentiellement en la sur isolation de la dite paroi. Si l'isolation est inexistante, la solution est évidemment de la réaliser.

Des revêtements de sol et des enduits sur les murs peuvent être une solution tout à fait appropriée. Outre l'isolation des parois opaques, la présence d'un simple vitrage crée un rideau froid. Le remplacement de ce type de vitrage est à l'heure actuelle une nécessité tant au niveau énergétique qu'au niveau de l'amélioration des conditions d'occupation.

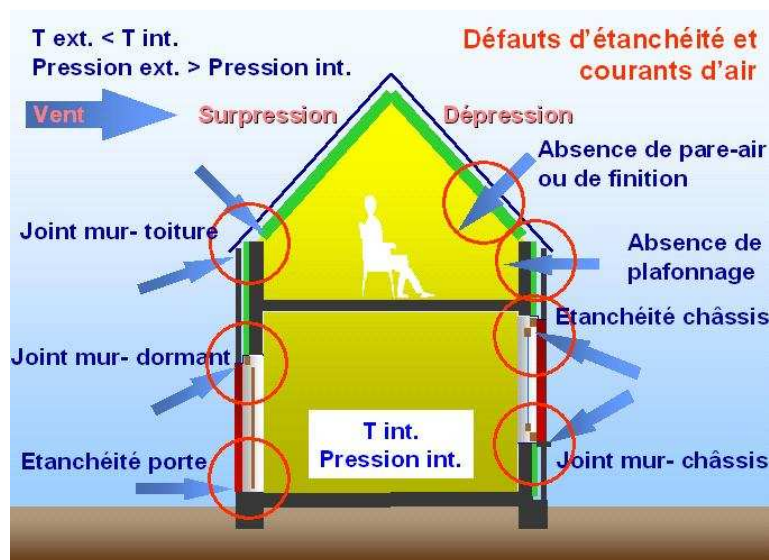


Figure II.3 : Défauts d'étanchéité et courants d'air dans les bâtiments.

(Source : <http://www-energie2.arch.ucl.ac.be/transfert%20de%20chaleur/3.5.htm>)

²⁹ IEPF : Institut de l'énergie et de l'environnement de la francophonie, le confort thermique dans le bâtiment, site internet ; file:///C:/Users/ASUS/Downloads/1099061%20(2).pdf

Un mauvais dimensionnement d'un système de chauffage ou de climatisation par rayonnement peut aussi induire des températures de parois inadaptées. Vérifier l'installation est alors indispensable pour corriger le dysfonctionnement.

- **Problème 2** : On mesure des **vitesses d'air** locales trop importantes (plainte des occupants).

Bien que ces courants d'air soient souvent causés par des systèmes énergétiques mal dimensionnés ou mal positionnés, il peut arriver que dans des bâtiments anciens, l'air extérieur pénètre par des fissures dans les murs ou les châssis des fenêtres. Une solution est d'évaluer la perméabilité à l'air par un « test de la porte soufflante » (*blower test door*) et pouvoir alors corriger les problèmes d'étanchéité.

- **Problème 3** : On mesure des **températures d'air** non adaptées et le questionnaire fait apparaître que les occupants ont chaud ou froid (localement ou non).

Un dysfonctionnement du système de régulation peut entraîner des surconsommations énergétiques et des températures inappropriées. La position du thermostat peut être à l'origine du problème : si ce dernier est situé dans un endroit bien ensoleillé, il induira une mauvaise régulation des pièces qui ne le sont pas et inversement. Le partitionnement du bâtiment en zones thermiques est alors une alternative.

Une autre solution a été initiée lors du projet *Smart Controls and Thermal Comfort (SCATs)*, coordonné par l'Université d'Oxford Brookes et financé par l'Union européenne. La théorie d'une consigne variable dépendant de la température moyenne mobile extérieure (moyenne pondérée des températures des jours précédents avec un poids d'autant plus important que le temps écoulé est court) permet de moduler les consignes de chauffage et de climatisation en fonction des conditions extérieures et du changement qu'elles sont en train de subir. Un tel concept permet de réaliser une excellente transition entre les différentes saisons.

- **Problème 4** : On mesure des **humidités** extrêmes.

Une humidité excessive peut avoir des conséquences catastrophiques sur le bâtiment et la santé : développement de moisissures, air malsain, asthme, etc. La cause est souvent liée à un mauvais dimensionnement du système de ventilation : ce dernier insuffle des débits trop faibles par rapport au taux d'occupation ou aux dégagements de certains process (cuisson, séchage, etc.). La solution est de réévaluer le dimensionnement du système de ventilation en augmentant les débits ou en imposant une régulation hydro réglable ou fonction de l'occupation.

Problème 5 : On note des problèmes de **surchauffe** dans le bâtiment.

Avant de se préoccuper du système de climatisation, s'il y en a un, il paraît plus judicieux de mettre en œuvre des dispositions passives de rafraîchissement et surtout de limiter les apports : protections solaires (réglables individuellement), limitation des puissances dissipées par les équipements électriques, la liberté laissée aux occupants d'adapter leur tenue

vestimentaire, préférer une ventilation traversant qu'un système de climatisation, adopter une sur ventilation nocturne...

II.2.2. La réhabilitation thermique en Algérie :

Le boom colossal qu'a connu l'Algérie ces dernières années en matière de constructions résidentielles notamment les programmes quinquennaux 2005-2009 et 2010-2014 qui prévoient des milliers de logements et dont la quantité a failli à la qualité. Le développement de ces logements s'est nécessairement accompagné d'un accroissement important des besoins énergétiques en matière de chauffage, de climatisation et d'électricité; car la généralisation d'un nouveau confort moderne repose sur une grande consommation d'électricité, ce qui engendre souvent des coupures d'électricité dans les heures de pointe dues à la consommation maximale.

De ce type d'habitat, découle les problèmes d'inconfort des ambiances intérieures dus à la précarité énergétique de l'enveloppe de la bâtisse: ils sont hyper consommateurs en énergie, très froids en hiver et très chauds en été.

A travers l'APRUE, le secteur du bâtiment a entrepris, plusieurs actions entrant dans le programme national de maîtrise de l'énergie (PNME 2007- 2011 et PNME 2010-2014)) et dans le cadre de la politique énergétique nationale. Il est à noter que parmi les cinq programmes phares pilotés par l'APRUE qui sont tous centrés sur l'utilisation rationnelle de l'énergie, l'un concerne le secteur du bâtiment, il s'agit, du programme ECO .BAT .³⁰

II.2.2.1 Le programme ECO. BAT :

Il vise à apporter le soutien financier nécessaire à la réalisation de logements assurant une optimisation du confort intérieur en réduisant la consommation énergétique liée principalement au chauffage et à la climatisation à travers notamment l'introduction de l'isolation thermique des bâtiments qui permettront de réduire la consommation énergétique d'un logement d'environ 40%.

L'APRUE a déjà lancé dans le cadre du PNME 2007-2011, la réalisation de 600 logements à haute performance énergétique et devait réaliser 3 000 autres pour le PNME 2010-2014. Ces deux projets sont lancés en partenariat entre le ministère de l'Énergie et des Mines et le ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme.

³⁰ APRUE, L'amélioration de l'efficacité et les politiques énergétiques des pays arabes.
Site internet : <https://portail.cder.dz/spip.php?article661>

II.2.2 Autres programmes et actions :

L'APRUE et la BDL (banque de développement local) envisagent de lancer un crédit bonifié pour financer la réhabilitation thermique des bâtiments et offrir des aides financières avantageuses aux particuliers qui voudraient améliorer l'efficacité énergétique de leur logement.

II.3 L'isolation thermique dans le bâtiment :

La performance énergétique d'une habitation dépend de nombreux critères dont l'isolation thermique est l'un des principaux. Or l'isolation thermique passe aussi par le choix des matériaux, un système de ventilation permanent et efficace, la prise en compte de l'étanchéité à l'air ou encore la mise à profit de l'inertie thermique, dans le neuf autant que pour une rénovation, une isolation thermique adaptée, efficace et bien réalisée entraînera d'importantes économies, notamment pour le chauffage et la climatisation, le confort s'en trouvera amélioré en toutes saisons.³¹

II.3.1 Le principe de l'isolation thermique ;

L'isolation est un travail qui doit être réalisé avec soin. Un isolant inadapté ou mal posé, une paroi non traitée affaiblissent les performances de l'ensemble de l'isolation.

L'isolation concerne les murs extérieurs, les combles et les sols mais aussi les parois (mur, cloison) ou plancher en contact avec une cave, un garage ou un escalier desservant ces locaux. En règle générale, on doit isoler toutes les parois en contact avec l'extérieur ou des locaux non chauffés.

Pour un appartement en immeuble collectif, les murs en contact avec des circulations communes non chauffées sont aussi pris en compte. Tout l'espace habitable doit constituer un ensemble isolé, indépendamment des autres locaux. Si on le désire, la cave et le garage peuvent aussi être isolés en cas d'occupation régulière de ces locaux en période froide (atelier dans le garage par exemple).

L'isolation des sols sur terre –plein peut poser un problème dans un projet de rénovation. En effet, la seule possibilité d'isolation implique une réfection de ce sol et la pose d'un isolant sous la chape. Les déperditions par le sol représentent à peu près 15% des déperditions totales de l'habitation. Il est donc utile de comparer le surcoût occasionné par la réfection du sol par rapport au coût des déperditions.

On dispose sur le marché d'une large gamme de produits adaptés à toutes les situations.

II.3.2 Type d'Isolations :

Il existe quatre grands principes d'isolation répartis en deux catégories :

³¹ Thierry Gallauziaux /David Fedullo : Isolation thermique – comme un pro édition Eyrolles mars 2011

A-Isolation rapportée :

- **Isolation intérieure :** La pose des isolants est réalisée à l'intérieur de l'habitation au niveau des murs extérieurs, des combles et des sols.
- **Isolation extérieure :** est réalisée par un isolant posé sur tous les murs extérieurs, recouverts d'un enduit ou d'un bardage. La toiture peut également être isolée par le même procédé.

B-Isolation répartie : le matériau utilisé pour la construction des parois est isolant.

C-Isolation par remplissage d'ossature : quelle que soit la position du matériau isolant dans la paroi, la résistance thermique est la même.

Cependant, les performances en termes d'inertie thermique seront très différentes selon que l'isolant est placé à l'intérieur ou à l'extérieur. Il en est de même pour la problématique des ponts thermiques et de la condensation.

Nous allons nous intéresser au deux premiers types d'isolation rapportée, car utilisés dans la réhabilitation thermique.

Un tableau comparatif des avantages et inconvénients de chaque type d'isolation est établie :

	Isolation par l'intérieur	Isolation par l'extérieur
Avantages	-Coût raisonnable ; -Habillage impeccable de la paroi intérieure ; -Simple mise en œuvre ; -Préserve l'enveloppe .	-Pas de risques de condensation interne ; -Risques de dégradation de la maçonnerie très faibles ; -Supprime pratiquement tous les ponts thermiques ; - Le confort intérieur est amélioré grâce à l'inertie thermique. -La maçonnerie est protégée des intempéries et des variations de température, ce qui augmente sa pérennité. -Absence de diminution des surfaces habitables et absence de dérangement dû aux travaux intérieurs.

Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> -Diminution de la surface habitable ; - L'inertie thermique du mur n'est pas mise à profit ; - Les ponts thermiques sont nombreux et difficiles voire impossible à éliminer ; - Risques de condensation au cœur des parois. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût très élevé ; -Modifie l'aspect extérieur ; -Fragilité accrue de la façade ; -L'entretien peut également être plus important, par exemple avec des bardeaux en bois. -Mise en œuvre difficile.
----------------------	--	--

Tableau II.1 : Avantages et inconvénients de chaque type d'isolation.

Source ; auteur.

En réhabilitation, la technique de l'isolation par l'extérieur connaît à juste titre un grand succès, car les travaux peuvent être effectués sans intervention à l'intérieur des locaux. Une solution adaptée pour une intervention en milieu habité.

II.3.3 Les ponts thermiques :³²

L'architecture d'une construction comporte des points où l'isolation présente des faiblesses ou même s'avère inexistante. Ces points se situent généralement au niveau des changements de plans (vertical / horizontal) ou des changements de paroi (mur /toiture ou mur / fenêtre).

On appelle ces points faibles ponts thermiques **linéaires**.

Un autre type de ponts thermiques , dits **intégrés ou ponctuels** , est souvent généré par les éléments de fixation des isolants ou par des ossatures secondaires (ossature métallique d'une isolation par l'intérieur , poutrelle en béton d'un plancher à hourdis , chevilles de fixation métalliques).Ils doivent être pris en compte pour le calcul du coefficient de transmission thermique U de la paroi .

La conséquence des ponts thermiques est double, ils sont une source importante de perte de chaleur (jusqu'à 40%) et peuvent engendrer des désordres dus à la condensation.

La réglementation thermique et les labels indiquent des valeurs de ponts thermiques à ne pas dépasser.

Les ponts thermiques se produisent en divers points de la construction dans les parois en contact avec l'extérieur ou avec des locaux non chauffés. Les plus courants se situent à la jonction entre la façade et :

- Le plancher bas,
- Le plancher intermédiaire,

³² Thierry Gallauziaux, David Fedullo ,isolation thermique , Eyrolles 2011.Page 57

- La dalle de balcon,
- La toiture en pente en en terrasse,
- Les murs de refend,
- Les ouvrants.

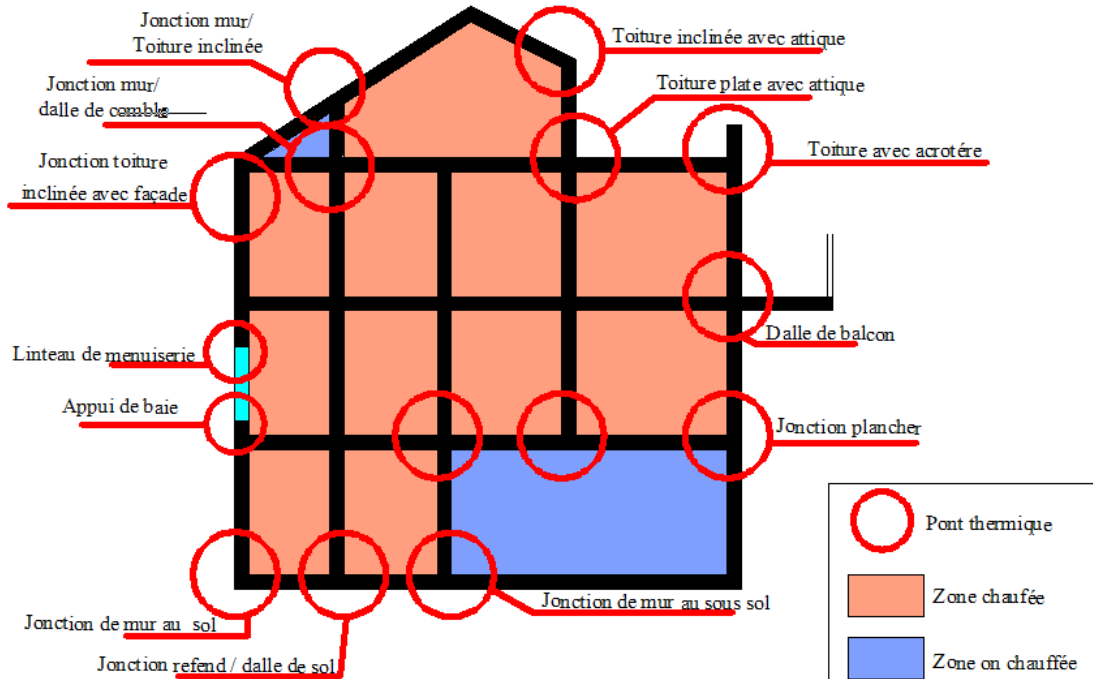


Fig.II.4 : Vue d'une construction coupe verticale ; localisation des ponts thermiques

Source ; Thierry Gallauziaux, David Fedullo Op Cit .P 60

II.3.4. Le choix de l'isolant :

Les matériaux de structure courants présentant des performances médiocres, largement insuffisantes pour respecter la réglementation thermique, le recours à des matériaux isolants s'impose dans la construction.

Pour réaliser une isolation thermique ou acoustique, différentes solutions et matériaux sont disponibles, selon les cas, construction ou rénovation .Lorsque l'isolation est réalisée indépendamment de la structure porteuse du bâtiment, elle est considérée comme **rapportée**.

Lorsque les éléments constructifs porteurs sont également isolants, l'isolation est dite **répartie**, ce qui implique des matériaux et des mises en œuvre différents de l'isolation rapportée .Ces deux modes d'isolation peuvent se combiner afin d'atteindre des performances élevées.

Les critères de choix d'un produit d'isolation dépendent de ses performances, de son épaisseur, de son domaine d'emploi, de son emplacement dans la construction, de son prix, de ces caractéristiques environnementales de sa disponibilité.

II.4.Aspect réglementaire du confort thermique en Algérie

Afin de réglementer la conception et l'exécution des bâtiments en Algérie, une série de Documents Techniques, on été élaborés dès 1997 par le Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment (CNERIB).

Ces documents définissent les méthodes permettant de vérifier si les solutions techniques adoptées correspondent bien aux exigences énoncées dans les textes réglementaires et législatifs , et précisent les principes généraux au cours de l'élaboration des projets de bâtiments.

En l'an 2000, ces DTR ont fait l'objet d'un décret portant sur la réglementation thermique dans les bâtiments neufs en application à la loi relative à la maîtrise de l'énergie adoptée le 28 juillet 1999. L'application de la réglementation thermique a pris effet dès 2005 et devait permettre de réduire de 30 % la consommation d'énergie des bâtiments neufs, hors poste climatisation. Dans cette optique, un décret exécutif a été adopté en 11 janvier 2005 fixant les règles spécifiques d'efficacité énergétique applicables aux appareils fonctionnant à l'électricité, aux gaz et aux produits pétroliers.

Toutefois le bâti existant et sa réhabilitation thermique, a été négligé malgré sa part importante dans le parc de logement.

II.4.1. Le D.T.R. C 3.2 : Règles de calcul des déperditions calorifiques

Conçu pour réduire de 25 % la consommation de l'énergie pour le chauffage des logements, ce document approuvé par arrêté ministériel, fixe les déperditions de référence à ne pas dépasser ainsi que les conventions de calcul pour le dimensionnement des installations de chauffage.

Les objectifs recherchés par les concepteurs du D.T.R. C 3-2 sont :

- La détermination des déperditions calorifiques des bâtiments ;
- La vérification de la conformité des bâtiments à la réglementation thermique ;
- Le dimensionnement des installations de chauffage des bâtiments ;
- La conception thermique des bâtiments.

Les déperditions calorifiques d'un bâtiment, telles que présentées dans le D.T.R. C3-2, sont :

- Déperditions surfaciques par transmission à travers les parois
- Déperditions surfaciques par transmission à travers les parois en contact avec le sol
- Déperditions surfaciques par transmission à travers les parois en contact avec des locaux non chauffés
- Déperdition linéique à travers les ponts thermiques.
- Déperdition par infiltration et renouvellement d'air.

II.4.2 Le D.T.R. C 3.4 : Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments

Le DTR C 3.4 édité par le CNERIB a pour objet de fixer les méthodes de détermination des apports calorifiques des bâtiments ainsi que la méthode de vérification de la conformité à la réglementation thermique d'été des bâtiments. Il s'applique à la plupart des locaux, entre autres ceux à usage d'habitation, d'hébergement, de bureaux, d'enseignement, d'accueil, de réunion, de vente, de restauration, artisanal, etc.

Les apports calorifiques d'un bâtiment, tels que présentés dans le D.T.R. C 3-4, sont répartie en trois familles :

- Par introduction d'air extérieur (débit d'air neuf et débit d'air du aux infiltrations).
- Apports de chaleur internes (gains dus : à l'évaporation, à l'éclairage, aux appareils à gaz, aux machines électriques, aux occupants)
- A travers les parois opaques.

II.5. Exemple d'étude de réhabilitation thermique :

L'exemple choisi est un immeuble d'habitation situé à Argenteuil en France, dont l'audit énergétique a été effectué au mois de novembre 2013 par un bureau d'étude de contrôle thermique spécialisé dans l'amélioration énergétique des bâtiments existants.

Il nous a été fourni par URBANIS ; agence régionale de paris, Opération Habitat Qualité Grand Paris.

Cet exemple contient l'étude des possibilités de rénovation thermique et d'amélioration des Performances énergétiques du bâtiment de la copropriété Tour ANGELE K, à Argenteuil. Il s'agit d'un bâtiment datant de 1968 en R+13, constitué principalement d'appartement de type 3 pièces et 4 pièces disposant de 52 logements avec une surface habitable de 3817 m².

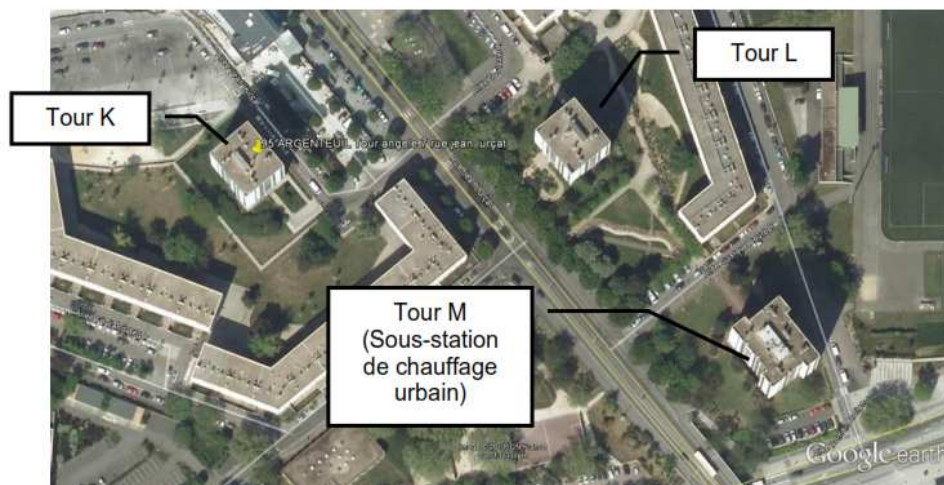


Fig.II.6 : Vue aérienne du quartier montrant les bâtiments collectifs de la Copropriété

Ces bâtiments font partie de l'ASL Angèle, constituée de 3 bâtiments similaires, mais distants de plusieurs centaines de mètres et disposant pourtant d'un seul réseau de chauffage à partir d'une unique sous-station de chauffage urbain (réseau de chaleur de la ville d'Argenteuil).

II.5.1 La réglementation thermique RT 2012 en France

Les orientations retenues à l'issue des tables rondes du Grenelle de l'environnement à l'automne 2007 ont amorcé la mutation écologique de la France. La mise en œuvre des comités opérationnels a permis de définir les voies, moyens et conditions requis pour une entrée en vigueur des conclusions du Grenelle notamment le renforcement de la réglementation thermique 2012 pour tous les types de bâtiments qui y sont soumis.

L'ensemble de ce travail sur l'orientation énergétique de la France s'est traduit concrètement par le vote des lois Grenelle I et II. Ces deux lois servent désormais de socle pour l'élaboration de l'ensemble des mesures nécessaires à la mise en place de la politique énergétique de la France, et notamment les principes de la RT 2012.

II.5.1.1 Trois exigences de résultats pour respecter la RT 2012

Les exigences de résultats imposées par la RT2012 sont de trois types :

- **L'efficacité énergétique du bâti :**

L'exigence d'efficacité énergétique minimale du bâti est définie par le coefficient «Bbiomax» (besoins bioclimatiques du bâti). Cette exigence impose une limitation simultanée du besoin en énergie pour les composantes liées à la conception du bâti (chauffage, refroidissement et éclairage), imposant ainsi son optimisation indépendamment des systèmes énergétiques mis en œuvre.

- **La consommation énergétique du bâtiment :**

L'exigence de consommation conventionnelle maximale d'énergie primaire se traduit par le coefficient « Cepmax », portant sur les consommations de chauffage, de refroidissement, d'éclairage, de production d'eau chaude sanitaire et d'auxiliaires (pompes et ventilateurs). Conformément à l'article 4 de la loi Grenelle 1, la valeur du Cepmax s'élève à 50 kWh/(m².an) d'énergie primaire, modulé selon la localisation géographique, l'altitude, le type d'usage du bâtiment, la surface moyenne des logements et les émissions de gaz à effet de serre pour le bois énergie et les réseaux de chaleur les moins émetteurs de CO₂. Cette exigence impose, en plus de l'optimisation du bâti exprimée par le Bbio, le recours à des équipements énergétiques performants, à haut rendement.

- **Le confort d'été dans les bâtiments non climatisés**

A l'instar de la RT 2005, la RT 2012 définit des catégories de bâtiments dans lesquels il est possible d'assurer un bon niveau de confort en été sans avoir à recourir à un système actif de refroidissement. Pour ces bâtiments, la réglementation impose que la température la plus chaude atteinte dans les locaux, au cours d'une séquence de 5 jours très chauds d'été n'excède pas un seuil.

II.5.1.2 En complément : quelques exigences de moyens³³

Pour garantir la qualité de mise en œuvre :

- Traitement des ponts thermiques
- Traitement de l'étanchéité à l'air, avec test de la « porte soufflante » obligatoire dans le collectif.

Pour garantir le confort d'habitation :

- Surface minimale de baies vitrées

Pour accélérer le développement des énergies renouvelables :

- Généralisation en maison individuelle

Pour un bon usage du bâtiment :

- Mesure ou estimation des consommations d'énergie par usage
- Information de l'occupant

Pour une qualité énergétique globale :

- Production locale d'énergie non prise en compte au-delà de l'autoconsommation (12kWhEP/m²/an, comme aujourd'hui dans le label « BBC-Effinergie³⁴ »)

II.5.1.3 La réglementation thermique dans l'existant :³⁵

La réglementation thermique des bâtiments existants s'applique aux bâtiments résidentiels est tertiaires existants.

L'objectif général de cette réglementation est d'assurer une amélioration significative de la performance énergétique d'un bâtiment existant.

Les mesures réglementaires sont différentes selon l'importance des travaux entrepris, la surface et la date de construction du bâtiment, on distingue la **RT existant globale** et la **RT existant par élément**.

³³ Ministère de l'écologie, de l'énergie et du développement durable et de la mer : Réglementation thermique « Grenelle de l'environnement 2012 » 06 juillet 2010, site internet : http://www.rtbatiment.fr/fileadmin/documents/RT2012/06_07_2010_-_generalisation_des_batiments_a_basse_consommation.pdf

³⁴ Bâtiment basse consommation. Label de performance énergétique.

³⁵ Ministère de l'environnement de l'énergie et de la mer ; bâtiment et ville durable 03 mars 2014 <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Chapitre-II-La-RT-existant-globale.html>

a) RT existant globale :

Pour les rénovations de bâtiments de plus de 1000 m², achevés après 1948, la réglementation définit un objectif de performance globale pour le bâtiment rénové. C'est la RT global qui s'applique depuis le 1^{er} avril 2008, elle impose une performance énergétique d'ensemble.

b) RT existante pat élément :

Pour tous les autres cas de rénovation, la réglementation définit une performance minimale pour l'élément remplacé ou installé. Ce second volet de la RT est applicable (en France métropolitaine) pour les marchés ou les devis acceptés à partir du 1er novembre 2007.

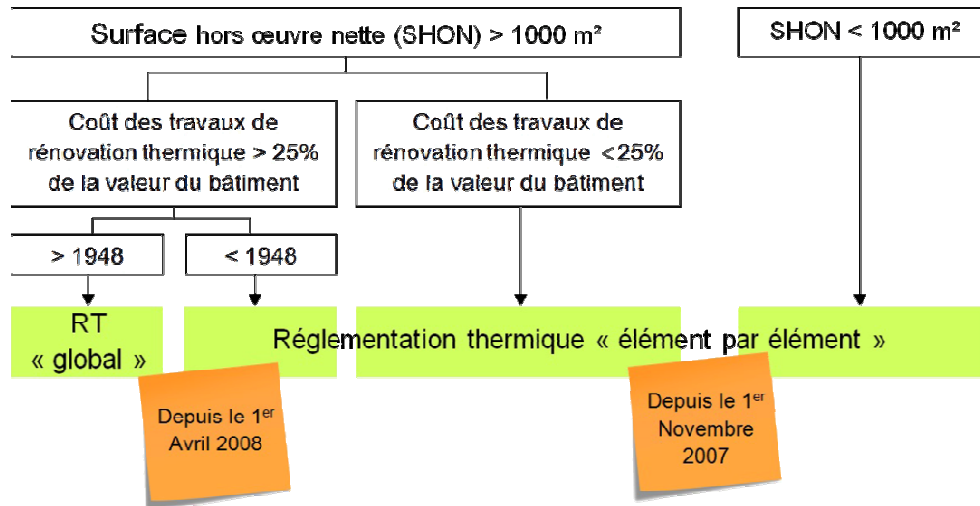



Fig II.5 : Exigences réglementaires pour la rénovation énergétique des bâtiments.
 Source : Ministère de l'environnement de l'énergie et de la mer ; bâtiment et ville durable

II.5.2 Description du bâti : état et composition

Paroi ou élément	Description	Illustration
Toitures terrasses :	- Toiture terrasse typiques des modes constructifs des années 1960 : Isolation thermique soit par 4 cm de mousse polyuréthane, soit par 10 cm de béton cellulaire, sous étanchéité bitumineuse avec gravillon de protection.	

<p>Murs extérieurs :</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Structure porteuse du bâti de type poteau/poutre/plancher en béton armé. - paroi en brique de terre cuite perforée, 2 rangées séparées par 1 ou 2 cm de lame d'air, finition par un enduit ciment d'environ 5 cm d'épaisseur, ou par une mosaïque en allège de fenêtre. - Pas de matériaux dit isolant thermique. - Des traces noires de moisissures résultant de pont thermique sont régulièrement visibles à l'intérieur des logements. 	 
<p>Fenêtres, portes fenêtres SIMPLE VITRAGE: (~40%)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - A l'origine du bâtiment, les fenêtres sont à simple vitrage sur menuiserie bois, $U_w \sim 4,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. - Très déprédatives et peu étanches à l'air. Sensation d'inconfort (sensation de paroi froide,...). 	
<p>Des fenêtres et portes fenêtres rénovées en DOUBLE VITRAGE : (~60%)</p>	<p>Nous estimons que 60% des ouvertures ont été rénovées en double vitrage à différentes époques.</p> <p>En général ces doubles-vitrages ont une lame d'air variant de 10 à 16 mm pour les plus récents et les plus performants. Les menuiseries sont principalement en PVC (ou métal pour les baies).</p> <p>On considérera une performance moyenne de $U_w \sim 2,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.</p>	<p><i>Baie vitrée séjour, rénovée en double vitrage</i></p>  <p><i>Fenêtre de chambre rénovée en double vitrage PVC.</i></p>



	Ces fenêtres sont en général mieux étanches à l'air même si des défauts peuvent subsister.	
Occultation:	- A l'origine, des volets pliants en bois ont été posés sur certaines fenêtres des chambres. Puis certains copropriétaires ont parfois installé des volets roulants, ou d'autres volets en PVC.	
Plancher bas sur cave	- Dalle béton armé, faiblement isolée en sous-face par environ 2 cm de polystyrène et 3 cm d'héraklith. - Le plancher bas de la zone chauffée donne sur le niveau entresol, considéré en première approximation comme un local non chauffé. Cependant de nombreux et grands soupiraux ventilent de façon importante ce local, qui peut alors s'approcher d'un espace extérieur.	

Tableau. II.2 : Etat et composition de la tour Angel K située à Argenteuil.

Source : BET-ECIC

II.5.3. Description du système de ventilation naturelle :

La ventilation est naturelle : elle présente plusieurs systèmes pour un même appartement. On parle d'aération naturelle pièce par pièce. Le flux d'air est non traversant. Chaque pièce est ventilée :

- Soit par tirage thermique sur conduit « shunt »³⁶ (les WC dans notre cas), soit par grille haute et basse sur l'extérieur (les cuisines).
- Soit par ouvertures des fenêtres pour les pièces sèches et les pièces humides munies d'une fenêtre (les salles de bains).

On peut également considérer les aérations par défaut d'étanchéité à l'air des ouvertures, en particulier les plus anciennes.

³⁶ Conduits de fumée ou d'aération maçonnés

Nombres d'occupants sont amenés à boucher leurs grilles de ventilation en hiver afin d'améliorer leur confort thermique. C'est le taux d'humidité et la qualité hygiénique de l'air intérieur qui peut alors se dégrader (d'où l'apparition de noirceurs de moisissures au niveau des ponts thermiques. Il en va alors de la santé des occupants. Néanmoins, boucher les entrées d'air basses est compréhensible, car la ventilation naturelle par tirage thermique augmente en hiver, et l'inconfort avec.

Pour les conduits « shunt », les rez-de-chaussée notamment peuvent se retrouver sur-ventilés en hiver, alors que les étages élevés ne seront que peu ou pas ventilé en mi saison (température intérieur = température extérieur).

Lorsque les fenêtres sont anciennes, le renouvellement d'air se fait par les défauts d'étanchéité à l'air. Or lorsque l'on rénove avec des fenêtres bien étanches, il est difficile de garantir un renouvellement d'air hygiénique suffisant pour la bonne qualité de l'air intérieur. Repenser le système de ventilation s'impose alors.

Ces ventilations naturelles sont très tributaires des conditions climatiques (écart de température, vent,...).

Il n'y a donc aucune maîtrise des flux et des débits de renouvellement d'air du bâtiment. Les pertes thermiques par renouvellement d'air seront donc importantes.



A-Grille haute



B- Grille basse



C-cheminée de conduit « Shunt » sur terrasse

Fig. II.7 : Grilles hautes et basses sur WC .

(Source : BET-ECIC)



A-Grille haute (en façade)



B-Grille basse (porte cellier) des cuisines.

Fig. II.8 :Grilles hautes et basses des cuisines .

(Source : BET-ECIC)

II.5.4 Bilan énergétique des consommations collectives de chauffage et d'Eau Chaude Sanitaire :

Le présent bilan énergétique a été réalisé à partir de :

-L'historique des consommations réelles d'énergie, de 2010 à début 2013 (3 ans et demi), pour l'ensemble de l'ASL, auquel on applique la clé de répartition correspondante à la tour K.

La notation type DPE³⁷ obtenue pour la tour K de la résidence Angèle, à partir des consommations réelles de chauffage urbain sur 3 ans (2010-2011-2012), pour le chauffage et la consommation d'eau chaude sanitaire (ECS) estimée est :

- Energie primaire : 229 kWh_{ep}/m²/an / tranche D de l'étiquette énergétique (de 150 à 230 kWh_{ep}/m²/an)

³⁷ Diagnostic de performance énergétique

- Gaz à effet de serre : 36 kg équivalent CO₂/m²/an / tranche D (de 21 à 35 kg éq.CO₂/m²/an).

Les consommations de chauffage sont essentiellement dues à l'absence d'isolation thermique des parois, à un système de ventilation peu performant (naturelle, aléatoire,...) et à des fenêtres en grande partie peu performantes.

En l'absence de données sur les consommations d'eau chaude sanitaire, elles sont estimées à 27 m³ par an et par logements (ratio moyen généralement constaté).

CONSUMMATIONS ENERGETIQUES (EN ENERGIE PRIMAIRE) POUR LE CHAUFFAGE, LA PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE ET LE REFROIDISSEMENT		ÉMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE (GES) POUR LE CHAUFFAGE, LA PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE ET LE REFROIDISSEMENT	
Consommation conventionnelle : kWh _{EP} /m ² .an		Estimation des émissions : t _{eqCO2} /m ² .an	
Logement économe	Logement	Faible émission de GES	Logement
≤ 50 kWh A		≤ 5 kg A	
51-90 kWh B		6-10 kg B	
91-150 kWh C		11-20 kg C	
151-230 kWh D		21-35 kg D	
231-330 kWh E	← 229 (D)	36-55 kg E	← 36 (D)
331-450 kWh F		56-80 kg F	
> 450 kWh G		> 80 kg G	
Logement énergivore		Forte émission de GES	

Fig. II.9 : Etiquette Energétique type DPE sur 3 ans, 2010 à 2012 de la tour Angèle K.
Source : BET-ECIC

Cette consommation pourrait être nettement plus basse en améliorant les performances du bâti (isolation,...), et des installations, afin de réduire les besoins et d'améliorer les rendements. De plus, le prix des énergies augmentant régulièrement, les charges seront de plus en plus élevées. Il est donc important d'adapter les bâtiments de la résidence aux enjeux financiers et énergétiques d'avenir en les rendant moins « énergivores ».

II.5.5 Amélioration de la performance énergétique :

II.5.5.1 Déperditions actuelles de l'enveloppe :

Un bilan des déperditions thermiques a été réalisé pour l'état actuel de la résidence, à partir des compositions des parois, des ouvertures, et des hypothèses sur la ventilation. Le graphique suivant donne la répartition des pertes thermiques pour chaque poste de déperdition du bâti.

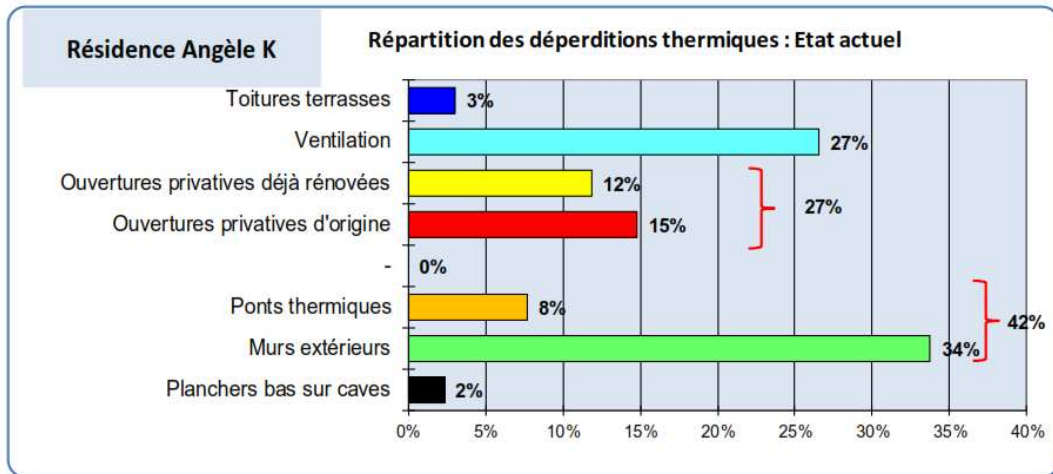


Fig : II.10 : Répartitions des déperditions thermiques de l'enveloppe de la tour K.

Source : BET-ECIC

Une analogie peut être faite entre la répartition des déperditions du graphe ci-dessus et les causes des besoins en chauffage.

Il apparaît clairement que les murs, le renouvellement d'air, et les fenêtres représentent les pistes majeures d'amélioration pour dégager des économies d'énergie significatives. Cependant, les fenêtres ont souvent été rénovées à différentes périodes et avec du matériel de performances et de qualités diverses. Cela représente déjà une première étape dans une démarche d'amélioration énergétique.

II.5.5.2 Etablissement des scénarios et évolution des déperditions :

Trois scénarios d'amélioration thermique, sous forme de bouquets de travaux, sont envisagés dans cette étude. Ils sont hiérarchisés selon les performances, les économies d'énergie, et les améliorations du confort qu'ils permettent, mais également selon les priorités et la faisabilité en fonction de l'état actuel du bâti et le niveau d'investissement nécessaire.

Bouquet 1 : Sur des parties communes. Création d'une sous-station de chauffage urbain propre à la tour K + Isolation par l'extérieur des murs et de la toiture terrasse (minimum RT et CEE)

La sous-station permet d'éviter des pertes de réseaux importantes qui existent dans le réseau actuel (sous-station actuelle éloignée, tour M). L'isolation « minimale » prévue permet déjà des économies d'énergies, et de supprimer la plupart des ponts thermiques. Cependant, les performances de l'enveloppe thermique du bâtiment restent hétérogènes en l'absence de rénovation des fenêtres.

Bouquet 2 (Retenu avec architecte) : nouvelle sous-station + amélioration de la ventilation naturelle hygroréglable + isolation par l'extérieur optimale des murs, de la toiture terrasse et du plancher bas du Rez-de-chaussée + ouvertures privatives anciennes passées en double-vitrage.

Ce sont principalement l'isolation des parois et les fenêtres double-vitrage qui permettent les économies d'énergie. Le renouvellement d'air même s'il est amélioré (meilleur étanchéité, et flux mieux régulé) restent un poste de déperditions importants qui pourra être amélioré à l'avenir. C'est le scénario mis en avant par l'architecte.

Bouquet 3 : Reprise du scénario 2 + rénovation intégrale des ouvertures en doubles vitrages performants ($U_w < 1,7 \text{ W/m}^2.K$) + ventilation mécanique contrôlée hygroréglable à flux traversant avec des caissons individuels.

Ce scénario complet permet de traiter la presque totalité des déperditions des bâtiments de façon homogène. Même si c'est le plus ambitieux présenté dans cet audit, il ne doit pas être écarté a priori car il ne présente pas de difficultés techniques majeures ou d'innovations technologiques majeures que seraient « expérimentales ». Ce sont des systèmes déjà couramment utilisés.

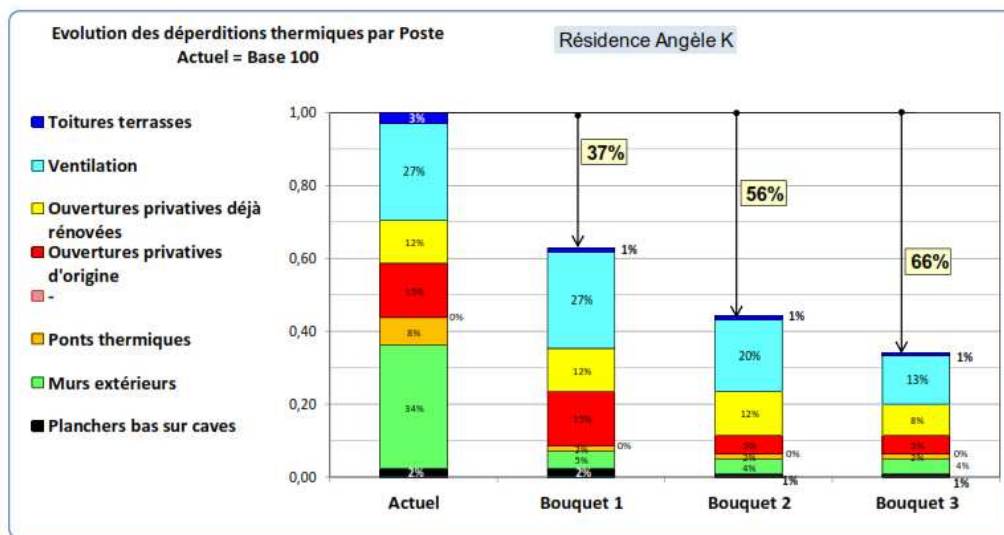


Fig II.11: Graphe d'évolution des besoins en énergie de chauffage par poste de déperdition selon les 3 Scénarios décrits précédemment.

Source : BET-ECIC

II.5.5.3 Evolution de l'étiquette type DPE en fonction du scénario (Chauffage et Eau Chaude Sanitaire) :

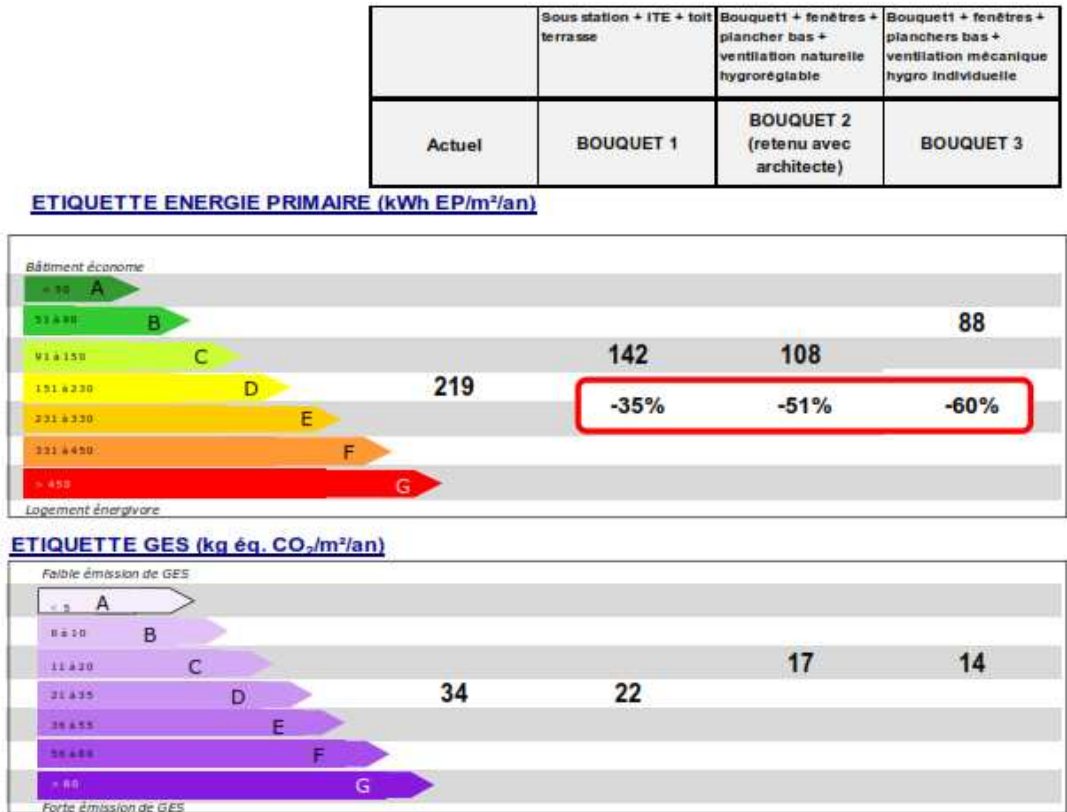


Fig II.12 : Evolution de l'étiquette type DPE en fonction du scénario
Source : BET-ECIC

Une baisse des consommations en énergie primaire correspond à une baisse des consommations de combustibles fossiles, et donc à une diminution des rejets de gaz à effet de serre par la chaufferie du réseau de chaleur urbain. Cette baisse des consommations participe donc à la réduction de l'impact environnemental de la résidence.

II.5.6 Investissement et temps de retour :

Tous les travaux proposés dans cette étude :

- Permettent des économies d'énergie (=> baisse des charges de chauffage).
- Permettent une amélioration de la qualité du confort thermique des logements.
- Sont rentables financièrement à plus ou moins long terme.
- Entraînent une valorisation du bien immobilier.
- Sont prévus pour le moins d'intervention possible à l'intérieur des logements.

II.5.7 Résultats des calculs de consommations conventionnelles : méthode réglementaire ThCEEx.

Les 3 bouquets préconisés dans cet audit sont simulés à la méthode ThCEEx (calculs des consommations conventionnelles selon la méthode de la réglementation thermique dans les bâtiments existants).

Cette méthode de calcul est conventionnelle, et ne s'appuie pas sur des consommations réelles, elle ne permet pas d'évaluer des économies d'énergies et des temps de retour sur investissement. Par contre, la méthode ThCEEx sert à vérifier la conformité réglementaire d'un projet de rénovation (si soumis à la Réglementation Thermique Globale), ou au moins à vérifier les critères demandés par certains dispositifs d'aides (aides régionales,...) ou de labellisation (BBC rénovation,...).

- scénarios - ThCEEx

		Initial	Bouquet 1	Bouquet 2 retenu avec architecte	Bouquet 3
Ubat	W/(m ² .°C)	2,151	1,055	0,686	0,623
Ubat base réf	W/(m ² .°C)		1,015	0,999	0,999
Ubatmax	W/(m ² .°C)		1,268	1,249	1,249
Ubat <= Ubatmax			OK	OK	OK
C'ep (ch+ECS+refr)	kWh/ep/m ² SHON	120	77	61	40
Cepmax	kWh/ep/m ² SHON		195	195	195
Cep réf (5 usages)	kWh/ep/m ² SHON		73	74	74
Cep (5 usages)	kWh/ep/m²SHON	130	86	69	49
Cep <= Cep réf			NON	OK	OK
C'ep <= Cep max			NON	OK	OK

Tableau. II.3: scénario ThCEEx du logiciel PERRENOUD U48 (version 1.01.0401)

Source : BET-ECIC

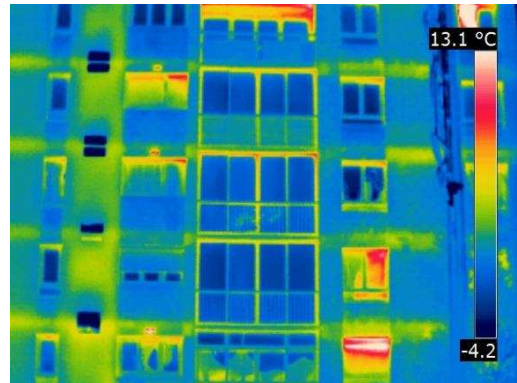
Ubat : coefficient de déperditions par transmission
Cep : coefficient d'énergie primaire

Le scénario présenté dans le tableau ci-dessus nous démontre la non-conformité du Bouquet 1 à la réglementation thermique globale vu que le Cep est supérieur au Cep de référence, et la conformité des deux autres bouquets (2 et 3) aux exigences de la réglementation thermique.

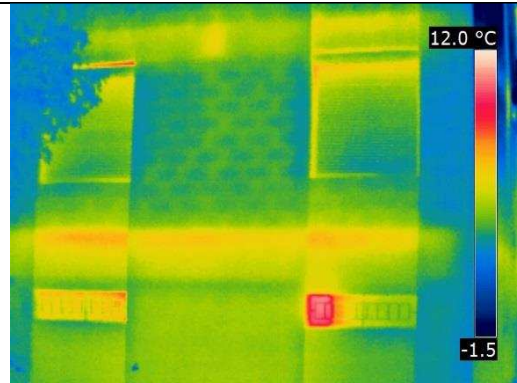
II.5.8 Thermographie infrarouge :

Ce paragraphe présente la synthèse des prises de vue thermographique réalisées le 11/12/2012 autour de 9h00 et par environ 2°C.

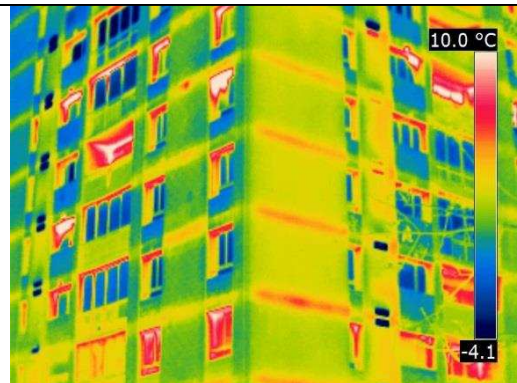
Ponts thermiques de nez de plancher.
Les Loggias fermées évitent le pont thermique de la dalle des balcons, et créent un espace tampon.



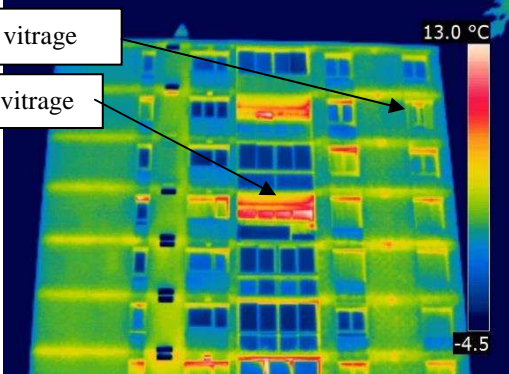





Murs non isolé thermiquement, les joints de la maçonnerie de briques apparaissent.
Pont thermique de nez de plancher.
Pertes thermiques à travers le plancher du premier niveau de logement vers les locaux non chauffés.



Nombreux ponts thermiques de structures : les nez de planchers, les murs de refends.
Les murs ne sont que peu ou pas isolés.



	
	
<p>Plusieurs phénomènes conjugués à bien interpréter : blocage de convection au niveau du plancher haut, déperdition à travers la maçonnerie de briques, pont thermique au linteau de la baie vitrée.</p> 	
<p>Déperdition par les fenêtres simples vitrages. Ventilation naturelle : on observe bien l'extraction d'air par la grille haute en cuisine. Attention, déperdition thermique du logement vers les celliers ouverts sur l'extérieur.</p>	


 <p><i>Les allèges des fenêtres des cuisines apparaissent plus froides comme si elles étaient mieux isolés. Attention à l'erreur d'interprétation, il s'agit en fait du revêtement en pâte de verre qui a une émissivité différente de l'enduit (on observe la réflexion du ciel)</i></p>	
--	--

Tableau. II.4 : Prises de vue thermographique réalisées le 11/12/2012 sur la tour K.

Source : BET –ECIC

II.5.9 .Solutions techniques existantes pour les rénovations thermiques.

Les solutions techniques existantes pour les rénovations thermiques sont principalement l'isolation par l'extérieur et la ventilation :

a) Façade isolée par l'extérieur :

Le choix du système d'isolation thermique par l'extérieur dépend de la réglementation incendie, de critères financiers et esthétiques, plusieurs solutions possibles avec épaisseur d'isolant pour obtenir une résistance thermique minimum conseillée de 3,7 m²K/W (critères pour l'obtention des aides ANAH et d'un crédit d'impôts en 2012).

Par exemple :

- 1) Isolant de polystyrène expansé graphité sous enduit : 12 cm / $\Lambda=0,032$ W/(m.K),
- 2) Isolant de polystyrène expansé standard sous enduit : 15 cm / $\Lambda=0,038$ W/(m.K),
- 3) Isolant en panneaux rigide de laine de roche sous enduit : 14 cm / $\Lambda=0,038$ W/(m.K),
- 4) Isolant en rouleaux de laine de roche sous système bardage ou vêtture: 14 cm / $\Lambda=0,036$ W/(m.K).

b) La ventilation :

- **Ventilation naturelle assistée (ventilation hybride) :**

Le lot ventilation est à coupler de préférence avec les ouvertures sur l'extérieur pour des questions d'étanchéité à l'air et de position des entrées d'air neuf.

Exemple d'extracteur stato-mécanique d'assistance pour ventilation naturelle hybride, installé sur le conduit originel de ventilation de type shunt :



Fig.II.13: Ventilation mécanique contrôlée simple flux hygroréglables.

Source : BET-ECIC

- **Ventilation mécanique hygroréglables :**

Le principe de la ventilation mécanique simple flux hygroréglables consiste à extraire l'air vicié dans les pièces sèches et le rejeter à l'extérieur. L'air extérieur entre via les entrées d'air des fenêtres des pièces sèches (séjour, chambres), passe dans les pièces humides (cuisine, WC, SdB) et est extraite via les bouches disposées dans les pièces humides.

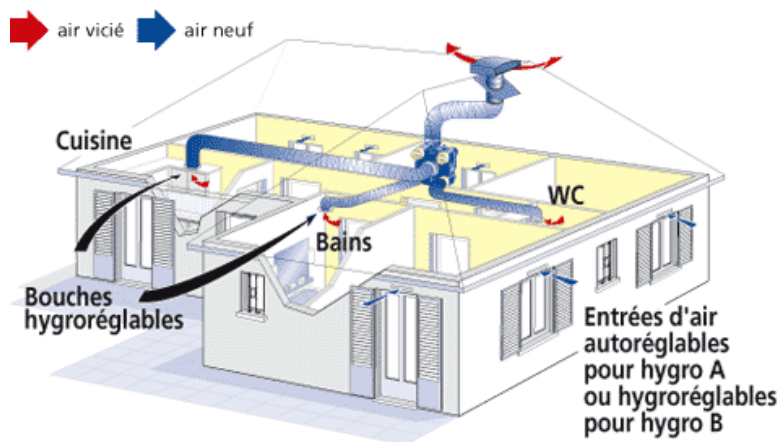


Fig .II.14 : la ventilation mécanique simple flux hygroréglables.

Source :BET-ECIC

Afin d'avoir une ventilation traversante et générale du logement, et compte tenu de l'absence de conduit shunt dans ces pièces humides, il faut alors y créer un dispositif d'extraction.

Conclusion :

A travers ce chapitre, il ressort que la rénovation thermique constitue la priorité d'intervention dans le secteur du bâtiment résidentiel en Algérie afin d'assurer le double objectif qu'est la réduction de la consommation énergétique et l'amélioration du confort thermique.

L'expérience internationale dans le domaine de la réhabilitation thermique, nous a montré qu'il existe une multitude de solutions et de grandes possibilités pour l'amélioration du confort thermique des immeubles d'habitation.

En effet, à travers les solutions mises en œuvre et à travers l'exemple étudié, on a montré l'intérêt que jouent une bonne isolation thermique de l'enveloppe et l'utilisation du vitrage à faible émissivité, dans le maintien du confort thermique et dans la réduction des consommations énergétiques.

Chapitre III

**Simulation de l'effet de la réhabilitation
thermique de l'enveloppe avec l'outil CT BAT**

Cas d'un immeuble collectif à AZAZGA

Introduction

La conception des bâtiments fait de plus en plus appel à une étude thermique détaillée. Cette demande des concepteurs, qui est probablement amenée à se développer, a créé un marché au niveau des logiciels si bien qu'il existe à l'heure actuelle de très nombreux modèles de calcul de la charge thermique d'un bâtiment.

Tous ces modèles répondent à des besoins distincts et utilisent donc des méthodes et des moyens de calcul différents. L'enveloppe d'un bâtiment correspond à l'interface entre un espace qui doit satisfaire les besoins de confort et de protection de ses occupants, et un environnement extérieur.

Ce chapitre vise l'introduction des matériaux isolants dans un immeuble collectif existant afin d'améliorer les performances thermiques de son enveloppe et de là, assurer le confort thermique des occupants et de réduire l'énergie consommée, par le biais d'une simulation, à travers un logiciel de calcul thermique nommé CT-BAT et qui est spécifique à l'Algérie, il permet de vérifier la conformité des projets de construction à la réglementation thermique décrite dans les DTR C3.2 et C3.4.

III-1- Simulations thermiques dans le bâtiment :

La simulation thermique permet l'étude de l'impact des choix architecturaux et solutions techniques (orientation, géométrie, choix des matériaux, de systèmes énergétiques...) sur les consommations d'énergie d'un bâtiment et le confort des usagers et cela à travers la prise en compte des spécificités du site d'implantation (latitude, altitude, fichier météorologique) mais aussi de conception du bâtiment (orientation, géométrie, nature de l'enveloppe) et de son fonctionnement (apports internes, systèmes énergétiques).

Elle est utilisée afin d'analyser les modèles et permet une identification préalable des variables les plus influentes afin d'accélérer la recherche de solutions par l'optimisation.

III.1.1. Les outils de simulation thermiques :

Les outils de simulation thermique les plus répandus dans le bâtiment sont :

- TRNSYS³⁸ :

TRNSYS est un outil de simulation dynamique qui a une référence mondiale permettant de simuler de manière très fine le comportement d'un système complexe, tel qu'un bâtiment. Créé en 1975, il a inspiré de très nombreux développements d'autres logiciels de simulation,

³⁸ Werner KEILHOLZ, David BRADLEY, Jean NOËL, Jean-Jacques ROUX Liens entre les logiciels SimCAD, TRNSYS et CODYBA, <http://www.jnlog.com/pdf/cifq2001.pdf>

qui utilisent soit son solveur générique, soit certains de ses modèles, soit les deux (Energy 10, Energy+, CA-SIS, HVACSIM+, ...).

TRNSYS est basé sur une approche par schéma-bloc. Cette approche modulaire permet à la fois de décomposer des problèmes complexes en plusieurs problèmes moins complexes et de travailler dans un environnement « ouvert », permettant de rajouter de nouveaux composants et concepts.

Un projet de simulation TRNSYS consiste donc à :

- choisir un ensemble de modèles mathématiques de composants physiques
- décrire les interactions entre ces modèles.

L'environnement graphique IISiBat 3 assiste l'utilisateur dans ces deux étapes avec un éditeur de modèles et un éditeur de projets. Chaque icône d'une fenêtre de projet IISiBat représente en effet un sous-programme TRNSYS profite également d'une active communauté d'utilisateurs, qui mettent au point des modèles « freeware », accessibles gratuitement à tout utilisateur. Plusieurs bibliothèques de modèles TRNSYS existent également en tant que produits commerciaux supplémentaires, développés par des bureaux d'études spécialisés.

Il permet de :

- simuler de façon très détaillée le comportement thermique d'un bâtiment multi-zones (température ambiante, besoins d'énergie, humidité de l'air pour chaque zone et chaque surface ; gains par infiltration / ventilation, couplage convectif avec d'autres zones ; variation de l'énergie sensible ; besoins d'énergie latente ; énergie solaire rentrant par les fenêtres ; confort ; ...).
- rédiger un fichier de description du bâtiment en spécifiant les murs, ouvertures, orientations, etc.

Interface du logiciel :

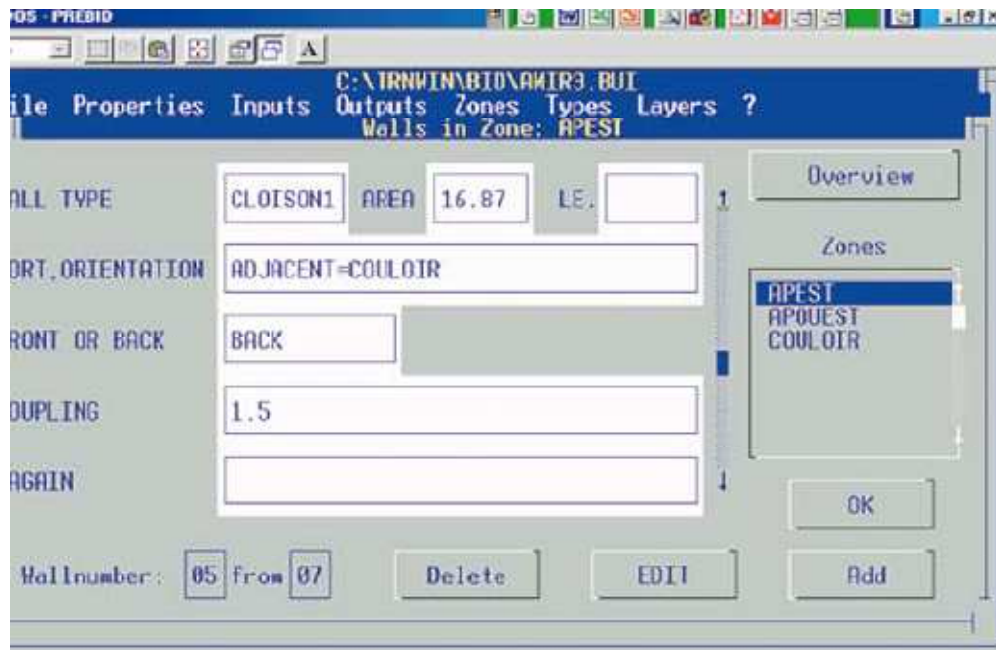


Fig.III.1 : Figure Interface TRNSYS pour la description d'un bâtiment
Source EL HASSAR

• **CODYBA :**

CoDyBa est un outil sur PC de simulation des performances énergétiques des bâtiments. Il s'adresse aux bureaux d'études, aux organismes de recherche et d'enseignement. Ce logiciel est utilisé pour analyser en dynamique les performances thermiques et hydriques d'un bâtiment soumis à des conditions climatiques variées.

L'objectif principal de CoDyba est la prédiction de la consommation d'énergie et des amplitudes de variation de température et d'humidité. A cet effet, Il permet de :

- Faire des études de chauffage et de refroidissement d'air et de ventilation, de choix de matériaux d'isolation, etc.
- Il détermine à un instant donné la puissance de chauffage ou de refroidissement nécessaire pour maintenir une consigne donnée, ou les températures intérieures quand le chauffage ou la climatisation deviennent insuffisants. L'humidité est traitée de la même manière.
- l'analyse des résultats et une compréhension des phénomènes physiques.

Interface du logiciel :

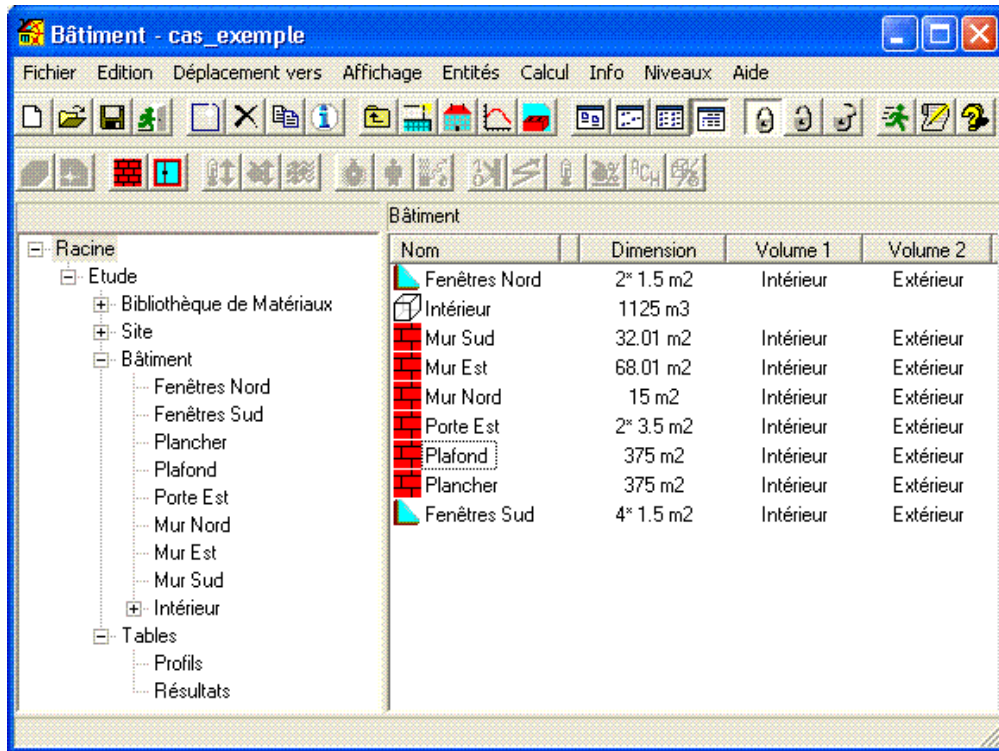


Fig.III.2 : Figure Interface CODYBA pour la description d'un bâtiment

Source ; <http://www.jnlog.com/codyba1.htm>

- **ENERGY PLUS**

C'est un outil de simulation thermique dynamique développé par le département à l'énergie des USA. Il est particulièrement complet notamment pour la prise en compte des équipements énergétiques des bâtiments mais aussi de phénomènes complexes comme la ventilation naturelle, l'impact d'une toiture végétalisée ou de l'utilisation de matériaux à changement de phase. Il est aussi ouvert permettant l'utilisation de logiciel tiers de saisie et d'exploitation.

Forces :

- Fiabilité, capacités de simulation au moyen de modèles en adéquation avec les besoins de l'utilisateur
- Simple au plus complexe.
- Interfaçage avec des modèles géométriques. La grande quantité de sites météorologiques disponibles.

Faiblesses :

- L'utilisation des fichiers textes pour la définition du problème peut s'avérer plus complexe à utiliser qu'une interface graphique.

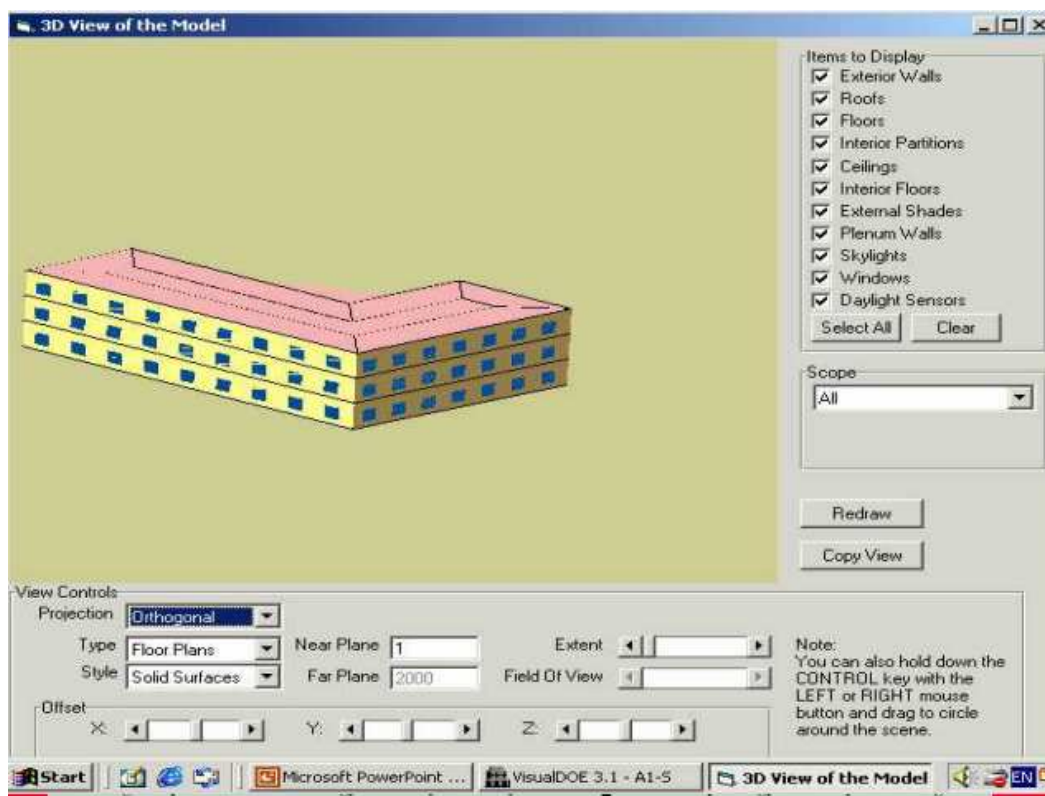
Interface du logiciel :

Fig.III.4: Figure Interface VISUAL DOE pour la description d'un bâtiment

Source ; http://www.eie.gov.tr/projeler/document/TREE_Pres-3_Act_1-5_May06_Bldg-DOE3-Mourtada.pdf

Autres logiciels de simulations :³⁹

- **COMFIE PLEIADES**

Il permet d'étudier un projet de construction ou de réhabilitation dans une démarche complète d'analyse thermique, depuis les premières esquisses jusqu'aux étapes plus avancées du projet. Le module RT 2012 permet d'effectuer les calculs réglementaires et d'obtenir une attestation de prise en compte de la RT au dépôt du permis de construire.

- **AUTODESK ECOTECH**

Le logiciel d'analyse Autodesk® Ecotect™ Analysis est un outil complet de conception à chaque stade d'un projet (APS ◊ PRO), possédant une large gamme d'application (thermique, acoustique, ensoleillement et éclairage). La modélisation des bâtiments et la visualisation des résultats en 3D font de ce logiciel un outil intéressant dans l'orientation des choix des architectes et maîtres d'ouvrage.

³⁹ Nobatek , technologie , construction et aménagement durables , centre technologique privé.
http://www.nobatek.com/simul_offre.html

- **BAO PROMODUL**

L'outil de simulation thermique BAO Promodul est un outil conçu par l'entreprise Perrenoud et par l'association Promodul. Cette collaboration s'est réalisée dans le but de proposer un outil ergonomique permettant à la fois de répondre aux besoins d'un audit énergétique précis, et à la fois aux exigences du calcul réglementaire de la RT existante. Il permet ainsi de calculer les éléments conventionnels réglementaires tels que le U bât des bâtiments existants, le CEP, les gains d'énergie, les déperditions, besoins de chauffage du bâtiment.

Ces logiciels de calcul thermique utilisés dans d'autres pays ne répondent pas exactement aux prescriptions de la réglementation nationale notamment les DTR Algériens dans la mesure où les méthodes de calculs et les bases de données utilisées sont, dans certains cas, différentes. A cet effet, une application nommée CT BAT a été conçue par l'APRUE en collaboration avec la GIZ .

III-1-2-Présentation du logiciel CT BAT :

Le logiciel de calcul thermique baptisé CTBAT (calcul thermique dans le bâtiment) est un outil d'évaluation et d'aide à la conception spécifique à l'Algérie. Ce logiciel a été développé afin de faciliter aux différents concepteurs intervenant dans un projet immobilier à savoir les bureaux d'études, ainsi qu'à d'autres utilisateurs notamment des auditeurs énergétiques ou des chercheurs, l'intégration des exigences de la réglementation thermique algérienne (DTR C3-2 et C3-4) et de minimiser le risque d'erreurs aussi bien dans l'interprétation des données que lors des calculs, et cela en introduisant des hypothèses.

Ce logiciel est né d'un travail de collaboration entre experts nationaux appartenant à différentes institutions (Centre de Développement des Energies Renouvelables, CNERIB, APRUE) et experts internationaux de la coopération allemande au développement (GIZ).

a)-Fonctionnement pratique du programme ;

L'application CT BAT a pour principal objectif de vérifier la conformité des projets de construction de bâtiment aux normes algériennes décrites dans les DTR C3-2 et C3-4.

L'application présente à l'utilisateur une interface intuitive et ergonomique lui permettant de décrire les différents composants de son projet de construction et effectuer pour lui les calculs thermiques nécessaires afin de vérifier la conformité du bâtiment vis-à-vis de la réglementation thermique algérienne.

L'utilisateur est donc complètement déchargé des calculs thermiques nécessaires aux vérifications réglementaires. Il doit uniquement veiller à bien décrire son projet suivant la structure de données intuitive de l'application CT BAT.

La nouvelle réglementation thermique des bâtiments neufs impose des caractéristiques d'isolation thermique permettant de répondre à au moins une des deux conditions ci-après :

- Les déperditions calorifiques calculées pour la période d'hiver doivent être inférieures à une limite appelée «déperdition de référence » ;
- Les apports calorifiques calculés pour la période d'été doivent être inférieurs à une limite appelée «apport de référence».
- Les déperditions ou apports de références sont fixées par les DTR C3-2 & C3-4 respectivement.

b) Interface du logiciel CTBAT

L'ambiance générale de l'application est très simple car elle a été conçue pour être très intuitive, aidant l'utilisateur à se focaliser sur les fonctionnalités et lui éviter de se perdre dans une interface complexe.

L'écran d'accueil de l'application présente 4 panneaux :

- Panneau de présentation brève de l'objectif de l'application ;
- Panneau des partenaires officiels ayant concouru et participé à l'élaboration de l'application ;
- Panneau de démarrage pour créer ou ouvrir un projet de construction ;
- Panneau d'aide pour consulter la documentation officielle composée des DTR C3.2 et C3.4.

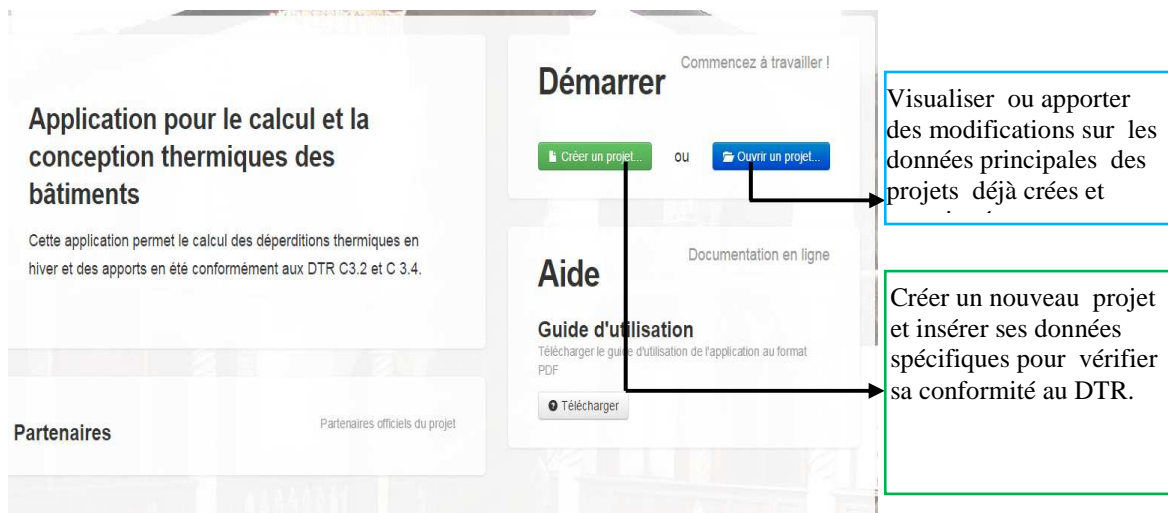
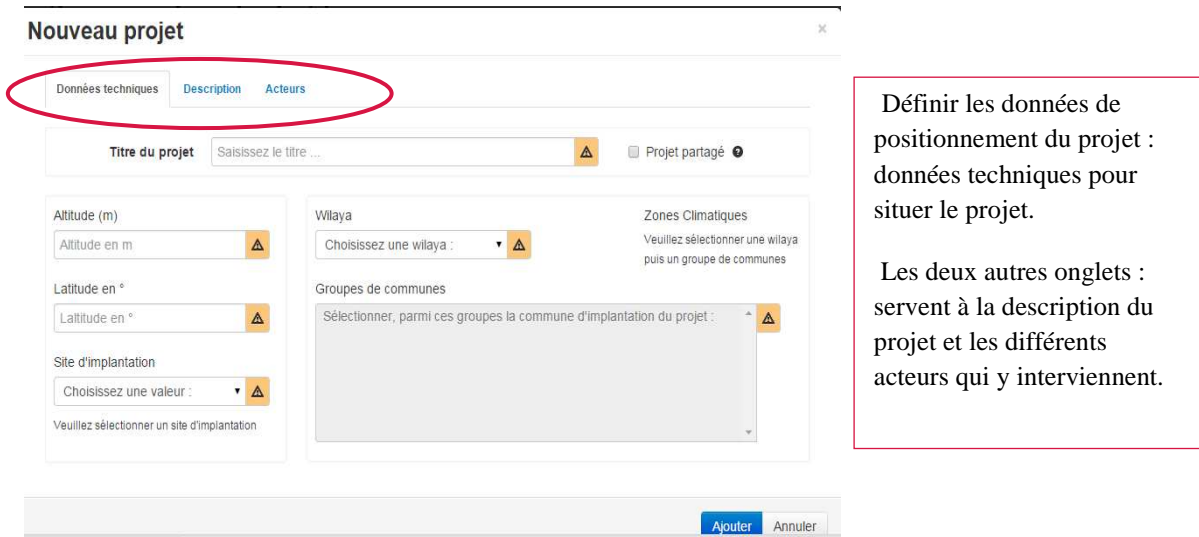


Fig.III.5. :Ecran d'accueil du logiciel CT BAT

Source : <http://ctbat.net/interact/#/report/128/162/2857>



FigIII.6 :L'écran nouveau projet



Fig III.7 : Ecran affiché une fois les données techniques sont insérées

L'écran est composé de 4 principaux panneaux destinés à afficher et à gérer les données de toutes les entités du projet. Ces panneaux sont détaillés un à un dans les sections relatives aux entités qu'ils permettent de gérer.

- **Dupliquer** : pour afficher la fenêtre de duplication des données pour créer une copie du projet ;
- **Modifier** : pour afficher la fenêtre de modification des données du projet ;
- **Supprimer** : pour effacer le projet et l'ensemble des entités qui le composent ;
- **Calculer** : pour lancer la vérification réglementaire sur la base de calculs déjà faits ;
- **Rapport** : pour afficher un rapport détaillé synthétisant toutes les données et tous les calculs des entités qui composent le projet.
- **Éditeur de matériaux** : pour afficher l'outil de création de matériaux personnalisés à utiliser en complément des matériaux officiels des DTR ;
- **Fermer** : pour fermer le projet en cours, et revenir vers l'écran d'accueil.

III.2.Choix du cas d'étude :

Face au défi de répondre à la crise de logements, de grands programmes sont lancés par le gouvernement à travers le territoire national pour répondre aux besoins des citoyens. Les systèmes constructifs ont vu alors un changement conséquent dans la façon d'appréhender la construction des bâtiments.

Les techniques de construction se sont ainsi vues transformées notamment par l'apparition du béton armé. C'est le cas du système tunnel, qui est aujourd'hui un système très répandu en Algérie. En effet, tous les grands programmes de logements lancés par les divers organismes notamment l'AADL et l'OPGI, se font aujourd'hui avec ce système et ce, sans prendre en considération les données climatiques des zones d'implantation.

Le choix s'est porté sur un immeuble d'habitation du projet des 1000 logements LPL (logements publics locatifs). Il est située en amont du site, et est plus exposé aux variations climatiques (vents dominants et ensoleillement), et représente un échantillon sur les 51 immeubles du dit projet, dont les paramètres de conception sont d'ordre fonctionnel et architectural.

La dimension énergétique du projet n'est pas considéré comme significative, vu qu'il n'est soumis à aucune exigence réglementaire sur le plan thermique et énergétique, afin de vérifier l'adaptabilité de ce système constructif dans une région climatique caractérisé par un climat à la fois méditerranéen et de montagne.

III.3.Simulation thermique d'un immeuble d'habitation existant à AZAZGA :

Dans cette partie de notre travail, on procédera à l'analyse d'un immeuble collectif construit avec le système tunnel, qui est un modèle constructif très courant en Algérie, et ce sur le plan thermique, afin d'évaluer l'ensemble des échanges thermiques entre l'intérieur et l'extérieur et évaluer le degré de confort.

Le but étant de faire ressortir les points forts ainsi que les défaillances de ce modèle constructif et d'essayer ensuite de rechercher les solutions à travers l'amélioration de son enveloppe pour optimiser ses performances et évaluer les besoins énergétiques de manière plus détaillée que les méthodes simplifiées basées sur des bilans mensuels.

Cette analyse se fera en simulant son comportement thermique avec le programme CT BAT, qui est un outil opérationnel permettant l'intégration des exigences du confort thermique légales et réglementaires en Algérie (voir chapitre II, 48,49 p).

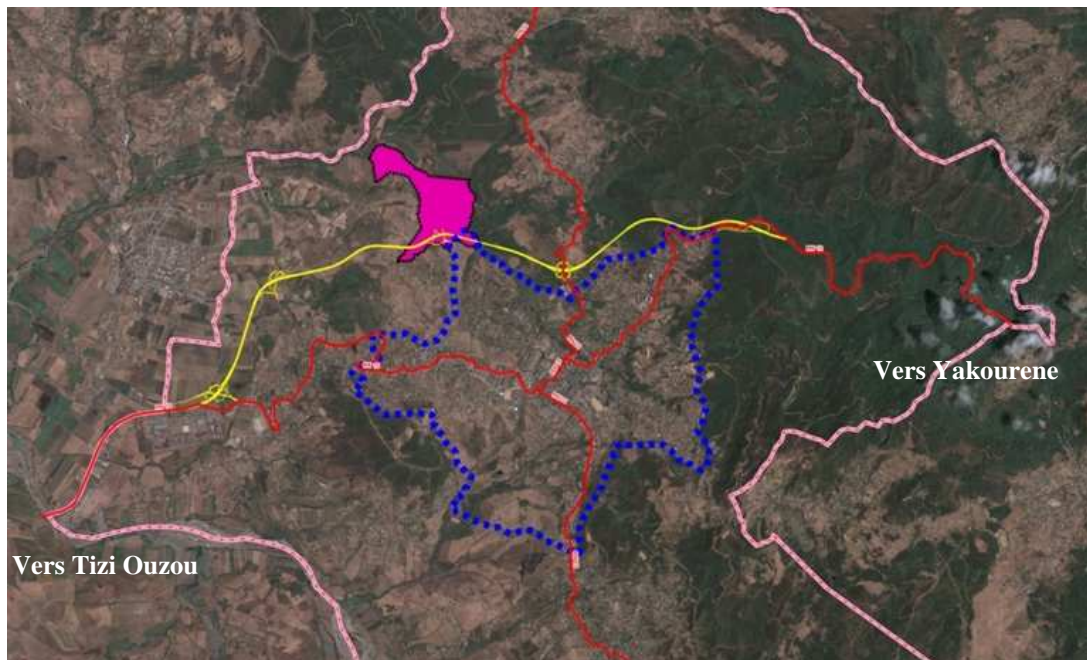
III.4. Présentation du cas d'étude :

III.4.1 Situation du projet :

L'immeuble objet de notre étude est situé au nouveau pôle urbain POS IMLEL projeté au Nord-Ouest de la ville d'AZAZGA.

Ce nouveau pôle urbain est à mi chemin entre les deux villes d'Azazga et de Freha. Plusieurs programmes de logement y sont projetés à savoir :

- 1000 Logements LPL ;
- 640+60 logement LPL ;
- 1000 logements AADL ;
- 115 LPA ;
- 60 logements DGSN ;



FigIII.8; **Vus aérienne (situation du pos par rapport à la ville d'Azazga)**

Source : POS IMLEL

- Routes nationales
- Evitement Azazga
- - - Périmètre urbain de la ville d'Azazga
- Pos IMLEL

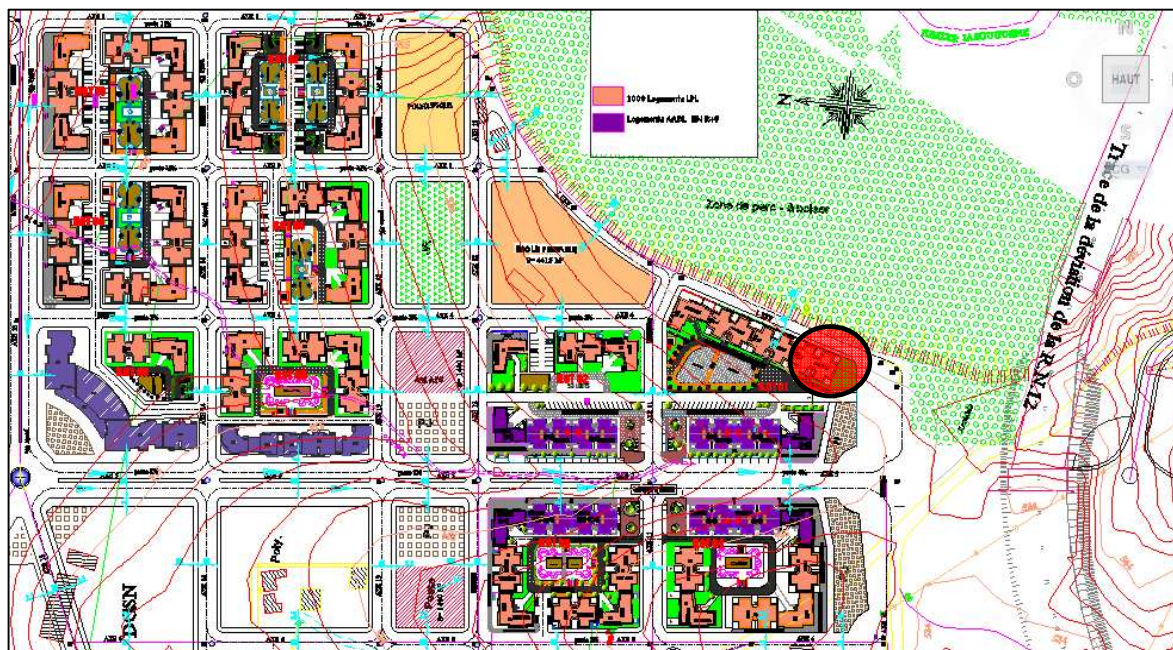


Fig.III.8; Plan de masse (situation du projet)

Source : POS IMLEL

III.4.2. Données climatiques de la ville d'AZAZGA;

Le climat d'AZAZGA est à la fois de type méditerranéen et montagnard : avec une période pluvieuse et neigeuse en hiver et une période chaude et sèche en été.

La zone d'étude se situe au prolongement de la vallée de Freha qui se caractérise par des étés très chauds. En effet les vents marins du nord qui sont des vents légers ont tendance à gagner les régions de plus en plus hautes de l'atmosphère. Dans les zones basses l'air n'est pas renouvelé et les vapeurs humides forment au dessus des zones basses un écran comparable au vitrage d'une serre.⁴⁰

Il se caractérise par :

- Une pluviométrie qui varie entre 700 mm et 1000 mm par année où la densité pluviale est enregistrée entre le mois de décembre et mars.
- Des températures qui varient entre 10°C à 15°C en hiver et entre 25°C à 40°C en été où on observe des canicules de 3 à 7 jours continus (période juin-juillet).
- Deux saisons relativement équilibrées (Printemps et Automne).

⁴⁰ POS ; Plan d'occupation de sol du pole urbain d'IMLEL AZAZGA .

III.4.3. Caractéristiques générales du cas d'étude :

Le cas d'étude, est un immeuble d'habitation faisant partie du projet des 1000 logements publics locatifs totalisant 51 bâtiments, lancés dans le cadre du programme quinquennal 2010 2014.

Il s'agit d'un immeuble en R+5 constitué de 24 logements en F3 (avec quatre logements par palier) d'une surface moyenne habitable de 68.35 m² par logement.

La structure de l'immeuble est constituée de voiles de contreventement en béton armé et les maçonneries sont en briques creuses.

III.4.3.1. Orientation :

Le bâtiment est orienté nord-ouest/sud –est. Il ne dispose d'aucun vis-à-vis, les deux façades sont dégagées de toute ombre, à l'exception d'une façade latérale qui est mitoyenne avec un autre immeuble.



Fig.III .9 : Façade principale du bloc existant

Source ; auteur

III.4.3.2. Enveloppe

Les deux façades principale et postérieure sont ouvertes à 40%.

Les deux façades latérales sont, aveugles.

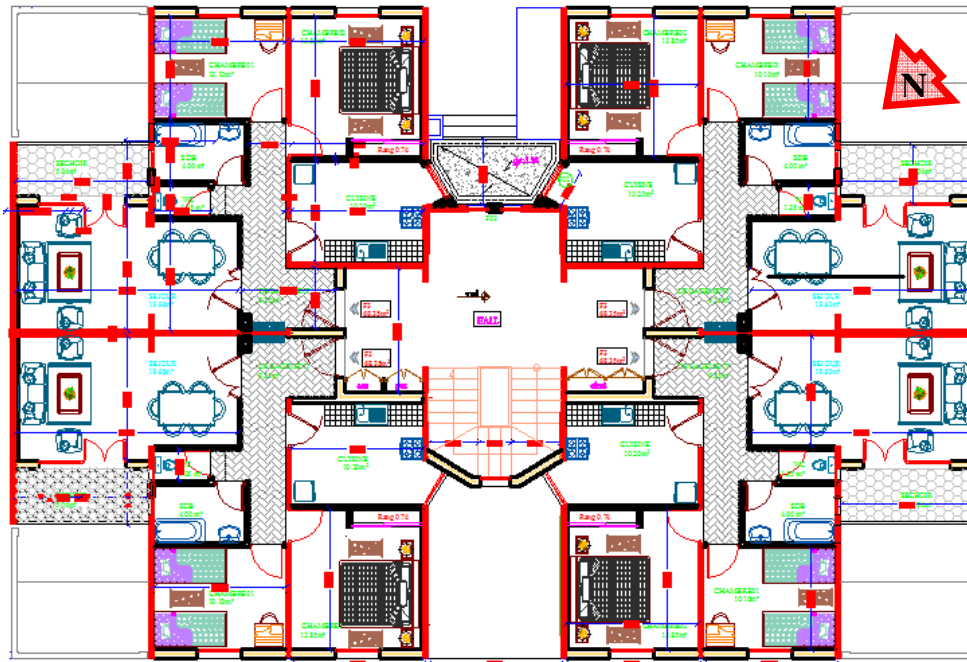


Fig.III.10. : Plan de l'étage courant

Source : BET SCP ADS Progress

III.4.3.3. Le système constructif :

Le système constructif est réalisé en table banche ou coffrage tunnel par l'entreprise nationale COSIDER qui est une entreprise nationale spécialisée dans la construction de bâtiment avec le système tunnel.

Les coffrages tunnels sont des moules métalliques, susceptibles de nombreux réemplois et permettant par juxtaposition les uns à côté des autres, de couler en une seule fois une dalle de béton de grande surface, ainsi que ses murs porteurs. Ils sont constitués essentiellement de deux panneaux verticaux reliés à leur partie supérieure par un panneau horizontal. Ils peuvent être monoblocs ou composés de deux demi-coquilles que l'on assemble rigidement entre elles par verrouillage au moment du réglage et du bétonnage.

Ce procédé, présente une économie qui est procurée par le nombre important de rotations de l'outil, plus de trois cents (300) fois, ce qui réduit considérablement le coût du mètre carré coffré dans la structure des prix. Parmi ses avantages, la facilité de maintenance pour augmenter la longévité, la rapidité de réalisation des bâtiments en gros œuvres, la facilité de déplacement et de transport comparativement à la préfabrication lourde.

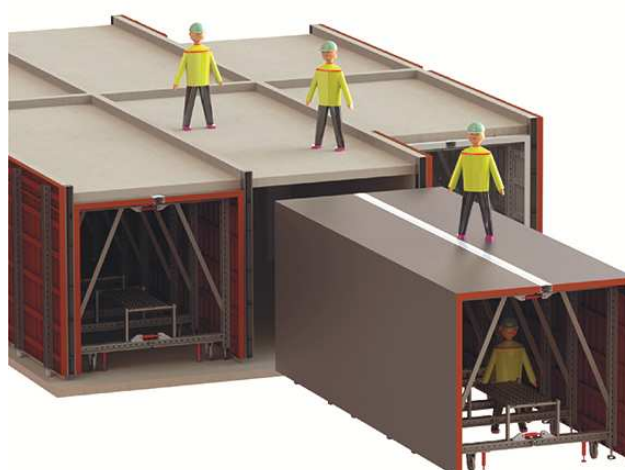


Fig . III.11 ; Principe du coffrage tunnel

Source : http://www.carldora.com/fr/produits/coffrages/coffrage-an-batiments/coffrage-tunnel_1448978681

Le seul inconvénient qui réside dans la mise à disposition de moyens de levage appropriés et la nécessité de son utilisation pour de grands programmes de logements.

Durant la phase de développement de l'utilisation de coffrage tunnel, les utilisateurs l'ont sous-estimé du fait d'une utilisation excessive de béton eu égard à la multiplicité des voiles. Depuis le séisme de 2003 et ses conséquences, la révision du RPA⁴¹ a rendu le système très rentable. Au delà, son utilisation permet une bonne qualité du bâti en procurant des surfaces lisses ne nécessitant pas de procédé d'enduit ainsi que les dimensions standards des pièces permettant l'utilisation des éléments de boiserie industrialisés, peu coûteux.

Les propriétés antisismiques et la résistance aux autres catastrophes naturelles permettent son utilisation quel que soit le territoire.

Le système présente aussi des possibilités d'intégration dans l'objectif d'une production de logements industrialisés.

Parmi d'autres avantages directs, le coffrage tunnel qui a l'avantage d'employer peu de main-d'œuvre pour une grande capacité de production. L'installation du coffrage et la préparation pour le bétonnage sont plus rapides que pour les autres systèmes de coffrage existants.

La main-d'œuvre ne nécessite pas une qualification particulière. Celle-ci peut être satisfaite après une courte formation.⁴²

⁴¹ Règlement parasismique algérien

⁴² Cosider , Réhabiliter la table Banche et développer le coffrage tunnel 23/11/2014 site internet ; <http://btp-dz.com/rehabiliter-la-table-banche-et-developper-le-coffrage-tunnel/>

III.4.4. Éléments constitutifs de l'immeuble d'habitation :

Paroi ou élément	Description	Illustration
<p>Toiture terrasse :</p>	<p>- L'étanchéité terrasse est composé de :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Ecran pare vapeur ; -Isolation thermique en polystyrène de 4 cm , densité 25kg/m³ . -Film polyane ; -Forme de pente en béton ; -Etanchéité multicouche ; -Relevé d'étanchéité ; -Couche de protection en gravier roulé (mini 4cm). 	
<p>Murs extérieurs :</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Structure porteuse du bâti de type système tunnel en béton armé. - Paroi en béton armé de 15 cm -Paroi en brique creuse de 10 cm en 2 rangées séparées par 5 cm de lame d'air, revêtu d'un enduit au plâtre de 1.5 cm d'épaisseur coté intérieur et un enduit en ciment de 2 cm d'épaisseur du coté extérieur, ou par une mosaïque en allège de fenêtre. 	
<p>Fenêtres, portes, fenêtres en simple vitrage: (~40% de la façade)</p>	<p>-Fenêtres en simple vitrage sur menuiserie bois.</p>	


<p>Plancher bas sur un vide sanitaire</p>	<p>- Le plancher bas en béton armé d'une épaisseur de 15 cm, donne sur un vide sanitaire remblayé en terre sélectionnées.</p> <p>-Un film polyane sépare la dalle des remblais en terre.</p>	 <p><i>Vide sanitaire avant remblaiement</i></p> <p><i>Vide sanitaire après remblaiement en terres</i></p>
<p>Aération sur façade de la cuisine</p>	<p>- Grille basse et grille haute sur façade extérieur des cuisines qui ventilent de façon importante.</p> <p>- Les pertes thermiques par renouvellement d'air sont importantes.</p>	 <p>Grilles d'aération donnant sur façade extérieure</p>

Tableau .III.1 : éléments constitutifs du bâtiment réalisé avec le système tunnel

Source : auteur

Vu les faibles performances thermiques et énergétiques que présente ce type de construction et aux matériaux utilisés dans sa réalisation notamment le béton armé ,il représente le principal matériaux utilisé sachant que c'est un matériaux conducteur avec une résistance thermique faible, [le coefficient de la conductivité thermique de béton est : $\lambda = 1,75 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$] ce qui favorise la conduction thermique des parois.

De ce type d'habitat, découle les problèmes d'inconfort des ambiances intérieures dus à la précarité énergétique de l'enveloppe de la bâtisse: ils sont hyper consommateurs en énergie, très froids en hiver et très chauds en été.

En conséquence, ce travail expérimental vise à chercher des techniques pour améliorer le confort thermique et réduire la consommation d'énergie d'une manière passive

dans le bâti existant et ce à travers une contribution à l'étude de la réhabilitation thermique de l'enveloppe de la bâtisse, car elle constitue un échangeur thermique entre l'intérieur et l'extérieur.

III.5. Analyse énergétique du projet et vérification du respect des normes du DTR avec CTBAT:

La démarche de l'analyse thermique par simulation s'articule autour de deux étapes successives et complémentaires :

- La première étape concerne le calcul des déperditions thermiques et apports énergétiques du bâtiment de référence, afin de vérifier s'il est conforme aux normes de la réglementation thermique algérienne (DTR C3.2 et C.3.4) d'une part, et de définir son identité thermique d'autre part, à l'aide d'un code de calcul.
- La deuxième étape, en se basant sur les résultats obtenus, nous allons tester différentes variantes d'amélioration de l'enveloppe avec un isolant en changeant l'épaisseur de celui-ci, et voir l'effet sur les apports et déperditions énergétiques obtenus et les comparer par rapport à l'état initial ainsi que leur conformité à la réglementation thermique.

III.5.1.Principes de calcul :

Avant de procéder à la simulation numérique, il est nécessaire de connaître le principe de calcul des déperditions thermiques en hiver et des apports en été conformément aux documents technique réglementaire.

III.5.1.1 .Selon DTR C 3-2.

▪ Déperditions totales d'un volume

Les déperditions totales D_i d'un volume i sont données par :

$$D_i = (D_T)_i + (D_R)_i$$

D_i : sont les déperditions totales du volume considéré,

D_t : sont les déperditions thermiques par transmission

D_R : sont les déperditions thermiques par renouvellement d'air.

▪ Déperditions par transmission d'un volume (i)

Les déperditions par transmission d'un volume à travers son enveloppe sont données par:

$$(D_T)_i = (D_S)_i + (D_{li})_i + (D_{sol})_i + (D_{inc})_i$$

D_{Ti} : sont les déperditions thermiques par transmission d'un volume i ,

D_{Si} : les déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieur

D_{li} : sont les déperditions à travers les liaisons,

D_{sol} : sont les déperditions à travers les parois en contact avec le sol

D_{inc} : sont les déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés.

▪ Déperditions par renouvellement d'air

Les déperditions par renouvellement d'air D_R d'un local ont pour expression:

$$D_R = 0.34 \times (Q_v + Q_s)$$

D_R : sont les déperditions thermiques par renouvellement d'air,

0,34 (en Wh/m³. °C) : est la chaleur volumique de l'air (ce qui équivaut à 1.224 KJ/m³.K),

Q_v : est le débit spécifique de ventilation

Q_s est le débit supplémentaire par infiltration dû au vent.

$$Q_v = \text{Max}[0.6 \times V_h ; Q_{vref}]$$

V_h : est le volume habitable du local

Q_{vref} : est le débit de ventilation extrait de référence.

On admet, qu'en hiver, les dispositifs de ventilation calculés pour permettre un taux de ventilation de d'ordre de 0,6 fois le volume habitable par heure répondent aux exigences de confort thermique et d'hygiène.

➤ **La vérification de la réglementation :**

Les déperditions par transmission D_T du logement doivent vérifier:

$$D_T \leq 1,05 \times D_{réf} [W/°C]$$

où :

D_T (en W/°C) représente les déperditions par transmission du logement,

$D_{réf}$ (en W/°C) représente les déperditions de référence.

▪ Calcul des déperditions de référence

Les déperditions de référence $D_{réf}$ sont calculées par la formule suivante :

$$D_{réf} = a \times S_1 + b \times S_2 + c \times S_3 + d \times S_4 + e \times S_5 \quad [W/°C]$$

où :

S (en m²) : les surfaces des parois en contact avec l'extérieur, un comble, un vide sanitaire, un local non chauffé ou le sol. Elles concernent respectivement/ S_1 la toiture, / S_2 le plancher bas, y compris les planchers bas sur locaux non chauffés, / S_3 les murs, S_4 les portes, S_5 les fenêtres et les portes-fenêtres.

S_1 , S_2 , S_3 sont comptées de l'intérieur des locaux, S_4 et S_5 sont comptées en prenant les dimensions du pourtour de l'ouverture dans le mur .

les coefficients a, b, c, d et e, (en W/m².°C), dépendent de la nature du logement et de la zone climatique.

III.5.1.2.Selon DTR C 3-4.

- *Calcul des apports calorifique*

$$A_s = APO + AV + AIs + AINFs \text{ [W]}$$

$$A1 = AII + AINF1 \text{ [W]}$$

où :

AP0 (en W) : les apports par les parois opaques

AV (en W) : les apports à travers les parois vitrées

AIs et **AII** (en W) : les parties sensibles et latentes des apports internes

AINFs et **AINF1** (en W) : les parties sensibles et latentes des apports dus aux infiltrations d'air .

Dans le cas où de l'air neuf s'introduit directement dans le local (sans passer par l'installation de climatisation, par le biais d'un dispositif de ventilation par exemple), il y a lieu d'en tenir compte dans le calcul des apports calorifiques.

- *Les apports calorifiques effectifs sensibles AEs et latents AEI sont donnés par :*

$$AEs = (C\Delta a_s \times A_s) + (BF \times ARENs) \text{ [W]}$$

$$AEI = (C\Delta a_l \times A_l) + (BF \times ARENI) \text{ [W]}$$

où :

As (en W) représente les gains sensibles

Al (en W) représente les gains latents

ARENs et **ARENI** (en W) représentent les parties sensibles et latentes des apports dus à la ventilation des locaux .

BF ou facteur de by-pass exprime la partie de l'air extérieur (air neuf) non traité par l'installation de climatisation (imperfection de l'appareil de traitement), et qui parvient au local sans modifications. La valeur de BF représente une caractéristique de l'équipement donnée dans les catalogues des constructeurs.

- *Types de locaux Facteur BF*

- Habitations, locaux à usage d'hébergement 0,30 à 0,50.
- Locaux à usage d'enseignement, de bureaux, de réunion, petits magasins 0,20 à 0,30
- Banques, ateliers, 0,10 à 0,20.
- Lieux de restaurations, grands magasins 0,05 à 0,10.
- Hôpitaux, salle d'opérations, lieux de stockage, locaux abritant des équipements sensibles < 0,10.

- **Vérification réglementaire**

La somme des apports calorifiques par les parois vitrées et les parois opaques aériennes doit vérifier au mois de Juillet à 15 h TSV, pour une température sèche intérieure de 27°C, la relation ci-après :

$$\text{APO (15 h)} + \text{AV (15 h)} \leq 1,05 \times \text{Aréf (15 h)} \text{ [W]}$$

où :

APO (en W) désigne les apports calorifiques à travers les parois opaques aériennes

AV (en W) désigne les apports calorifiques à travers les parois vitrées ;

Aréf (en W) désigne les apports calorifiques de référence.

Les termes de la formule ne tiennent pas compte des parois en contact avec le sol, et des parois séparant deux locaux conditionnés.

- Les apports calorifiques de référence Aréf sont donnés par :

$$\text{Aréf} = \text{Aréf,PH} + \text{Aréf,PV} + \text{Aréf,PVI} \text{ [W]}$$

où :

A réf, PH (en W) désigne les apports calorifiques de référence à travers les parois opaques horizontales

A réf, PV (en W) désigne les apports calorifiques de référence à travers les parois opaques verticales

A réf, PVI (en W) désigne les apports calorifiques de référence à travers les parois vitrées.

Les méthodes de calculs présentées dans ce DTR sont des méthodes simples, testées par ailleurs, suffisantes en principe pour trouver des solutions technique admissible. Cependant, sa mise en application effective nécessitera notamment, sa vulgarisation auprès des bureaux d'études, des architectes et des promoteurs.

III.5.1. 1ere étape: composition des éléments constitutifs de l'enveloppe existante :

Les éléments constitutifs du bâtiment existant décrits dans les tableaux ci-après, sont identiques dans toutes les constructions réalisés avec le système tunnel, également identiques dans toutes les régions du pays et ce sans tenir compte des caractéristiques climatiques spécifiques à chaque région.

Avant de présenter la configuration des éléments de l'enveloppes à étudier, il est nécessaire de connaître les caractéristiques techniques et les conditions externes de la ladite enveloppe :

Fig . III. 12 :Fiche technique du projet (voir détail en annexe)

Source : <http://ctbat.net/interact/#/project/122/156>

Données techniques :

Localisation	Altitude	Latitude	Zone Thermique Hiver	Zone Thermique Eté
	532,30 m	36,00 °	B	B

Conditions externes :

Temp. externe en hiver	Temp. externe en été	Humidité spécifique	Ecart diurne
1,00°	37,00 °	11,00	15,00

Synthèse des enveloppes

Nom de l'enveloppe	Usage	Conformité Hiver C-3.2	Conformité Eté C-3.4
Enveloppe existante	habitation	Non conforme	Non conforme

Enveloppe 1 : Enveloppe existante

Données technique de l'enveloppe :

Volume Brut	Volume Net	Usage		
1 863,17 m3	1 490,54 m3	Habitation	Logement en immeuble collectif	Long séjour
Temps de fonctionnement (climatisation)		Temp. interne Hiver	Temp. interne Eté	
16 H		21°	24°	

Synthèse des échanges thermiques :

En été :

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4	
549,27 W	46 908,33 W	19 780,74 W	17 222,96 W	12 651,26 W	1,98	Non conforme

En hiver :

DT	Dréf	Vérification C-3.2	
6 251,04 W/°C	4 323,11 W/°C	1,45	Non conforme

Renouvellement et infiltration d'air :

En été :

QVan	ARENs	AINFs	ARENI	AINFI	Renouvellement d'air total
1 903,33 m3/h	7 917,87 W	7 288,32 W	4 019,94 W	3 700,31 W	22 926,43 W

En hiver :

QS	QV	DR	QVinf
1 370,98 m3/h	1 903,33 m3/h	1 113,27 W/°C	1 752,00 m3/h - Orientation: NO

III.5.1.1-Données technique de l'enveloppe 1 : avant réhabilitation

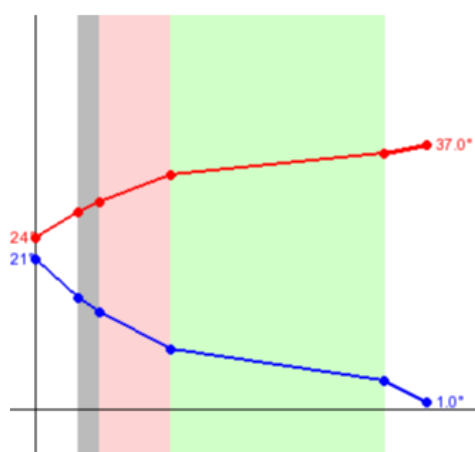
A – Pour les façades pignons en béton armé :

Matériau	Conductivité	Epaisseur	Résistance
Béton plein	1,75 W/m.°C	0,15 m	0,09 m ² .°C/W
Brique creuse	0,48 W/m.°C	0,05 m	0,10 m ² .°C/W
Plâtre courant d'enduit intérieur	0,35 W/m.°C	0,02 m	0,04 m ² .°C/W
Total		0,22 m	0,23 m ² .°C/W

Composition (de l'extérieur vers l'intérieur)

Profil de température :

De l'intérieur vers l'extérieur



Couche	Température Hiver	Température Eté
Température intérieure	21,00 °C	24,00 °C
Température de surface intérieure	15,54 °C	27,49 °C
1- Plâtre courant d'enduit intérieur	13,41 °C	28,98 °C
2- Brique creuse	8,24 °C	32,62 °C
3- Béton plein	3,98 °C	35,60 °C
Température de surface extérieure	3,98 °C	35,60 °C
Température extérieure	1,00 °C	37,00 °C

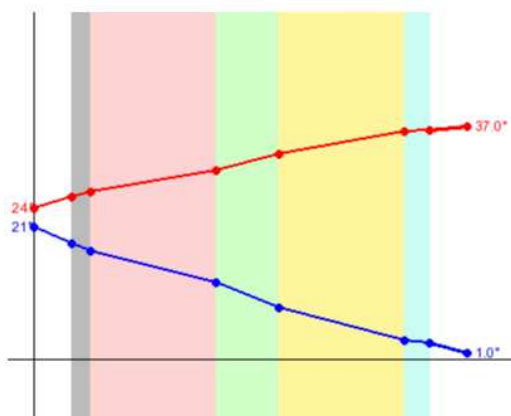
B – Pour les façades principales et postérieures en maçonnerie :

Matériau	Conductivité	Epaisseur	Résistance
Mortier de ciment	1,40 W/m.°C	0,02 m	0,01 m ² .°C/W
Brique creuse	0,48 W/m.°C	0,10 m	0,21 m ² .°C/W
Lame d'air pour mur de 24 à 50 mm	0,00 W/m.°C	0,05 m	0,16 m ² .°C/W
Brique creuse	0,48 W/m.°C	0,10 m	0,21 m ² .°C/W
Plâtre courant d'enduit intérieur	0,35 W/m.°C	0,02 m	0,04 m ² .°C/W
Total		0,29 m	0,63 m ² .°C/W

Composition (de l'extérieur vers l'intérieur)

Profil de température :

De l'intérieur vers l'extérieur



Couche	Température Hiver	Température Eté
Température intérieure	21,00 °C	24,00 °C
Température de surface Intérieure	18,26 °C	25,68 °C
1- Plâtre courant d'enduit intérieur	17,20 °C	26,40 °C
2- Brique creuse	12,01 °C	29,90 °C
3- Lambe d'air pour mur de 24 à 50 mm	8,03 °C	32,59 °C
4- Brique creuse	2,85 °C	36,09 °C
5- Mortier de ciment	2,49 °C	36,33 °C
Température de surface extérieure	2,49 °C	36,33 °C
Température extérieure	1,00 °C	37,00 °C

C- Pour le plancher bas :

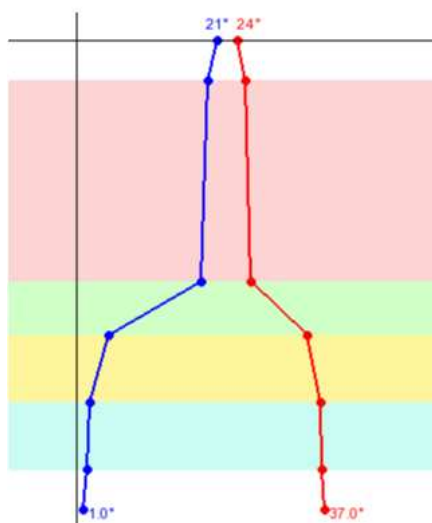
Matériau	Conductivité	Epaisseur	Résistance
Béton plein	1,75 W/m.°C	0,15 m	0,09 m ² .°C/W
Produits en céramique carreaux et dalles	1,00 W/m.°C	0,03 m	0,03 m ² .°C/W
Total		0,18 m	0,12 m ² .°C/W

D – Pour la toiture terrasse :

Matériau	Conductivité	Epaisseur	Résistance
Béton plein	1,75 W/m.°C	0,15 m	0,09 m ² .°C/W
XPS polystyrène Extrusion	0,04 W/m.°C	0,04 m	1,00 m ² .°C/W
Cartons feutres et chapes ouples imprégnées	0,23 W/m.°C	0,05 m	0,22 m ² .°C/W
Gravier	2,00 W/m.°C	0,05 m	0,03 m ² .°C/W
Total		0,29 m	1,33 m ² .°C/W

Profile de température :

De l'intérieur vers l'extérieur



Couche	Température Hiver	Température Été
Température intérieure	21,00 °C	24,00 °C
Température de surface intérieure	19,77 °C	25,36 °C
1- Béton plein	18,61 °C	26,09 °C
2- XPS polystyrène Extrusion	4,98 °C	34,60 °C
3- Cartons feutres et chapes ouples Imprégnées	2,02 °C	36,45 °C
4- Gravier	1,68 °C	36,66 °C
Température de surface extérieure	1,68 °C	36,66 °C
Température extérieure	1,00 °C	37,00 °C

III.5.1.2-synthèse des résultats pour des conditions internes de 21°C en hiver et 24°C en été

A- *Mur*

Nom	Surface	DT	DTréf	APO	APOréf
Façades pignons en béton 1	503,70 m ²	1 500,83 W/°C	604,44 W/°C	19 050,70 W	5 918,70 W
Façades pignons en béton 2	323,13 m ²	962,80 W/°C	387,76 W/°C	8 485,36 W	2 190,05 W
Façade mitoyenne	180,57 m ²	847,37 W/°C	216,68 W/°C	6 911,95 W	1 223,83 W
Façade postérieure cage d'escalier	34,44 m ²	161,62 W/°C	41,33 W/°C	1 318,31 W	336,24 W
Façade postérieure en maçonnerie	312,18 m ²	466,05 W/°C	374,62 W/°C	5 291,56 W	3 047,88 W
Façade principale en maçonnerie	339,88 m ²	507,40 W/°C	407,86 W/°C	3 794,94 W	2 394,93 W
Total	1 693,90 m ²	4 446,07 W/°C	2 032,68 W/°C	44 852,82 W	15 111,63 W

B-Toiture

Nom	Surface	DT	DTréf	APO	APOréf
Toiture terrasse	379,67 m ²	310,33 W/°C	341,70 W/°C	1 818,71 W	4 643,74 W
Total	379,67 m ²	310,33 W/°C	341,70 W/°C	1 818,71 W	4 643,74 W

C-Plancher bas

Nom	Surface	DT	DTréf	APO	APOréf
Plancher bas	379,67 m ²	254,86 W/°C	911,21 W/°C	549,27 W	0,00 W
Total	379,67 m ²	254,86 W/°C	911,21 W/°C	549,27 W	0,00 W

E- Fenêtres

Nom	Surface	DT	DTréf	AVT	AVE	AV	AVréf
Fenêtres façade postérieure	109,44 m ²	583,68 W/°C	492,48 W/°C	7 547,34 W	919,40 W	8 466,74 W	6 282,04 W
Fenêtres façade principale	115,44 m ²	615,68 W/°C	519,48 W/°C	7 961,12 W	572,29 W	8 533,41 W	6 203,90 W
Fenêtres C.E postérieure	2,88 m ²	15,36 W/°C	12,96 W/°C	198,61 W	24,19 W	222,81 W	165,32 W
Total	227,76 m ²	1 214,72 W/°C	1 024,92 W/°C	15 707,08 W	1 515,88 W	17 222,96 W	12 651,26 W

G-Porte

Nom	Surface	DT	DT _{réf}	APO	APO _{réf}
Porte d'entree	3,60 m ²	25,06 W/°C	12,60 W/°C	236,80 W	25,37 W

III.5.1.3-Résultats de la simulation

Vérification réglementaire

Synthèse						
Echanges thermiques par transmission		Renouvellement et infiltration d'air		Dimensionnement		
Enveloppe	D = Σ DT + DR	Σ Dréf	Vérification C-3-2	A = Σ APO + Σ AV	Aréf = Σ APO _{réf} + Σ AV _{réf}	Vérification C-3-4
Enveloppe existante	6 251,04	4 323,11	1245 ❌ Non conforme	64 131,30	32 432,00	1198 ❌ Non conforme

La vérification selon DTR C 3-2

Les déperditions par transmission D_T du logement doivent vérifier:

$$D_T \leq 1,05 \times D_{réf} \quad [W/°C]$$

~~$$6251.04 \leq 4323.11 \quad [W/°C]$$~~

La vérification selon DTR C 3-4

La somme des apports calorifiques par les parois vitrées et les parois opaques aériennes doit vérifier :

$$APO (15 h) + AV (15 h) \leq 1,05 \times Aréf (15 h) [W]$$

~~$$64 131.30 \leq 32 432.00 \quad [W]$$~~

Les résultats obtenus ont montré que les déperditions par transmission calculées sont supérieures aux déperditions de référence, aussi les apports calorifiques sont supérieurs aux apports de référence, cela signifie que la consommation d'énergie est maximale et le confort thermique n'est pas assuré. Donc, le bâtiment n'est pas conforme aux normes et il nécessite une réhabilitation.

III.5.2eme étape : Amélioration de l'enveloppe bâtie par une isolation extérieure :

Pour maintenir la température de confort souhaitée dans un bâtiment, il faut apporter de la chaleur, grâce au chauffage et aussi aux apports solaires. Mais comme la chaleur ne cesse de sortir aux travers des parois, il faut apporter autant de chaleur que celle qui s'échappe. La solution est de prévoir une isolation thermique des parois du bâtiment qui permet de réduire très fortement les pertes de chaleur.

Il est indispensable d'isoler toutes les parois du volume que l'on souhaite protéger des pertes de chaleur. Il est aussi très important d'isoler les raccords entre ces parois pour diminuer les ponts thermiques.

Pour réduire ces déperditions, nous allons agir sur:

- **Type de vitrage:** Le remplacement des fenêtres en simples vitrages par des fenêtres en doubles vitrages.
- **Parois verticales de l'enveloppe:** L'isolation des parois de l'enveloppe par l'extérieur supprime les déperditions à travers les ponts thermiques.
- **Terrasse inaccessible:** L'augmentation de l'isolation du plancher terrasse.
- **Plancher bas :** par l'intégration d'un isolant du côté intérieur et sous le revêtement de sol et protégé par une chape.

Nous allons donc recalculer de nouveau les déperditions par transmission pour voir l'effet des améliorations proposées sur celles-ci.

III.5.2.1- L'isolation par l'extérieur : Quelles caractéristiques doit avoir l'isolant ?

La performance thermique est bien sûr liée aux caractéristiques thermiques de l'isolant. Les notions les plus importantes pour définir ces caractéristiques thermiques sont :

- **La conductivité thermique** (λ en $w/m^2.C$) qui représente la quantité de chaleur que laisse passer un mètre de matériau. Plus la conductivité λ est faible, plus le matériau est isolant.
- **L'épaisseur** (e en mm) Plus l'épaisseur est importante, meilleure est l'isolation.
- **La résistance thermique** (R en $m^2.K/W$) qui représente la capacité d'isolation du matériau en fonction de l'épaisseur installée. Plus R est grand, meilleure est l'isolation.
- **Le coefficient de transfert thermique** (U en $W/m^2.C$) qui représente le flux de chaleur à travers une paroi. Plus U est petit, meilleure est la performance thermique.
- **La chaleur spécifique** (en Kg/K) qui représente la quantité de chaleur (énergie) nécessaire pour élever d'un degré une masse d'un Kg de ce matériau. Elle rend compte de la capacité d'un matériau à stocker la chaleur par rapport à sa masse, c'est **l'inertie du matériau**.

Les caractéristiques thermiques seules ne suffisent pas pour définir un bon isolant. Les autres éléments à prendre en compte sont :

- Le comportement au feu ;
- La perméabilité à la vapeur d'eau ;
- Le comportement aux prédateurs ;
- La stabilité (gonflement ou dilatation) ;
- Les réactions aux agents biochimiques ;
- L'impact sur l'environnement (recyclage, principale pollution, énergie grise, ressource renouvelable ou non) ;
- L'impact sur la santé.

L'isolant le plus utilisé aujourd'hui à l'extérieur est le **polystyrène expansé, compte tenu de son rapport qualité/prix**, mais aussi le polystyrène graphité, la laine de roche, la laine de verre, voire la fibre de bois ou le chanvre. Une épaisseur élevée pouvant cependant s'avérer contraignante dans le traitement de certains points, des solutions à plus haute efficacité thermique sont parallèlement utilisées : c'est le cas du polystyrène graphite et de la mousse phénolique.

La Figure suivante donne les tranches de conductivité thermique de différents isolants et l'épaisseur nécessaire pour chacun afin d'obtenir une résistance thermique R de l'isolant de $3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

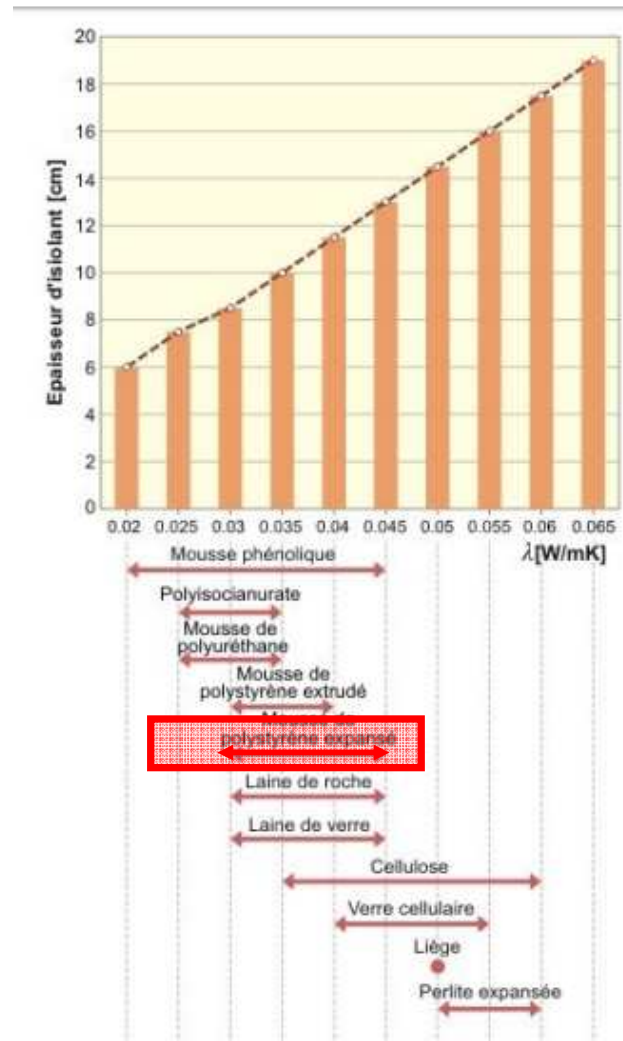


Fig.III.13 : Conductivité thermique de quelques isolants et leur épaisseur pour atteindre une résistance thermique de $3 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$

Source : Evauer l'isolation , <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=10180>

		Durabilité	Teneur au feu	Hydrofuge	Effet acoustique	Faible cout énergétique	Prix	Ecolo-gique	Recyclage	Utilisation	La conductivité thermique λ
Isolants d'origine minérale	Laine de verre	-	+	+		✗	+	✗	-	Plancher, mur, toiture	0,030 - 0,040 W/m.K
	Laine de roche	-	+	+		✗	+	✗	-	Plancher, mur, toiture	0,034 - 0,040 W/m.K
	Verre cellulaire			+		✗	✗		-	Mur, toiture, fondation	0,042 - 0,050 W/m.K
Isolants d'origine naturelle végétale/animale	Liege	+	-	+	+	+	-	-	+	Plancher, mur, toiture	0,042 W/m.K
	Fibre de bois	+	✗	+	+	+	✗	+	+	Mur, toiture, préau	0,042 W/m.K
	Laine chanvre	+	-	+	+	+	+	-	+	Plancher, mur, toiture	0,039 - 0,045 W/m.K
	Laine de bois	+	-	+	+	+	-	+	+		0,039 - 0,050 W/m.K
	Laine de lin	+	✗	+	+	+	-	+	+	Plancher, mur, toiture	0,038 - 0,042 W/m.K
	Quate de cellulose	+	-	+	+	+	✗	+	-	Plancher, mur, toiture	0,035 - 0,041 W/m.K
	Plume de canard	+	-	+	+	✗	✗	+	+	Plancher, mur, toiture	0,035 - 0,042 W/m.K
	Laine de mouton	✗	✗	+	+	+	✗	+	+	Plancher, toiture, finition	0,039 - 0,042 W/m.K
Isolants d'origine synthétique	Polyst extrude	✗	✗	✗	✗	✗	+	+	-	Plancher, mur, toiture	0,041 - 0,046 W/m.K
	Polyuréthane	+	+	+	+	+	+	+	+		0,021 - 0,035 W/m.K
Isolants réfléchissants	Réfléchissant		+	+	+	-	✗	-	✗	Plancher, mur, toiture en complément d'un autre isolant	

Tableau.III.2 ; Types d'isolants et leurs caractéristiques

Source : Réhabilitation thermique, Mémoire master, EPAU, 2015

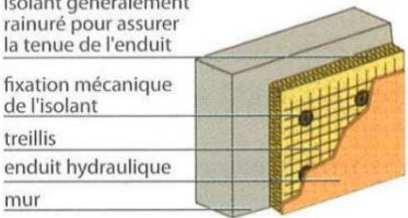

-Choix de type d'isolation et de l'isolant :

Le choix s'est porté sur l'isolation par l'extérieur vu ses avantages cité dans le précédent chapitre (voir, Ch II ; p46), et ses performances en termes d'élimination des ponts thermiques dus aux liaisons façades – planchers et de la mise en valeur de l'inertie des bâtiments. Aussi, elle est la plus adéquate dans la réhabilitation des bâtiments existants, car elle évite d'apporter les changements sur l'intérieur des logements et de créer des désagréments aux propriétaires.

Le matériau à utiliser dans notre cas est **le polystyrène expansé** vu sa capacité thermique, (voir fig.III.13 et tableau III.2) sa disponibilité et son rapport qualité /prix c'est l'isolant le plus économique.

-Eléments de l'enveloppe à améliorer avec l'isolant choisi :

Les éléments améliorés de l'enveloppe étudiée sont résumés dans le tableau ci-après :

Eléments de l'enveloppe à améliorer	Solutions proposés	Illustration
<u>L'isolation des murs :</u>	L'isolation par l'extérieur avec des plaques de polystyrène expansé. - L'enduit extérieur se fera avec un enduit hydraulique (mortier) généralement projeté. La tenue aux chocs dans les endroits exposés est meilleure et l'entretien plus aisé en zone urbaine.	 <p>isolant généralement rainuré pour assurer la tenue de l'enduit fixation mécanique de l'isolant treillis enduit hydraulique mur</p> <p><i>Fig ., : Isolation extérieure avec mortier hydraulique ⁴³</i></p>
<u>Isolation des plancher bas :</u>	Dans notre cas (plancher sur vide sanitaire remblayé) ; l'isolation en sous face entraine des travaux lourds de ce fait on préférera, l'isolation par l'intérieur vu que la hauteur du niveau RDC le permet. Toutefois, il convient de neutraliser les ponts thermiques à la jonction mur-	 <p><i>Fig . Plancher sur terre plein, prolongement de l'isolation extérieure en dessous du</i></p>

⁴³ Caroline IMBERT et Djilali MEDIOUNI, isolation thermique par l'extérieur, Direction régionale et interdépartementale de l'Équipement et de l'Aménagement d'Ile-de-France . http://www.driea.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/40_questions__corrections_SBDEC_cle6233af.pdf

	planché en prolongement en plus de l'isolation du plancher, l'isolation placée sur la face extérieure du mur en dessous du niveau du sol.	niveau du sol ⁴⁴
<u>L'isolation des toitures</u>	<p>L'isolation du plancher terrasse par l'ajout d'un isolant en polystyrène expansé de 8 cm + voile synthétique + gravillon de protection au dessus de l'étanchéité.</p> <p>1-Gravillon de protection 2-Etanchéité multicouche 3-Voile synthétique 4-Polystyrène expansé 5-dalle en béton armé 6- enduit au plâtre</p>	
<u>La réhabilitation des fenêtres et les protections solaires</u>	<p>-Les fenêtres en bois avec vitrage simple seront remplacé par des fenêtres en PVC double vitrage, aussi des protections solaires sont prévus selon l'orientation du bâtiment augmentera la performance thermique de l'ensemble.</p> <p>-Pour améliorer les caractéristiques thermiques des nouvelles fenêtres, il convient de déplacer cette dernières vers l'extérieur pour être dans le plan de l'isolant.</p>	

Fig ; fenêtres dans le plan de l'isolant

Tableau III.3 : Eléments de l'enveloppe

Source ; auteur

III.5.2.2. La configuration des éléments de l'enveloppe :

Deux simulations ont été effectuées sur l'enveloppe, en changeant l'épaisseur de l'isolant, la première est effectuée avec une épaisseur de 6 cm et la deuxième simulation est effectuée avec une épaisseur de 10 cm d'isolant.

⁴⁴ MERZEG Abdelkader : La réhabilitation thermique de l'habitat contemporain en Algérie (mémoire de magistère) 21 octobre 2010.

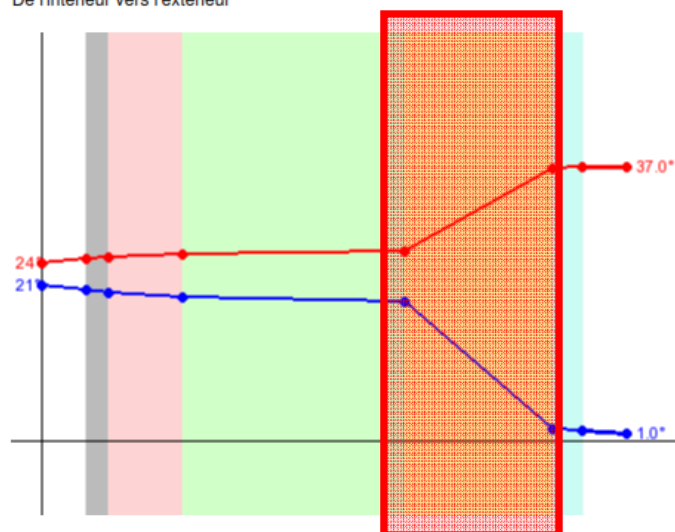
Nous allons présenter la configuration de l'enveloppe avec 10 cm d'isolant en polystyrène expansé et comparé les résultats obtenus avec les résultats de simulation avec 6 cm d'épaisseur (voir annexe) ainsi que les résultats de l'état existant pour évaluer les apports et déperditions calorifiques obtenus et choisir la solution la plus favorable des deux.

A- Les murs des façades pignons en béton armé ;

Matériau	Conductivité	Epaisseur	Résistance
Plâtre courant d'enduit intérieur	0,35 W/m.°C	0,02 m	0,04 m ² .°C/W
Brique creuse	0,48 W/m.°C	0,05 m	0,10 m ² .°C/W
Béton plein	1,75 W/m.°C	0,15 m	0,09 m ² .°C/W
Polystyrène expansé	0,04 W/m.°C	0,10 m	2,63 m ² .°C/W
Mortier de ciment	1,40 W/m.°C	0,02 m	0,01 m ² .°C/W
Total		0,34 m	2,88 m ² .°C/W

Profile de température :

De l'intérieur vers l'extérieur



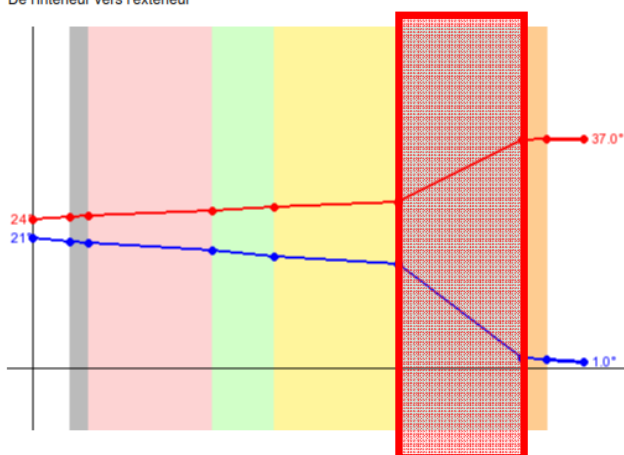
Couche	Température Hiver	Température Été
Température intérieure	21,00 °C	24,00 °C
Température de surface intérieure	20,28 °C	24,43 °C
1- Plâtre courant d'enduit intérieur	20,00 °C	24,62 °C
2- Brique creuse	19,31 °C	25,06 °C
3- Béton plein	18,75 °C	25,43 °C
4- Polystyrène expansé	1,49 °C	36,77 °C
5- Mortier de ciment	1,39 °C	36,83 °C
Température de surface extérieure	1,39 °C	36,83 °C
Température extérieure	1,00 °C	37,00 °C

B-Mur en maçonnerie des façades principale et postérieure ;

Matériau	Conductivité	Epaisseur	Résistance
Plâtre courant d'enduit intérieur	0,35 W/m.°C	0,02 m	0,04 m ² .°C/W
Brique creuse	0,48 W/m.°C	0,10 m	0,21 m ² .°C/W
Lame d'air pour mur de 24 à 50 mm	0,00 W/m.°C	0,05 m	0,16 m ² .°C/W
Brique creuse	0,48 W/m.°C	0,10 m	0,21 m ² .°C/W
Polystyrène expansé	0,04 W/m.°C	0,10 m	2,63 m ² .°C/W
Mortier de ciment	1,40 W/m.°C	0,02 m	0,01 m ² .°C/W
Total		0,39 m	3,27 m ² .°C/W

Profile de température :

De l'intérieur vers l'extérieur



Couche	Température Hiver	Température Été
Température intérieure	21,00 °C	24,00 °C
Température de surface intérieure	20,36 °C	24,38 °C
1- Plâtre courant d'enduit intérieur	20,11 °C	24,55 °C
2- Brique creuse	18,90 °C	25,34 °C
3- Lambe d'air pour mur de 24 à 50 mm	17,97 °C	25,95 °C
4- Brique creuse	16,75 °C	26,75 °C
5- Polystyrène expansé	1,43 °C	36,79 °C
6- Mortier de ciment	1,35 °C	36,85 °C
Température de surface extérieure	1,35 °C	36,85 °C
Température extérieure	1,00 °C	37,00 °C

D-Plancher bas :

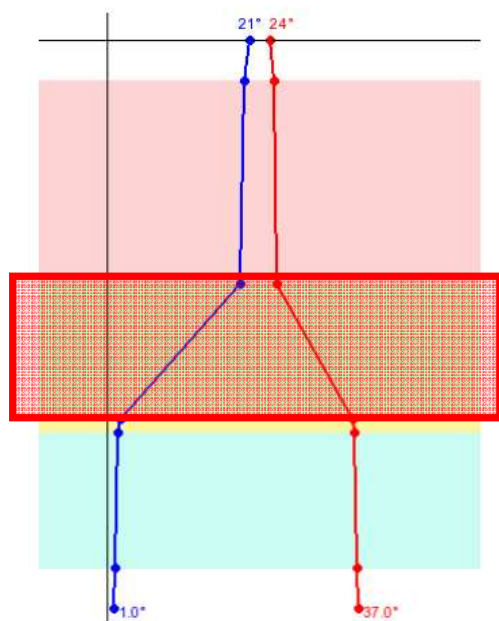
Matériau	Conductivité	Epaisseur	Résistance
Béton plein	1,75 W/m.°C	0,15 m	0,09 m ² .°C/W
Polystyrène expansé	0,05 W/m.°C	0,10 m	2,17 m ² .°C/W
Produits en céramique carreaux et dalles	1,00 W/m.°C	0,03 m	0,03 m ² .°C/W
Total		0,28 m	2,29 m ² .°C/W

E –Toiture terrasse ;

Matériau	Conductivité	Epaisseur	Résistance
Béton plein	1,75 W/m.°C	0,15 m	0,09 m ² .°C/W
Polystyrène expansé	0,04 W/m.°C	0,10 m	2,50 m ² .°C/W
Cartons feutres et chapes ouples imprégnées	0,23 W/m.°C	0,01 m	0,04 m ² .°C/W
Gravier	2,00 W/m.°C	0,10 m	0,05 m ² .°C/W
Total		0,36 m	2,68 m ² .°C/W

Profile de température :

De l'intérieur vers l'extérieur



Couche	Température Hiver	Température Eté
Température intérieure	21,00 °C	24,00 °C
Température de surface intérieure	20,36 °C	24,72 °C
1- Béton plein	19,75 °C	25,11 °C
2- Polystyrène expansé	2,02 °C	36,40 °C
3- Cartons feutres et chapes ouples imprégnées	1,71 °C	36,59 °C
4- Gravier	1,35 °C	36,82 °C
Température de surface extérieure	1,35 °C	36,82 °C
Température extérieure	1,00 °C	37,00 °C

III.5.2.3. synthèse des résultats pour des conditions internes de 21°C en hiver et 24°C en été Les murs :

A- Les murs :

Nom	Surface	DT	DTréf	APO	APOréf
Façades pignons en béton 1	503,70 m2	198,27 W/°C	604,44 W/°C	901,08 W	5 918,70 W
Façades pignons en béton 2	323,13 m2	132,93 W/°C	387,76 W/°C	604,39 W	2 190,05 W
Façade mitoyenne	180,57 m2	432,13 W/°C	216,68 W/°C	1 516,79 W	1 223,83 W
Façade postérieure cage d'escalier	34,44 m2	14,86 W/°C	41,33 W/°C	67,61 W	336,24 W
Façade postérieure en maçonnerie	312,18 m2	109,05 W/°C	374,62 W/°C	792,05 W	3 047,88 W
Façade principale en maçonnerie	339,88 m2	123,45 W/°C	407,86 W/°C	896,99 W	2 394,93 W
Total	1 693,90 m2	1 010,69 W/°C	2 032,68 W/°C	4 778,90 W	15 111,63 W

B -La toiture :

Nom	Surface	DT	DTréf	APO	APOréf
Toiture Terrasse	379,67 m2	161,61 W/°C	341,70 W/°C	965,27 W	4 643,74 W
Total	379,67 m2	161,61 W/°C	341,70 W/°C	965,27 W	4 643,74 W

B- Les fenêtres:

Nom	Surface	DT	DTréf	AVT	AVE	AV	AVréf
Fenêtre façade postérieure	109,44 m2	242,20 W/°C	492,48 W/°C	3 135,84 W	1 222,82 W	4 358,66 W	4 820,66 W
Fenêtres C.E postérieure	2,88 m2	10,63 W/°C	12,96 W/°C	137,19 W	32,18 W	169,37 W	126,86 W
Fenêtres façade principale	115,44 m2	512,55 W/°C	519,48 W/°C	6 609,17 W	5 722,89 W	12 332,06 W	6 203,90 W
Total	227,76 m2	765,38 W/°C	1 024,92 W/°C	9 882,20 W	6 977,89 W	16 860,09 W	11 151,42 W

D- Le plancher bas :

Nom	Surface	DT	DTréf	APO	APOréf
Plancher bas	379,67 m2	254,86 W/°C	911,21 W/°C	22,88 W	0,00 W
Total	379,67 m2	254,86 W/°C	911,21 W/°C	22,88 W	0,00 W

III.5.2.4 .Résultats des simulations thermiques

Des simulations des scenarios, on obtient les résultats suivants :

a) Scénario A / Avec 06 cm d'isolant + double vitrage :

En été :

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4	
31,98 W	7 668,88 W	19 780,74 W	16 860,09 W	11 151,42 W	0,79	Conforme

En hiver :

DT	Dréf	Vérification C-3.2	
2 519,46 W/°C	4 323,11 W/°C	0,58	Conforme

Résultats de calcul

Synthèse						
Echanges thermiques par transmission		Renouveaulement et infiltration d'air		Dimensionnement		
Enveloppe	D = Σ DT + DR	Σ Dréf	Vérification C-3.2	A = Σ APO + Σ AV	Aréf = Σ APOréf + Σ AVréf	Vérification C-3.4
enveloppe améliorée	2 519,46	4 323,11	0,58	24 528,97	30 932,16	0,79

b) Scénario B / Avec 10 cm d'isolant +double vitrage :

En été :

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4	
22,88 W	5 980,97 W	19 780,74 W	16 860,09 W	11 151,42 W	0,74	Conforme

En hiver :

DT	Dréf	Vérification C-3.2	
2 217,59 W/°C	4 323,11 W/°C	0,51	Conforme

Résultats de calcul

Vérification réglementaire

Synthèse						
Echanges thermiques par transmission		Renouveaulement et infiltration d'air		Dimensionnement		
Enveloppe	D = Σ DT + DR	Σ Dréf	Vérification C-3.2	A = Σ APO + Σ AV	Aréf = Σ APOréf + Σ AVréf	Vérification C-3.4
enveloppe améliorée	2 217,59	4 323,11	0,51	22 841,06	30 932,16	0,74

II.5.3. Interprétation des résultats :

Enveloppe	D=Σ DT+DR	Σ Dréf	Vérification C-3.2	A=Σ APO+Σ AV	Aréf	Vérification C-3.4
Enveloppe existante	6251.04	4323.11	1,45 Non conforme	64 131.30	30 932.16	1,98 Non conforme
Db vitrage +polystyrène 6 cm	2519.44	4323.11	0,55 Conforme	24 528.97	30 932.16	0,79 Conforme
Db vitrage +polystyrène 10 cm	2217.59	4323.11	0,51 Conforme	22 841.06	30 932.16	0,74 Conforme

Tableau .III.4 : Resultats des scenarios de simulation

Source ; Auteur

Les améliorations apportées à l'enveloppe du logement ont permis d'augmenter la résistance thermique cela signifie une réduction des déperditions thermiques par transmission, une diminution de la consommation d'énergie vis-à-vis des besoins de chauffage et de climatisation.

Et donc, les déperditions de référence seront supérieures aux déperditions de transmission, cela indique que le logement est conforme aux normes de la réglementation thermique.

Du tableau, on remarque que les déperditions obtenues avec 10 cm de l'isolant en polystyrène sont moins importantes à déperditions obtenues avec 6 cm d'isolant.

Aussi, les apports obtenus en été avec la simulation de 10 cm d'épaisseur de l'isolant sont inférieurs aux apports obtenus avec 6 cm d'isolant.

De ce qui précède, on optera dans notre choix à la simulation avec 10 cm d'isolant car plus efficace et permet de réduire la facture énergétique.

La somme des déperditions et des apports calculés par élément de l'enveloppe avec 10 cm sont résumés dans le tableau suivant et comparé avec celle du cas avant réhabilitation.

Eléments	Vérification C-3.2 HIVER			Vérification C-3.4 ETE		
	DT existant	DT amélioré	Gains %	APO existant	APO amélioré	Apport Evités %
Mur	4 446,07 W/°C	1010,69 W/°C	77%	44 852,82 W	4 778,90 W	89%
Toiture terrasse	310,33 W/°C	161,61 W/°C	48%	1 818,71 W	965,27 W	47%
Plancher bas	254,86 W/°C	254,86 W/°C	0	549,27 W	22,88 W	95%
Fenêtres	1 214,72 W/°C	765,38 W/°C	37%	17 222,96 W	16 860,09 W	21%
Porte	25,06 W/°C	25,06 W/°C	0	549,27 W	236,80 W	56%
TOTAL	6251.04 W/°C	2217.59 W/°C	64%	64 131.30 W	22 841.06 W	64%

Tableau III.5 : Evaluation des gains du scénario B

Source : auteur

Du tableau, on remarque que les gains d'énergie effectués après la réhabilitation en hiver ainsi que les apports évités durant l'été, constituent plus de 60% du cas existant (avant réhabilitation), une optimisation de la consommation d'énergie seront réalisés en conséquence.

Cela se traduit par des économies de dépenses d'électricité ou de gaz selon le procédé du conditionnement d'air utilisé. Et par conséquent, cette amélioration permet aussi d'agir sur l'environnement par la réduction des émissions de gaz à effet de serre, et aussi sur la consommation des énergies fossiles.

Conclusion ;

Le calcul du bilan de déperditions thermiques a permis de déterminer l'identité Thermique du logement, et également de vérifier les effets sur l'impact de la réglementation thermique.

Les simulations élaborées à l'aide du code de calcul est une approche très importante car elle nous permet de constater l'influence des éléments réhabilités sur la température de l'ambiance intérieure d'un coté et sur les besoins énergétiques d'un autre coté; de même de pouvoir choisir, les meilleures solutions qui permettront l'amélioration les performances thermiques de l'enveloppe.

Les résultats obtenus des deux étapes ont montré que l'isolation thermique de l'enveloppe et le type de vitrage sont parmi les solutions les plus efficaces qui permettent une réduction notable des besoins énergétiques. Ils constitueront en effet une barrière aux échanges thermiques.

Conclusion générale :

La rareté des ressources naturelles et des énergies fossiles non renouvelables, favorisent le changement de comportement vers des modes de production et de consommation plus durable.

Le secteur du bâtiment représente pour l'Algérie un formidable gisement d'économie d'énergie et de réduction de gaz à effet de serre.

Consciente de cela, la législation algérienne a pris des dispositions réglementaires depuis de longues années avec la promulgation de loi n°99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie et particulièrement le décret exécutif 14-27 du 01 février 2014 ,fixant les prescriptions urbanistiques, architecturales et techniques applicables aux constructions des wilayas du Sud. Certes ces efforts sont importants, mais jugés insuffisants, vu le retard considérable constaté en matière d'efficacité énergétique des bâtiments résidentiels existants, qui a été particulièrement négligé en Algérie, mais devenu en raison de la crise de l'énergie un des principaux thèmes dans le domaine de la construction.

L'Objectif étant de contribuer à l'établissement d'une démarche de réhabilitation adapté à notre contexte et qui se conformera à la réglementation thermique en vigueur (RT) et servira de référence.

Dans ce sens, la remise en question de l'enveloppe architecturale existante et sa dépendance des agents climatiques, de même son incidence sur le confort thermique et tant à démontrer l'importance d'une opération de réhabilitation énergétique d'un bâtiment.

En effet, dans le secteur des bâtiments résidentiels existants la rénovation constitue une priorité à travers le monde. L'amélioration énergétique des bâtiments existants est une démarche écologique qui permet de lutter contre le réchauffement climatique et la réduction des gaz à effet de serre.

Des prospections montrent que le plus grand gisement se situe au niveau de l'enveloppe. Le concept majeur de la rénovation ou réhabilitation thermique est de réduire les déperditions en saison froide et les gains en saison chaude, et pour cela il faut améliorer chacune des composantes de l'enveloppe sachant qu'une mauvaise conception thermique induit un surdimensionnement des équipements et une surconsommation d'énergie ce qui a un coût financier et environnemental.

Aujourd'hui le comportement des bâtiments des points de vue thermiques en corrélation avec le climat et les conditions économiques fait objet de nombreuses études et recherches dans tous les pays, mais elles ne sont pas axées sur un climat similaire au climat algérien.

Dans ce contexte, l'APRUE en collaboration avec les experts internationaux de la coopération allemande au développement (GIZ), ont mis en place un outil de calcul

thermique dans le bâtiment qui est le logiciel CT BAT , ce dernier permet d'offrir aux professionnels de la branche et aux maîtres d'œuvres les outils de planification et de conception pour la réalisation de bâtiments à haute performance énergétique et conforme à la réglementation thermique nationale en vigueur (DTR C3-2 et C3-4).

En effet , ce logiciel permet d'adopter les solutions les plus avantageuses d'un point de vue isolation, adaptées au climat et aux conditions techniques et économiques locales afin de répondre aux exigences de confort et d'éviter les défauts, qui se traduisent par de sérieux dégâts, surtout dans les constructions à grande répétitivité comme dans le cas étudié qui concerne un bâtiment réalisé avec un système industriel qu'est le coffrage tunnel et qui demandent de grands efforts pour les améliorer .

Après analyse des résultats de la simulation thermique sur un immeuble collectif existant construit dans une région climatique méditerranéenne et de montagne (AZAZGA), avec comme système constructif, le coffrage tunnel et ce, en introduisant les caractéristiques spécifiques à l'enveloppe, au climat et à l'altitude, on constate l'inefficacité de ce modèle de construction à protéger ses occupants des variations climatiques de l'ambiance extérieure. Cette défaillance est due essentiellement à la négligence des spécificités climatiques de la région d'implantation dans la conception de cette construction. Une simple et seule mesure de réhabilitation (isolation thermique), permet des gains énergétiques importants en termes de chauffage et de climatisations, ce qui conduira évidemment à la baisse de la facture énergétique.

Ces gains énergétiques ont été réalisés après une série de simulations à des températures de confort qui sont de 21°C en hiver et de 24°C en été , en variant l'épaisseur de l'isolant choisi qui est le polystyrène expansé , dont la conductivité thermique est équivalente à 0.035W/m°C , et l'emplacement de celui-ci du côté externe de la masse thermique, ainsi que le type de vitrage et de voir celles qui correspondent au mieux à notre bâtiment.

Celles qui semblent constituer un bon compromis sont les suivantes :

- L'isolation de toutes les parois extérieures du volume ;
- L'isolation de la toiture ;
- Protection des baies vitrées exposées par l'utilisation du double vitrage peu émissif, vu les fonctions thermiques du vitrage initial (simple vitrage) qui sont souvent contradictoires : en augmentant les gains solaires en été et les déperditions thermiques en hiver, le vitrage constitue une source de surchauffe et d'inconfort. Le choix du double vitrage avec un coefficient de transmission thermique surfacique aussi bas que possible et à faible émissivité s'avère une nécessité.

La mise en œuvre de ces différentes mesures a permis de réduire les consommations d'énergie pour le chauffage et la climatisation de plus de 60%. Ce qui nous permet de répondre à notre problématique qu'est, l'efficacité de la réhabilitation thermique de

l'enveloppe à travers une isolation extérieure, et qui montre que le choix de cette dernière a une incidence notable sur le confort thermique, elle est toujours considérée comme étant l'élément principal de la régulation thermique des échanges de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur.

Enfin, isoler nos habitations permet donc d'assurer à la fois le confort et réduit le coût de la facture énergétique. Il est devenu donc plus que nécessaire d'introduire la propriété d'isolation de la couverture des bâtiments comme exigence dans les cahiers des charges élaborés dans le secteur du bâtiment et qui sera spécifique à chaque région climatique du pays.

A noter que l'isolation thermique seule ne suffit pas pour obtenir un bâtiment ayant une haute performance énergétique. Il faut aussi que le bâtiment soit étanche à l'air et équipé d'une ventilation régulée avec, idéalement, une récupération de chaleur.

Il faut dès à présent mettre en place une stratégie permettant d'initier des programmes, des actions dans les domaines de la thermique du bâtiment et la maîtrise de l'énergie, orientés vers tous les utilisateurs, la sensibilisation, l'information, la mise en place d'une réglementation efficiente et incitative doivent être les outils pour assurer un développement durable en harmonie avec son environnement.

Par ailleurs encourager la démarche participative qui permet de faire participer des habitants aux décisions de la vie de la cité est essentiel dans la mise en place d'une politique de développement durable. Aussi, adopter des prix subventionnés de l'énergie, et utiliser d'autres indicateurs qui ont un grand impact tels que la subvention par l'état des audits énergétiques. Cette disposition, promeut l'EE dans les bâtiments et a développé l'adoption de certificats et labels de PE.

- ADEME**. Perspectives énergétiques mondiales / Les politiques d'efficacité énergétique dans le Monde : Ce qui fonctionne et ce qui ne fonctionne pas.
- Anne De Béthencourt, et Jacky Chorin** : Efficacité énergétique : un gisement d'économies ; un objectif prioritaire. Paris, 2013 : Les éditions des JOURNAUX OFFICIELS, 2013. 978-2-11-120906-0/0767-4538.
- APRUE**- Programme de développement de l'efficacité énergétique à l'horizon 2030 .Edition 2015
- APRUE** ; Rapport des consommations annuelles de 2007-
- APRUE** : Un guide pour rationaliser la consommation énergétique dans le secteur du bâtiment - novembre 2015.
- APRUE** ; agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie, Consommation énergétique finale en Algérie, chiffres clés année 2012.Edition 2014.
- APRUE**. Revue de presse – mars 2016 –
- ASHRAE**: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
- BET-ECIC : Bureau d'études et contrôles thermique** : Rapport de mission, audit énergétique bâti , tour de la tour Angel K .2013 .
- BET SCP ADS Progress** : POS ; Plan d'occupation de sol du pole urbain d'IMLEL AZAZGA, édition finale. 2016.
- CHABANE Lila** : Contribution à la définition d'une procédure d'audit énergétique dans l'habitat en Algérie .EPAU .2010 .
- CNERIB** .document technique réglementaire (DTR C2.3 et C3.4) .réglementation thermique du bâtiment .juin 2011.
- Dimitri Molle, Pierre –Manuel Patry** :RT 2012 et RT Existant ,Réglementation thermique et efficacité énergétique .Eyrolles, 2011.
- Eugene Dumitriu-Valcea** : Isolation thermique des constructions en Algérie , Unité Ahmed Zabana –Alger 1986 .
- Extrait du Portail Algérien des ENERGIES RENOUVELABLES** ; Utilisation rationnelle de l'énergie en Algérie : Quels efforts à faire et comment y parvenir ? Dans actualité du dimanche 2 août 2015.
- FOURA .S** : Simulation des paramètre du confort thermique d'hiver en Algérie , mémoire de doctorat en science , université MENTOURI de Constantine.2008
- Françoise Rouxel –Dominique Rist** : Le développement durable, approche méthodologique dans les diagnostics territoriaux .CERTU 2000.
- Groupe d'étude des marchés** : guide relatif à l'efficacité énergétique dans le bâtiment : application à un établissement scolaire. mars 2013.
- Henri Duthu ,Daniel Montharry , Michel Platzer** : La technique du bâtiment tous corps d'Etat , 2ème édition , le moniteur , Paris 1999.

- Jean-Pierre Oliva et Samuel Courgey**, l'isolation Thermique, paris (22 mars **2010**).
- MAZARI Mohamed** : Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public : cas du département d'architecture TAMDA (Tizi Ouzou), Université Mouloud Mammeri, 2012.
- MERZEG Abdelkader** : La réhabilitation thermique de l'habitat contemporain en Algérie (mémoire de magistère, université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou , 2010.
- Ministère de l'énergie** : Programme national sur l'efficacité énergétique (2016-2030)
- Ministère de l'écologie**, de l'énergie et du développement durable et de la mer : Réglementation thermique « Grenelle de l'environnement 2012 » 06 juillet 2010.
- Ministère de l'énergie** : Nouveau programme national sur l'efficacité énergétique (2016-2030) - Programme Algérien de Développement des Energies Nouvelles et Renouvelables et de l'Efficacité Energétique - Date de mise en ligne : mardi 24 février 2015.
- N. Kadri et A. Mokhtari**, Contribution à l'étude de réhabilitation thermique de l'enveloppe du bâtiment, Revue des Energies Renouvelables Vol. 14 N°2 (2011) 301 – 311.
- NAIT Nadia** : La réhabilitation énergétique dans les logements collectifs existants, cas du climat semi aride de Constantine, mémoire de magistère, Université MENTOURI de Constantine. 2011.
- OCDE** : ENERGIE les cinquante prochaines années, organisation de coopération et de développement économique, 1999.
- Portail Algérien des ENERGIES RENOUVELABLES** : utilisation rationnelle de l'énergie en Algérie : quel efforts à faire et comment y parvenir ? dimanche 02 Août 2015
- PREBAT, ADEME et CSTB** : comparaison internationale bâtiment et énergie. Rapport final .Décembre 2007.
- SEMMAHI Samir**, contribution méthodologique a la conception des logements à haute performance énergétique (HPE) en Algérie (Développement d'une approche de conception dans les zones arides et semi-arides) mémoire de magister .EPAU . 2013.
- SEOUD .S** : Audit énergétique de bâtiments tertiaires- cas de trois bâtiments existants à Alger, mémoire de magistère, LAE , EPAU .2012 .
- Salomon, T .et Bedel, S** : La maison des [mega ,watt , le guide malin de l'énergie chez soi] Édition terre vivante. 2004.
- Thierry Gallauziaux, David Fedullo** : Isolation thermique – comme un pro, édition eyrolles, Paris, 2011.
- United Nations for Environnement and Développement UNED** : division des nations unies chargée des problèmes liés à l'environnement et le développement.

- [file:///C:/Users/ASUS/Downloads/1099061%20\(4\).pdf1](file:///C:/Users/ASUS/Downloads/1099061%20(4).pdf1)
- [file:///C:/Users/ASUS/Downloads/1099061%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/ASUS/Downloads/1099061%20(2).pdf)
- <https://portail.cder.dz/spip.php?article661>
- <http://groupe.afnor.org/pdf-portail/afnor-moniteur-normes-performance-energetique-2013.pdf>
- <http://www.cnerib.edu.dz/Réglementation.htm>
- http://www.rtbatiment.fr/fileadmin/documents/RT2012/06_07_2010_generalisation_des_batiments_a_basse_consommation.pdf
- <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Chapitre-II-La-RT-existant-globale.html>
- http://www.nobatek.com/simul_offre.html
- <http://btp-dz.com/rehabiliter-la-table-banche-et-developper-le-coffrage-tunnel/>
- http://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/daj/marches_publics/oeap/gem/efficacite_energetique_etabliss_scolaire/efficacite_energetique_etabliss_scolaire.pdf
- <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=10250>
- <http://portail.cder.dz/spip.php?article4693>
- [file:///C:/Users/ASUS/Downloads/1099061%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/ASUS/Downloads/1099061%20(2).pdf)
- file:///C:/Users/ASUS/Downloads/ISOLANTS_ECOLOGIQUES.pdf
- http://lapsuske.brubel.net/IMG/pdf/demande_mondiale_energie_reserves.pdf
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Ressources_et_consommation_%C3%A9nerg%C3%A9tiques_mondiales
- http://www.energy.gov.dz/francais/uploads/2016/Bilans_et_statistiques_du_secteur/Bilan_Energetique_National/Bilan_Energetique_National_2014.pdf
- <http://www.jnlog.com/pdf/cifq2001.pdf>

Introduction	1
Problématique :	2
Hypothèses :	3
Objectifs de la recherche :	4
Méthodologie et outil de recherche :	4
Etat de l'art :	7
Chapitre I.....	10
Le bâtiment face aux enjeux énergétiques planétaires	10
(Entre Consommation et efficacité énergétique).....	10
Introduction	11
I.1 Les enjeux énergétiques à l'échelle planétaire :	11
I.2 Objectifs des politiques énergétiques :	13
I.3.La consommation énergétique et émissions en dioxyde de Carbone (CO2) :.....	13
I.3.1 La consommation énergétique dans le monde :	13
I.3.1.1 Par type de produit	14
I.3.1.2 Par secteur d'activité	14
I.3.2 Consommation énergétique en Algérie : Etude de l'APRUE	15
I.3.2.1 Par type de produit	17
I.3.2.2 Par secteur d'activité	18
I.3.2.3 Répartition de la consommation du secteur résidentiel par type d'énergie	19
I.3.3.Emissions en dioxyde de carbone (CO2)	19
I.3.3.1 Par type d'énergie	19
I.3.3.2 Par secteur d'activité).....	19
I.4. L'efficacité énergétique :	20
I.4.1 Qu'entend-on par efficacité énergétique ?	20
I.4.2 Type d'efficacité énergétique:.....	21
I.4.3 Les leviers d'action de l'efficacité énergétique :	22
I.5. Stratégie de maîtrise de l'énergie :	24
I. 5.1 Dans le monde :	24
I.5.2. En Algérie :	25
I.5.2.1. Programme nationale des énergies renouvelables	26
I.5.2.2.Programme national d'efficacité énergétique	27
I.6. Classification des bâtiments efficace énergétiquement :	29
I.6.1. Bâtiments performants « basse énergie » :	29
I.6.2 Bâtiments très performants « Très basse énergie »	29
I.6-3 Bâtiment à énergie positive « zéro énergie »	30

I.7. Le certificat de performance énergétique (certificat PEB):.....	30
I.8-Les labels de performance énergétique:.....	31
Conclusion :	33
Chapitre II :La réhabilitation thermique ou l'introduction du concept de l'efficacité énergétique dans l'habitat existant.	34
Introduction	35
II.1 La notion du confort thermique :	35
III.1.1 Principes de base :	36
II.1.2 .Les différents types de déperditions :	37
II.2. La réhabilitation thermique:.....	38
II.2.1-Problèmes fréquents et solutions efficaces à mettre en œuvres ;.....	39
II.2.2. La réhabilitation thermique en Algérie :	41
II.2.1.1 Le programme ECO. BAT	41
II.2.1.2 Autres programmes et actions	42
II.3 L'isolation thermique dans le bâtiment :	42
II.3.1 Le principe de l'isolation thermique ;.....	42
II.3.2 Type d'Isolations :	42
II.3.3 Les ponts thermiques :	44
II.3.4. Le choix de l'isolant :	45
II.4.Aspect réglementaire du confort thermique en Algérie.....	46
II.4.1. Le D.T.R. C 3.2 : Règles de calcul des déperditions calorifiques	46
II.4.2 Le D.T.R. C 3.4 : Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments.....	47
II.5. Exemple d'étude de réhabilitation thermique :	47
II.5.1 La réglementation thermique RT 2012 en France	48
II.5.1.1 Trois exigences de résultats pour respecter la RT 2012.....	48
II.5.1.2 En complément : quelques exigences de moyens.....	49
II.5.1.3 La réglementation thermique dans l'existant	50
a) RT existant globale	50
b) RT existant par élément.....	50
II.5.2 Description du bâti : état et composition	50
II.5.3. Description du système de ventilation naturelle :	52
II.5.4 Bilan énergétique des consommations collectives de chauffage et d'Eau Chaude Sanitaire :	54
II.5.5 Amélioration de la performance énergétique.....	55
II.5.5.1 Déperditions actuelles de l'enveloppe.....	55
II.5.5.2 Etablissement des scénarios et évolution des déperditions.....	56
II.5.5.3 Evolution de l'étiquette type DPE en fonction du scénario.....	58

II.5.6 Investissement et temps de retour :	58
II.5.7 Résultats des calculs de consommations conventionnelles : méthode réglementaire ThCEEx	59
II.5.8 Thermographie infrarouge :	59
II.5.9 .Solutions techniques existantes pour les rénovations thermiques.	62
a) Façade isolée par l'extérieur.....	62
b) La ventilation	63
Conclusion :	64
Chapitre III : Simulation de l'effet de la réhabilitation thermique de l'enveloppe avec l'outil CT BAT (Cas d'un immeuble collectif à AZAZGA).....	65
Introduction	66
III-1- Simulations thermiques dans le bâtiment :	66
III.1.1.Les outils de simulation thermiques :	66
III-1-2-Présentation du logiciel CT BAT :	72
III.2.Choix du cas d'étude :	75
III.3.Simulation thermique d'un immeuble d'habitation existant à AZAZGA :	75
III.4. Présentation du cas d'étude :	76
III.4.1 Situation du projet :	76
III.4.2. Données climatiques de la ville d'AZAZGA;	77
III.4.3.Caractéristique générales du cas d'étude :	78
III.4.3.1.Orientation	78
III.4.3.2.Enveloppe.	78
III.4.3.2.Le système constructif	79
III.4.4. Éléments constitutifs de l'immeuble d'habitation :	81
III.5. Analyse énergétique du projet et vérification du respect des normes du DTR avec CTBAT: .	83
III.5.1.Principes de calcul :	83
III 5.1.1 Selon DTR C 3-2.	83
III.5.1.2 Selon DTR C 3-4.	85
III.5.1. 1ere étape: composition des éléments constitutifs de l'enveloppe existante :	87
III.5.1.1 Données technique de l'enveloppe 1 : avant réhabilitation.....	89
III.5.2.2- Synthèse des résultats pour des conditions internes de 21°C en hiver et 24°C en été ..	92
III.5.2.3 -Résultats de la simulation	93
III.5.2 2eme étape : Amélioration de l'enveloppe bâtie par une isolation extérieure :	94
III.5.2.1 L'isolation par l'extérieur : Quelles caractéristiques doit avoir l'isolant ?	94
-Choix de type d'isolation et de l'isolation	98

-Eléments de l'enveloppe à améliorer avec l'isolant choisi	98
III.5.2.2.La configuration des éléments de l'enveloppe avec 10 cm d'isolant en polystyrène expansé	99
III.5.2.3. Synthèse des résultats pour des conditions internes de 21°C en hiver et 24°C en été.....	103
III.5.2.4.Résultats des simulations	104
a) Scénario A / Avec 06 cm d'isolant + double vitrage	104
b) Scénario B / Avec 10 cm d'isolant + double vitrage	104
II.5.3. Interprétation des résultats :.....	105
Conclusion ;.....	106
Conclusion générale :.....	107
Bibliographie et webographie	110
Table des matière	113
Annexes	117

ANNEXES



Rapport de calcul thermique

Etude d'une réhabilitation thermique d'un immeuble collectif

Etude d'une réhabilitation thermique d'un immeuble collectif

Localisation :

Date :

Phase :

Maitre d'ouvrage :

Maitre d'oeuvre :

Calcul thermique :

VISAS

Maitre d'ouvrage

Maitre d'oeuvre

SOMMAIRE

Enveloppe existante

Façades pignons en béton 1

Façades pignons en béton 2

Façade mitoyenne

Toiture terrasse

Façade postérieure cage d'escalier

Façade postérieure en maçonnerie

Façade principale en maçonnerie

Fenêtres façade postérieure

Fenêtres façade principale

Fenêtres C.E postérieure

Plancher bas

Porte d'entrée

Fiche technique du projet

Etude d'une réhabilitation thermique d'un immeuble collectif

Donnée techniques

Localisation	Altitude	Latitude	Zone Thermique Hiver	Zone Thermique Eté
	532,30 m	36,00 °	B	B

Conditions externes

Temp. externe en hiver	Temp. externe en été	Humidité spécifique	Ecart diurne
1,00°	37,00 °	11,00	15,00

Synthèse des enveloppes

Nom de l'enveloppe	Usage	Conformité Hiver C-3.2	Conformité Eté C-3.4
Enveloppe existante	habitation	Non conforme	Non conforme

Enveloppe : Enveloppe existante

Données techniques

Volume Brut	Volume Net	Usage		
1 863,17 m ³	1 490,54 m ³	Habitation	Logement en immeuble collectif	Long séjour

Temps de fonctionnement (climatisation)	Temp. interne Hiver	Temp. interne Eté
16 H	21°	24°

Synthèse des échanges thermiques en hiver

DT	Dréf	Vérification C-3.2	
6 251,04 W/°C	4 323,11 W/°C	1,45	Non conforme

Synthèse des échanges thermiques en été

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4	
549,27 W	46 908,33 W	19 780,74 W	17 222,96 W	12 651,26 W	1,98	Non conforme

Renouveaulement et infiltration d'air en hiver

QS	QV	DR	QVinf
1 370,98 m ³ /h	1 903,33 m ³ /h	1 113,27 W/°C	1 752,00 m ³ /h - Orientation: NO

Renouvellement et infiltration d'air en été

QVan	ARENs	AINFs	ARENI	AINFI	Renouvellement d'air total
1 903,33 m ³ /h	7 917,87 W	7 288,32 W	4 019,94 W	3 700,31 W	22 926,43 W

Puissance de chauffage

Cin : Coefficient de surpuissance	Cr : Coefficient des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries éventuel	Puissance de chauffage
0,15	0,00	0,0 kW

1- Toitures

Nom	Surface	DT	DTréf	APO	APOréf
Toiture terrasse	379,67 m ²	310,33 W/°C	341,70 W/°C	1 818,71 W	4 643,74 W
Total	379,67 m ²	310,33 W/°C	341,70 W/°C	1 818,71 W	4 643,74 W

2- Murs

Nom	Surface	DT	DTréf	APO	APOréf
Façades pignons en béton 1	503,70 m ²	1 500,83 W/°C	604,44 W/°C	19 050,70 W	5 918,70 W
Façades pignons en béton 2	323,13 m ²	962,80 W/°C	387,76 W/°C	8 485,36 W	2 190,05 W
Façade mitoyenne	180,57 m ²	847,37 W/°C	216,68 W/°C	6 911,95 W	1 223,83 W
Façade postérieure cage d'escalier	34,44 m ²	161,62 W/°C	41,33 W/°C	1 318,31 W	336,24 W
Façade postérieure en maçonnerie	312,18 m ²	466,05 W/°C	374,62 W/°C	5 291,56 W	3 047,88 W
Façade principale en maçonnerie	339,88 m ²	507,40 W/°C	407,86 W/°C	3 794,94 W	2 394,93 W
Total	1 693,90 m ²	4 446,07 W/°C	2 032,68 W/°C	44 852,82 W	15 111,63 W

3- Fenêtres

Nom	Surface	DT	DTréf	AVT	AVE	AV	AVréf
Fenêtres façade postérieure	109,44 m2	583,68 W/°C	492,48 W/°C	7 547,34 W	919,40 W	8 466,74 W	6 282,04 W
Fenêtres façade principale	115,44 m2	615,68 W/°C	519,48 W/°C	7 961,12 W	572,29 W	8 533,41 W	6 203,90 W

Nom	Surface	DT	DTréf	AVT	AVE	AV	AVréf
Fenêtres C.E postérieure	2,88 m2	15,36 W/°C	12,96 W/°C	198,61 W	24,19 W	222,81 W	165,32 W
Total	227,76 m2	1 214,72 W/°C	1 024,92 W/°C	15 707,08 W	1 515,88 W	17 222,96 W	12 651,26 W

4- Portes

Nom	Surface	DT	DTréf	APO	APOréf
Porte d'entree	3,60 m2	25,06 W/°C	12,60 W/°C	236,80 W	25,37 W

5- Planchers

Nom	Surface	DT	DTréf	APO	APOréf
Plancher bas	379,67 m2	254,86 W/°C	911,21 W/°C	549,27 W	0,00 W
Total	379,67 m2	254,86 W/°C	911,21 W/°C	549,27 W	0,00 W



Rapport de calcul thermique

Après amélioration de l'enveloppe - Scenario A

Rapport de calcul thermique pour le projet

Localisation :

Date :

Phase :

Maitre d'ouvrage :

Maitre d'oeuvre :

Calcul thermique :

VISAS

Maitre d'ouvrage

Maitre d'oeuvre

SOMMAIRE

enveloppe améliorée

Façades pignons en béton 1

Façades pignons en béton 2

Façade mitoyenne

Toiture Terrasse

Façade postérieure cage d'escalier

Façade postérieure en maçonnerie

Façade principale en maçonnerie

Fenêtre façade postérieure

Fenêtres C.E postérieure

Plancher bas

Porte d'entree

Fenêtres façade principale

Fiche technique du projet

Scenario A :

Donnée techniques

Localisation	Altitude	Latitude	Zone Thermique Hiver	Zone Thermique Eté
	532,30 m	36,00 °	B	B

Conditions externes

Temp. externe en hiver	Temp. externe en été	Humidité spécifique	Ecart diurne
1,00°	37,00 °	11,00	15,00

Synthèse des enveloppes

Nom de l'enveloppe	Usage	Conformité Hiver C-3.2	Conformité Eté C-3.4
enveloppe améliorée	habitation	Conforme	Conforme

Scenario A :

Données techniques

Volume Brut	Volume Net	Usage		
1 863,17 m ³	1 490,54 m ³	Habitation	Logement en immeuble collectif	Long séjour

Temps de fonctionnement (climatisation)	Temp. interne Hiver	Temp. interne Eté
16 H	21°	24°

Synthèse des échanges thermiques en hiver

DT	Dréf	Vérification C-3.2	
2 519,46 W/°C	4 323,11 W/°C	0,58	Conforme

Synthèse des échanges thermiques en été

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4	
31,98 W	7 668,88 W	19 780,74 W	16 860,09 W	11 151,42 W	0,79	Conforme

Renouveaulement et infiltration d'air en hiver

QS	QV	DR	QVinf
31,75 m ³ /h	894,32 m ³ /h	314,87 W/°C	78,12 m ³ /h - Orientation: NO

Renouveaulement et infiltration d'air en été

QVan	ARENs	AINFs	ARENI	AINFI	Renouvellement d'air total
894,32 m ³ /h	3 720,38 W	324,98 W	1 888,85 W	164,99 W	6 099,20 W

Puissance de chauffage

Cin : Coefficient de surpuissance	Cr : Coefficient des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries éventuel	Puissance de chauffage
0,15	0,00	0,0 kW

1- Toitures

Nom	Surface	DT	DTréf	APO	APOréf
Toiture Terrasse	379,67 m ²	161,61 W/°C	341,70 W/°C	965,27 W	4 643,74 W
Total	379,67 m ²	161,61 W/°C	341,70 W/°C	965,27 W	4 643,74 W

2- Murs

Nom	Surface	DT	DTréf	APO	APOréf
Façades pignons en béton 1	503,70 m ²	315,30 W/°C	604,44 W/°C	1 441,42 W	5 918,70 W
Façades pignons en béton 2	323,13 m ²	202,27 W/°C	387,76 W/°C	924,68 W	2 190,05 W
Façade mitoyenne	180,57 m ²	432,13 W/°C	216,68 W/°C	1 516,79 W	1 223,83 W
Façade postérieure cage d'escalier	34,44 m ²	23,21 W/°C	41,33 W/°C	106,23 W	336,24 W
Façade postérieure en maçonnerie	312,18 m ²	162,61 W/°C	374,62 W/°C	1 186,22 W	3 047,88 W
Façade principale en maçonnerie	339,88 m ²	177,04 W/°C	407,86 W/°C	1 291,47 W	2 394,93 W
Total	1 693,90 m ²	1 312,56 W/°C	2 032,68 W/°C	6 466,81 W	15 111,63 W

3- Fenêtres

Nom	Surface	DT	DTréf	AVT	AVE	AV	AVréf
Fenêtre façade postérieure	109,44 m ²	242,20 W/°C	492,48 W/°C	3 135,84 W	1 222,82 W	4 358,66 W	4 820,66 W
Fenêtres C.E postérieure	2,88 m ²	10,63 W/°C	12,96 W/°C	137,19 W	32,18 W	169,37 W	126,86 W

Nom	Surface	DT	DTréf	AVT	AVE	AV	AVréf
Fenêtres façade principale	115,44 m ²	512,55 W/°C	519,48 W/°C	6 609,17 W	5 722,89 W	12 332,06 W	6 203,90 W
Total	227,76 m ²	765,38 W/°C	1 024,92 W/°C	9 882,20 W	6 977,89 W	16 860,09 W	11 151,42 W

4- Portes

Nom	Surface	DT	DTréf	APO	APOréf
Porte d'entree	3,60 m ²	25,06 W/°C	12,60 W/°C	236,80 W	25,37 W

5- Planchers

Nom	Surface	DT	DTréf	APO	APOréf
Plancher bas	379,67 m ²	254,86 W/°C	911,21 W/°C	31,98 W	0,00 W
Total	379,67 m ²	254,86 W/°C	911,21 W/°C	31,98 W	0,00 W



Rapport de calcul thermique

Après amélioration de l'enveloppe - Scenario B

Rapport de calcul thermique pour le projet

Scenario B

Localisation :

Date :

Phase :

Maitre d'ouvrage :

Maitre d'oeuvre :

Calcul thermique :

VISAS

Maitre d'ouvrage

Maitre d'oeuvre

SOMMAIRE

enveloppe améliorée

Façades pignons en béton 1

Façades pignons en béton 2

Façade mitoyenne

Toiture Terrasse

Façade postérieure cage d'escalier

Façade postérieure en maçonnerie

Façade principale en maçonnerie

Fenêtre façade postérieure

Fenêtres C.E postérieure

Plancher bas

Porte d'entree

Fenêtres façade principale

Scenario B

Donnée techniques

Localisation	Altitude	Latitude	Zone Thermique Hiver	Zone Thermique Eté
	532,30 m	36,00 °	B	B

Conditions externes

Temp. externe en hiver	Temp. externe en été	Humidité spécifique	Ecart diurne
1,00°	37,00 °	11,00	15,00

Synthèse des enveloppes

Nom de l'enveloppe	Usage	Conformité Hiver C-3.2	Conformité Eté C-3.4
enveloppe améliorée	habitation	Conforme	Conforme

Scenario B

Données techniques

Volume Brut	Volume Net	Usage		
1 863,17 m ³	1 490,54 m ³	Habitation	Logement en immeuble collectif	Long séjour

Temps de fonctionnement (climatisation)	Temp. interne Hiver	Temp. interne Eté
16 H	21°	24°

Synthèse des échanges thermiques en hiver

DT	Dréf	Vérification C-3.2	
2 217,59 W/°C	4 323,11 W/°C	0,51	Conforme

Synthèse des échanges thermiques en été

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4	
22,88 W	5 980,97 W	19 780,74 W	16 860,09 W	11 151,42 W	0,74	Conforme

Renouveaulement et infiltration d'air en hiver

QS	QV	DR	QVinf
31,75 m ³ /h	894,32 m ³ /h	314,87 W/°C	78,12 m ³ /h - Orientation: NO

Renouveaulement et infiltration d'air en été

QVan	ARENs	AINFs	ARENI	AINFI	Renouveaulement d'air total
894,32 m ³ /h	3 720,38 W	324,98 W	1 888,85 W	164,99 W	6 099,20 W

Puissance de chauffage

Cin : Coefficient de surpuissance	Cr : Coefficient des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries éventuel	Puissance de chauffage
0,15	0,00	0,0 kW

1- Toitures

Nom	Surface	DT	DTréf	APO	APOréf
Toiture Terrasse	379,67 m ²	161,61 W/°C	341,70 W/°C	965,27 W	4 643,74 W
Total	379,67 m ²	161,61 W/°C	341,70 W/°C	965,27 W	4 643,74 W

2- Murs

Nom	Surface	DT	DTréf	APO	APOréf
Façades pignons en béton 1	503,70 m ²	198,27 W/°C	604,44 W/°C	901,08 W	5 918,70 W
Façades pignons en béton 2	323,13 m ²	132,93 W/°C	387,76 W/°C	604,39 W	2 190,05 W
Façade mitoyenne	180,57 m ²	432,13 W/°C	216,68 W/°C	1 516,79 W	1 223,83 W
Façade postérieure cage d'escalier	34,44 m ²	14,86 W/°C	41,33 W/°C	67,61 W	336,24 W
Façade postérieure en maçonnerie	312,18 m ²	109,05 W/°C	374,62 W/°C	792,05 W	3 047,88 W
Façade principale en maçonnerie	339,88 m ²	123,45 W/°C	407,86 W/°C	896,99 W	2 394,93 W
Total	1 693,90 m ²	1 010,69 W/°C	2 032,68 W/°C	4 778,90 W	15 111,63 W

3- Fenêtres

Nom	Surface	DT	DTréf	AVT	AVE	AV	AVréf
Fenêtre façade postérieure	109,44 m ²	242,20 W/°C	492,48 W/°C	3 135,84 W	1 222,82 W	4 358,66 W	4 820,66 W
Fenêtres C.E postérieure	2,88 m ²	10,63 W/°C	12,96 W/°C	137,19 W	32,18 W	169,37 W	126,86 W

Nom	Surface	DT	DTréf	AVT	AVE	AV	AVréf
Fenêtres façade principale	115,44 m ²	512,55 W/°C	519,48 W/°C	6 609,17 W	5 722,89 W	12 332,06 W	6 203,90 W
Total	227,76 m ²	765,38 W/°C	1 024,92 W/°C	9 882,20 W	6 977,89 W	16 860,09 W	11 151,42 W

4- Portes

Nom	Surface	DT	DTréf	APO	APOréf
Porte d'entree	3,60 m ²	25,06 W/°C	12,60 W/°C	236,80 W	25,37 W

5- Planchers

Nom	Surface	DT	DTréf	APO	APOréf
Plancher bas	379,67 m ²	254,86 W/°C	911,21 W/°C	22,88 W	0,00 W
Total	379,67 m ²	254,86 W/°C	911,21 W/°C	22,88 W	0,00 W

