



Laboratoire Architecture Construction et Environnement

Mémoire de Master

Architecture construction et Environnement

Thème

Evaluation de la conformité d'un bâtiment résidentiel à la réglementation thermique Algérienne et proposition de réhabilitation thermique à l'aide des outils RETA et ECOTECT

Présenté et soutenu par :

AZIDANE Abdelkhalek

Devant le jury composé de :

Président : Dr MESTOUL.D (Président)

Examineur : Mme HAMITOU-ZAIDLI (VUDD)

Examineur : Mme BERNOU.S (LVAP)

Examineur : Dr IMESSAAD (CDER)

Encadreur : Dr Dakhia Karima

Remerciements

Remerciement

Nous tenons tout particulièrement à remercier Mme K. DAKHIA pour son encadrement, sa disponibilité, ses orientations et ses conseils qui nous ont permis de mener à bien ce travail de recherche.

Nous remercions également Mr Z. AIT KACI pour ses orientations dans les simulations avec ECOTECT.

Nous remercions aussi les membres du jury qui ont accepté d'assister à la soutenance et de corriger le mémoire.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à mener à bien ce travail.

AZD_Abk

Résumé

Nous sommes dans un contexte de réchauffement climatique et de crise environnementale liée à une crise économique, et à l'échelle mondiale, les **consommations énergétiques** des ressources fossiles et non renouvelables ont atteint des seuils spectaculaires. Ce qui a poussé les pouvoirs publics à instaurer des lois et des réglementations pour une économie et une bonne maîtrise d'énergie.

Dans le secteur du bâtiment, cette volonté se traduit par les **réglementations thermiques (RT)** qui ont comme principe : un maximum du confort pour les usagers avec un usage minimum d'énergie fossile. En Algérie, l'état a adopté une politique de **maîtrise d'énergie** depuis 1999. Et en 2015, le centre de développement des énergies renouvelables (CDER) a lancé un outil de vérification réglementaire à la **RT Algérienne** nommé **RETA (REglementation Thermique Algérienne)**.

L'objectif de notre recherche est d'évaluer la conformité à la RT Algérienne d'un bâtiment résidentiel standard à l'aide de l'outil RETA, de proposer sa réhabilitation thermique et d'évaluer les gains énergétiques atteints pour le chauffage après réhabilitation.

Pour atteindre notre objectif, nous avons suivi la méthode de recherche suivante :

Premièrement, nous avons évalué la **conformité** à la RT du cas d'étude, qui est une **maison individuelle** à l'aide de **RETA**. Puis nous avons choisi le scénario le plus performant de réhabilitation thermique à l'aide du même outil qui est RETA. Enfin, nous avons évalué la réhabilitation la plus énergétiquement performante grâce à des simulations des **gains d'énergie** pour le chauffage par **RETA**, l'**Audit** et **ECOTECT**.

Les résultats obtenus ont démontré que le cas d'étude n'est pas conforme à la RT Algérienne et que la **réhabilitation thermique** proposé a permis une **économie d'énergie** de chauffage de plus de 50%. De plus, dans une perspective de réhabilitation thermique pour une efficacité énergétique, notre recherche a identifié certaines limites de la **RT Algérienne** et de son outil **RETA** qui nécessiterait d'être complétés par des outils de simulation thermique dynamique.

Mots clés : efficacité Energétique (EE), réglementation thermique (RT), réhabilitation thermique, simulation thermique statique, simulation thermique dynamique, RETA, ECOTECT, consommation énergétique, audit énergétique.

ملخص

في سياق ظاهرة الاحتباس الحراري والأزمة البيئية المتصلة بأزمة اقتصادية وعلى الصعيد العالمي وصل استهلاك الطاقة والموارد الأحفورية وغير المتجددة إلى مستويات مذهلة. وقد دفع ذلك الحكومات إلى إدخال قوانين ولوائح للاقتصاد والإدارة الجيدة للطاقة.

في قطاع البناء، ينعكس هذا في اللوائح الحرارية (RT)، والتي لديها مبدأ: أقصى قدر من الراحة للمستخدمين مع الحد الأدنى من استخدام الطاقة الأحفورية. في الجزائر، تبنت الدولة سياسة التمكن من الطاقة منذ عام 1999 وفي عام 2015، أطلق مركز تنمية الطاقة المتجددة (CDER) أداة على الانترنت تمكن تقييم التوافق مع التنظيم الحراري الجزائري اسمه (RETA).

الهدف من بحثنا هذا هو تقييم التوافق مع التنظيم الحراري الجزائري لمبنى سكني عادي عن طريق الأداة RETA ثم اقتراح إعادة تأهيله وتقييم وفورات الطاقة المستعملة في التدفئة بعد إعادة التأهيل.

ولتحقيق هدفنا، اتبعنا طريقة البحث التالية:

أولاً، قمنا بتقييم مدى الامتثال لدراسة الحالة، وهو منزل فردي باستخدام RETA. ثم اخترنا سيناريو التأهيل الحراري الأكثر كفاءة باستخدام أداة RETA. وأخيراً، قمنا بمحاكاة مكاسب الطاقة للتدفئة بعد إعادة التأهيل عن طريق RETA، التدقيق الطاقوي و ECOTECH.

وأظهرت النتائج أن الحالة المدرسة لا تتفق مع التنظيم الحراري الجزائري والتأهيل المقترح للمنزل سمح بتوفير الطاقة للتدفئة بأكثر من 50٪. وعلاوة على ذلك، وفي وجهة نظر مستقبلية وبغية تحديث التنظيم والاداة، حدد بحثنا بعض القيود المفروضة على التنظيم الحراري الجزائري وأداة RETA التي تحتاج إلى أن تستكمل بأدوات المحاكاة الحرارية الديناميكية.

كلمات البحث: كفاءة الطاقة (EE)، التنظيم الحراري (RT)، وإعادة التأهيل الحراري، والمحاكاة الحرارية الثابتة، والمحاكاة الحرارية الديناميكية، RETA، ECOTECH واستهلاك الطاقة والتدقيق الطاقوي.

Abstract

In a context of global warming and environmental crisis linked to an economic crisis, and worldwide, the energy consumption of fossil and non-renewable resources reached spectacular thresholds. This has prompted governments to introduce laws and regulations for an economy and good energy management.

In the building sector, this is reflected in the thermal regulations (RT), which have as a principle: maximum comfort for users with minimal use of fossil energy. In Algeria, the State has adopted an energy control policy since 1999, and in 2015, the Renewable Energy Development Center (CDER) has launched a regulatory verification tool at the Algerian RT called RETA (REglementation Thermique Algérienne).

The objective of our research is to evaluate the conformity to the Algerian RT of a standard residential building using the RETA tool, propose its thermal rehabilitation and evaluate the energy gains achieved for heating after rehabilitation.

To achieve our objective, we followed the following research method:

First, we evaluated the compliance with RT of the building, which is an individual house using RETA. Then we chose the most efficient thermal rehabilitation scenario using the RETA tool. Finally, we evaluated the most energy efficient rehabilitation by simulating energy savings for heating by RETA, Audit and ECOTECT.

The results obtained showed that the building did not conform to the RT and that the proposed thermal rehabilitation of the building resulted in a heating energy savings of more than 50%. In addition, with a view to thermal rehabilitation for energy efficiency, our research has identified some limitations of Algerian RT and its RETA tool, which would need to be supplemented by dynamic thermal simulation tools.

Key words: Energy efficiency (EE), thermal regulation (RT), thermal rehabilitation, static thermal simulation, dynamic thermal simulation, RETA, ECOTECT, energy consumption, energy audit.

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1 consommation énergétique par secteur et par produit en 2007 (APRUE).....	22
Tableau 2 spécifications techniques minimales kWh/m2/an (ADEREE, Maroc) Adapter par l'auteur.	24
Tableau 3 Comparaison des RTs présentées, auteur	34
Tableau 4 les consommations selon l'enveloppe et les appareils du bâtiment, auteur	34
Tableau 5 comparaison des résultats des trois cas de bâtiment simulés par TRNSYS (FERRADJI Kenza 2017) adapté par l'auteur.	38
Tableau 6 Les seuils de consommation (Décret exécutif n° 05-495) adapter par l'auteur.....	49
Tableau 7 points commun entre cette recherche et la démarche d'audit, auteur	49
Tableau 8 Comparaison RETA et ECOTECT, auteur	52
Tableau 9 Récapitulatif des simulations du bâtiment RETA , auteur	69
Tableau 10 Performance énergétique du bâtiment, auteur	72
Tableau 11 déperditions thermiques du volume chauffé, RETA adapté par l'auteur	74
Tableau 12 DJ de la période de fonctionnement du chauffage, auteur	74
Tableau 13 Les performance de chauffage des cas présentés dans cette recherche, auteur	79

Liste des figures

Figure 1 Méthodologie de recherche, auteur.....	19
Figure 2 consommation énergétique finale, Algérie, 2007 (APRUE).....	21
Figure 3 Exigences limites réglementaires des caractéristiques thermiques (Règlement Thermique de Construction au Maroc - Version simplifiée page 20).	25
Figure 4 les commande et les outils (BINAYAT).....	26
Figure 5 l'interface du logiciel BINAYAT.....	26
Figure 6 performances énergétiques des bâtiments (JORT, 2008).....	27
Figure 7 Caractéristiques phénophysiques de l'enveloppe des bâtiments public (JORT, 2008)	28
Figure 8 Caractéristiques thermophysiques de l'enveloppe des bâtiments privés (JORT, 2008)	28
Figure 9 Système d'évaluation de l'efficacité énergétique (1) (APRUE, GIZ 2014).....	40
Figure 10 Système d'évaluation de l'efficacité énergétique (2) (APRUE, GIZ 2014).....	41
Figure 11 Grille de notation détaillée (1) (APRUE, GIZ 2014).....	42
Figure 12 Grille de notation détaillée (2) (APRUE, GIZ 2014).....	43
Figure 13 parois des deux cas du bâtiment (APRUE, GIZ 2014)	44
Figure 14 Comparaison des performances des deux cas du bâtiment (APRUE, GIZ 2014, adapté par l'auteur).....	44
Figure 15 Les phases de l'audit (ADEME, 2011)	48
Figure 16 l'interface de RETA (http://reta.cder.dz/).....	50
Figure 17 L'interface de CT BAT	51
Figure 18: Interface du logiciel ECOTECH	51
Figure 19 Cartes de localisation du bâtiment (Google.Image).....	55
Figure 20: Plan du RDC et 1er Etage, auteur	57
Figure 21 Fenêtre nouveau projet RETA	57
Figure 22 Parois qui composent le RDC, auteur	58
Figure 23 composition des parois, auteur.....	58
Figure 24 Les parois vitrées du RDC, auteur	59
Figure 25 Les portes du RDC, auteur.....	59
Figure 26 Les parois qui composent l'Etage, auteur.....	60
Figure 27 Les parois vitrées et la porte de l'étage, auteur	61
Figure 28 Liste des Parois du RDC, RETA	61
Figure 29 Liste des parois de l'étage, RETA	61
Figure 30 Vérification réglementaire RETA.....	62
Figure 31 Bilan thermique des portes du RDC, RETA	62
Figure 32 Bilan thermique du plancher haut de l'étage, RETA.....	63
Figure 33 Vérification réglementaire « Polystyrène à la place de la lame d'air » RETA	64
Figure 34 Vérification réglementaire « Laine de verre à la place de la lame d'air » RETA	65
Figure 35 Vérification réglementaire « Laine de roche à la place de la lame d'air » RETA.....	65
Figure 36 Vérification réglementaire « Isolation intérieure avec de polystyrène » RETA	65
Figure 37 Vérification réglementaire « Isolation intérieure avec la laine de verre » RETA	66
Figure 38 Vérification réglementaire « Isolation intérieure avec la laine de roche » RETA	66
Figure 39 Vérification réglementaire « Isolation extérieure avec le polystyrène » RETA	66
Figure 40 Vérification réglementaire « Isolation extérieure avec la laine de verre » RETA	67
Figure 41 Vérification réglementaire « Isolation extérieure avec la laine de roche » RETA.....	67
Figure 42 Vérification réglementaire Polystyrène à la place de la lame d'air avec α (couleur claire)	67

Liste des Figures

Figure 43 Vérification réglementaire laine de verre à la place de la lame d'air avec α (couleur claire)	68
Figure 44 Vérification réglementaire laine de roche à la place de la lame d'air avec α (couleur claire) ...	68
Figure 45 Récapitulative des consommations d'électricité (2012-2015) Sonelgaz adapté par l'auteur	70
Figure 46 Récapitulatif des consommations du gaz naturel en m3 (2012- 2015) Sonelgaz adaptée par l'auteur	71
Figure 47 Récapitulatif des consommations du gaz naturel en KWh (2012- 2015) Sonelgaz adapté par l'auteur	71
Figure 48 méthode de calcul de la puissance du chauffage, source : DTRC3-2 page18.....	73
Figure 49 vues 3D du bâtiment, ECOTECHT	75
Figure 50 propriétés du bâtiment, ECOTECHT	75
Figure 51 Table climatique Saharidj (source : http://fr.climate-data.org/location/325392/ (09/12/2016) .	76
Figure 52 Les étapes de la simulation ECOTECHT	76
Figure 53 résultats d'évaluation des consommations énergétiques de chauffage	78

Liste des abréviations

Liste des abréviations

ADEREE : *Agence Nationale pour le Développement des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique (Maroc)*

Apo : *Apports par les parois opaques*

APRUE : *l'Agence pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie*

Aref : *Apports de référence*

Av : *Apports par les parois vitrés*

BBC : *Bâtiments à Basse Consommation*

CDER : *Centre de Développement des Energies Renouvelables, : Centre de Développement des Energies Renouvelables*

CNERIB : *Centre National d' Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment*

Dref : *Déperditions de référence*

Dt : *Déperditions par transmission*

DTR : *Document Technique Règlementaire*

EE : *Efficacité Energétique*

GIZ *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit*

OPGI *Office de Promotion et de Gestion Immobilières*

RETA : *REglementation Thermique Algérienne*

RT : *Réglementation Thermique*

RTCM : *Règlement Thermique de Construction au Maroc*

SONELGAZ *SOciété Nationale d'ELectricité et de GAZ*

STD *Simulation Thermique Dynamique*

Tep : *Tonnes équivalent pétrole*

Table des matières

REMERCIEMENT	I
RESUME	II
ملخص	III
ABSTRACT	IV
LISTE DES TABLEAUX	V
LISTE DES FIGURES	VI
LISTE DES ABREVIATIONS	VIII
TABLE DES MATIERES.....	IX
INTRODUCTION GENERALE	14
Introduction.....	15
Problématique	16
Hypothèses	16
Objectifs	17
Méthodologie de recherche	17
CHAP 1 EFFICACITE ENERGETIQUE DANS LE BATIMENT (CONSOMMATION ET REGLEMENTATION).....	20
1.1 INTRODUCTION.....	20
1.2 CONSOMMATION ENERGETIQUE.....	21
1.2.1 Contexte mondial	21
1.2.2 Contexte Algérien	21
1.3 REGLEMENTATION THERMIQUE	22
1.3.1 Exemples étrangers	22
1.3.2 Le cas de l'Algérie	29
1.3.3 Synthèse	34
1.4 CONCLUSION	35
CHAP 2 EFFICACITE ENERGETIQUE (EE) EN ALGERIE, PROGRAMME D'APPLICATION	36
2.1 INTRODUCTION.....	36
2.2 "ECO-BAT"	36
2.3 LE GUIDE DE LA CONSTRUCTION ECO-ENERGETIQUE	39
2.3.1 Critères d'évaluation de l'efficacité énergétique dans le bâtiment	40
2.3.2 Evaluation d'un bâtiment	44
2.4 CONCLUSION	46
CHAP 3 EVALUATION DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE (METHODES ET OUTILS).....	47
3.1 INTRODUCTION.....	47
3.2 AUDIT ENERGETIQUE	47
3.2.1 Définition	47
3.2.2 Objectifs	48
3.2.3 Etapes de l'audit.....	48
3.2.4 Audit et réglementation algérienne	48
3.3 OUTILS D'EVALUATION ET LOGICIELS DE SIMULATION	50

Table des matières

3.3.1	RETA.....	50
3.3.2	Ecotect.....	51
3.3.3	Synthèse des outils d'évaluation	52
3.4	CONCLUSION	53
CHAP 4 : EVALUATION DE LA CONFORMITE A LA RT D'UNE MAISON INDIVIDUELLE		54
4.1	INTRODUCTION	54
4.2	PRESENTATION DU CAS D'ETUDE	54
4.2.1	Choix du cas d'étude	54
4.2.2	Présentation du cas d'étude.....	55
		57
4.3	EVALUATION DE LA CONFORMITE A LA RT AVEC RETA.....	57
4.3.1	Définition du projet et de la localisation :	57
4.3.2	Définition des enveloppes	57
4.3.3	Définition des parois pour chaque enveloppe.....	58
4.3.4	Vérification réglementaire.....	62
4.4	CONCLUSION	63
CHAP 5 : SIMULATION DE LA CONFORMITE A LA RT APRES REHABILITATION		64
5.1	INTRODUCTION	64
5.2	ISOLATION A LA PLACE DE LA LAME D'AIR PLUS COMPLEXE D'ETANCHEITE	64
5.2.1	Polystyrène expansé 20kg/m ³	64
5.2.2	Laine de verre 25kg/m ³	65
5.2.3	Laine de roche 35kg/m ³	65
5.3	ISOLATION INTERIEURE PLUS COMPLEXE D'ETANCHEITE	65
5.3.1	Polystyrène expansé 20kg/m ³	65
5.3.2	Laine de verre 25kg/m ³	66
5.3.3	Laine de roche 35kg/m ³	66
5.4	ISOLATION EXTERIEURE AVEC COMPLEXE D'ETANCHEITE	66
5.4.1	Polystyrène expansé 20kg/m ³	66
5.4.2	Laine de verre 25kg/m ³	67
		67
5.4.3	Laine de roche 35kg/m ³	67
5.5	ISOLATION A LA PLACE DE LA LAME D'AIR PLUS COMPLEXE D'ETANCHEITE AVEC A (COULEUR CLAIRE)	67
5.5.1	Polystyrène expansé 20kg/m ³	67
5.5.2	Laine de verre 25kg/m ³	68
5.5.3	Laine de roche 35kg/m ³	68
5.6	CONCLUSION	68
CHAP 6 : SIMULATION DES GAINS D'ENERGIE DU CHAUFFAGE APRES REHABILITATION		70
6.1	INTRODUCTION	70
6.2	AUDIT ENERGETIQUE DU BATIMENT, ETAT INITIAL.....	70
6.3	SIMULATION DES GAINS ENERGETIQUES PAR RETA.....	73
6.4	SIMULATION DES GAINS ENERGETIQUES PAR ECOTEC.....	75
6.4.1	Modélisation du bâtiment dans ECOTECT.....	75
6.4.2	Bâtiment dans son état initial	77
6.4.3	Bâtiment après réhabilitation.....	77

Table des matières

6.5	DISCUSSION DES RESULTATS.....	77
6.6	CONCLUSION	79
CONCLUSION GENERALE		81
BIBLIOGRAPHIE.....		I
ANNEXE I : RETA (MANUEL D’UTILISATION ET ETAPES DE SIMULATION)		IV
ANNEXE II : RAPPORT GENERE PAR RETA		IX
ANNEXE III : ECOTECH (MANUEL D’UTILISATION ET ETAPES DE SIMULATION).....		XVII
ANNEXE IV : CONSOMMATION CALCULEES AVEC ECOTECH		XIX
ANNEXE V : CLASSIFICATION CLIMATIQUE DES COMMUNES ALGERIENNES		XXI
ANNEXE VI : HISTORIQUE DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES DU CAS D’ETUDE.....		XXII

INTRODUCTION GENERALE

« Le bâtiment constitue probablement l'un des défis majeurs pour les prochaines décennies non seulement pour l'Algérie mais pour l'ensemble des pays du Monde. En effet, les changements climatiques aidant, les hivers sont de plus en plus rudes et les étés sont de plus en plus chauds. L'enjeu aujourd'hui est à la fois de préserver et d'améliorer le confort des citoyens et de réduire la consommation d'énergie par rapport notamment au chauffage et à la climatisation. Par conséquent faut absolument intégrer l'efficacité énergétique dans toute sa dimension dans la conception de nos maisons, développer de nouveaux matériaux contribuant à l'efficacité énergétique, revoir nos systèmes constructifs ... »¹ (1) (Mohamed Salah, BOUZERIBA Directeur Général de l'APRUE, 2014).

¹ Astrid Denker, S.M K El Hassar. Guide pour la construction Eco-Energétique en Algérie. 2014.

Introduction

Les ressources naturelles consommées dans les quatre dernières décennies ont dépassé celles consommées depuis l'existence de l'Homme sur terre². Le bâtiment est un des grands responsables de cette consommation spectaculaire, avec un taux de consommation entre 30 à 40% des consommations finales mondiales³ (3) dont le grand pourcentage de cette consommation est celui de la période de vie du bâtiment qui représente 70 à 80 % de sa consommation globale⁴ (4).

En Algérie, l'Agence pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE) a mentionné dans son rapport annuel de 2007 que le bâtiment (résidentiel et tertiaire) est responsable de 41% des consommations finales⁵. (5). Et parmi les parties du bâtiment qui causent ces grandes consommations : l'enveloppe et la mauvaise qualité thermique du bâtiment qui sont en tête de la liste.

À partir de conseil mondial de l'énergie de 1998, des recommandations pour une sobriété énergétiques et une utilisation raisonnable et rationnelle de l'énergie ont été enregistrées. C'était le début de la notion de l'efficacité énergétique (EE)⁶. (6)

Dans ce contexte énergétique plusieurs pays ont opté pour des stratégies d'économie d'énergie. La plupart ont instauré des lois de maîtrise et d'efficacité énergétique.

En Algérie, l'état a adopté une politique de maîtrise et de gestion des ressources et des consommations énergétiques à travers la loi n°99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie. La loi est suivie du décret exécutif n°2000- 90 du 24 avril 2000 qui porte les exigences et les modalités de la réglementation thermique (RT) dans les bâtiments neufs.

En 2015, le conseil des ministres algérien a adopté un nouveau programme national d'EE. Il vise à économiser 63 millions de tonnes équivalent pétrole (Tep) qui

² Sarlos, G, Haldi, Pa et Verstraete, P. Traité de génie-civil de l'école fédérale de Lausanne. 2003. Vol. 21 : systèmes énergétiques : offre et demande d'énergie : méthodes d'analyse.

³ Liebard, A et de Herbe, A. Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable. s.l : Editions Observatoire des énergies renouvelables Observ'ER, Décembre 2005.

⁴ UNEP, United Nations Environment Programme. Buildings and climate change Status, Challenges and Opportunities. 2007.

⁵ APRUE. Rapport des consommations annuelles. 2007. p. Algérie.

⁶ Seoud, S. Audit énergétique de bâtiments tertiaires. 2012. EPAU, Alger : mémoire de magister.

permettra à l'Algérie de gagner 42 milliards de dollars, à l'horizon 2030. Le programme était prévu pour l'année 2016, et il touche plusieurs secteurs. Concernant le secteur du bâtiment, on préconise l'isolation thermique de 100.000 logements chaque an, dont l'état s'engage de payer 80% des couts de l'opération⁷. (7)

Dans ce contexte, il devient important de penser à un programme d'étude et de diagnostic des bâtiments non conforme à la RT algérienne qui vont faire l'objet d'isolation ou de réhabilitation thermique. De même de contribuer à élaborer un document référentiel et d'aide à la décision dans le domaine des techniques et des matériaux d'isolation et des économies des consommations énergétiques.

Problématique

Atteindre l'efficacité énergétique (EE) dans le bâtiment nécessite d'abord la mise en valeur et le respect des réglementations en vigueur.

Notre problématique questionne en premier lieu la conformité à la RT d'une maison individuelle construite selon « les standards courants »⁸. En second lieu, elle questionne la réhabilitation thermique⁹ nécessaire pour sa conformité et le gain énergétique atteint comparé au niveau de consommation énergétique habituel. Enfin, l'utilité de l'outil RETA pour une opération de réhabilitation thermique.

Hypothèses

1. La RT Algérienne n'est pas appliquée dans le terrain et notre cas d'étude n'est pas conforme à cette réglementation.
2. RETA aide dans les choix de réhabilitation mais il présente certaines limites dans la simulation.

⁷ Imessad, Khaled. RETA- Logiciel d'application de la Réglementation Thermique Algérienne. [éd.] CDER. Bulletin des Energies Renouvelables. Novembre 2015, 36, p. Algérie.

⁸ Dans notre recherche, nous désignons par une maison individuelle construite selon « les standards courants » les maisons construites avec un système constructif en portique (poteau-poutre) et des murs en brique creuse en double parois avec lame d'air, revêtues par des enduits courants de ciment ou de chaud sans utilisation de matériaux isolants quelconque.

⁹ Nous allons nous focaliser principalement sur le remplacement de la lame d'air par de polystyrène qui est la solution présentée par :

- Un groupe d'experts algériens en efficacité énergétique et durabilité sous la direction du Dr. Ing. Saad Baradiy pour un bâtiment de conception thermique amélioré. (Astrid Denker, S.M K El Hassar. Guide pour la construction Eco-Energétique en Algérie. 2014. Page197-251).
- APRUE pour la réalisation de 600 logements à haute performance énergétique "Eco-Bât.

3. Nécessité d'utiliser un deuxième outil de simulation thermique dynamique (STD).

Objectifs

Notre objectif est de démontrer la nécessité de l'application et du respect de la RT Algérienne. Et de sensibiliser les maitres d'œuvres et tous les autres acteurs du secteur du bâtiment sur l'utilité de cette réglementation et de son outil RETA.

Ce travail tente à travers l'analyse d'une maison individuelle de :

1. Evaluer sa conformité à la RT Algérienne.
2. Proposer sa réhabilitation thermique.
3. Evaluer ses gains énergétiques pour le chauffage après sa réhabilitation.

Méthodologie de recherche

La méthode adoptée pour cette recherche est une méthode hypothético-inductive, qui consiste à élaborer une ou plusieurs hypothèses et à les confronter ensuite à une réalité.

Notre recherche se base principalement sur l'étude de cas à travers trois outils et sur trois étapes :

Chap 1 Vérification de la conformité à la RT Algérienne du cas d'étude :

- Outil : RETA.

Nous avons évalué la conformité à la RT Algérienne du bâtiment avec RETA.

Chap 2 Simulation de la conformité à la RT Algérienne de différents scénarios de réhabilitation :

- Outil : RETA.
- Résultat : choix du scénario de réhabilitation le plus conforme.

Nous avons évalué toujours avec RETA plusieurs scénarios d'isolation pour choisir le scénario le plus performant qui permet la mise en conformité du bâtiment.

Chap 3 Evaluation des gains énergétiques entre état initial et après réhabilitation :

Après la mise en conformité du bâtiment, nous avons évalué les gains d'énergie pour le chauffage des deux cas (bâtiment dans son état initial et bâtiment après réhabilitation thermique par le scénario le plus performant) par :

- Audit : analyse des factures SONEGAS du cas d'étude à l'état initial.

À la base des factures de gaz du 2012 jusqu'au 2015, nous avons déterminé la consommation énergétique du chauffage. Les factures sont établies pour une consommation en m^3 alors que pour la suite de la recherche nous avons besoin des consommations en KWh. Pour cela nous avons converti ces consommations à l'aide d'un coefficient lié au pouvoir calorifique du gaz. Pour déterminer la part du chauffage dans la consommation totale, nous avons soustraie la moyenne des périodes d'utilisation du gaz sans chauffage de la moyenne des périodes d'utilisation avec chauffage.

- **Simulation :**

- **Outil : RETA (Simulation thermique statique) : Du cas d'étude à l'état initial et après réhabilitation.**

A la base du bilan thermique calculé par RETA, nous avons calculé les consommations par la formule donnée dans le guide de construction Eco-énergétique en Algérie, que nous avons présenté dans les chapitres suivants.

- **Outil ECOTECT (Simulation thermique dynamique) : Du cas d'étude à l'état initial et après réhabilitation.**

En parallèle, nous avons simulé le bâtiment par ECOTECT qui est un outil de simulation dynamique pour ensuite comparer ses résultats avec les résultats d'audit et de RETA.

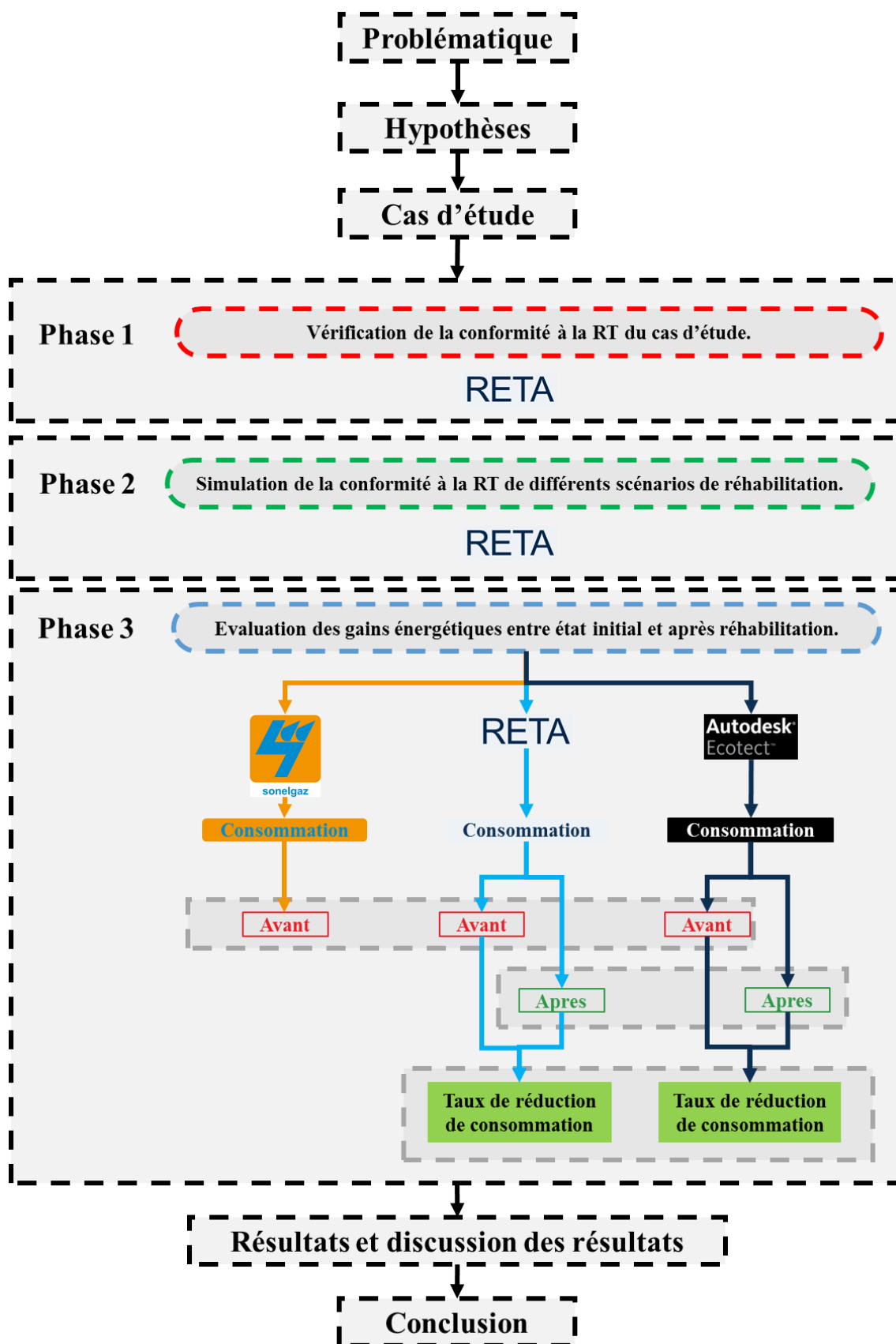


Figure 1 Méthodologie de recherche, auteur

Chap 1 Efficacité énergétique dans le bâtiment (consommation et réglementation)

1.1 Introduction

L'efficacité, l'efficience, la performance (énergétiques) et d'autres notions qu'on utilise ces derniers temps pour décrire cette volonté mondiale de réduire les consommations d'énergie fossile et les stratégies de développement des énergies renouvelables. Cette volonté est une nécessité et une urgence face un contexte énergétique mondial catastrophique. On consomme plus de ressources et on produit plus de déchets et de gaz à effet de serre.

Cette situation a causé des problèmes à différents échelles. Mais il reste le problème environnemental le plus grave et ses conséquences sont les plus dangereuses.

Le climat de notre planète n'arrête pas de changer. Et la température de la terre augmente d'une année à une autre. Nous sommes dans un contexte de réchauffement climatique.

Ce contexte planétaire a poussé les pouvoirs publics et les organisations mondiales à changer leurs modes de vie et leurs sources d'économie. Dans plusieurs pays les politiques ont changé avec plus de lois sur l'énergie, plus de sanction sur les émissions des GES...etc.

Parmi les dispositifs et les décisions concernant cette situation environnementale on trouve les réglementations thermiques des bâtiments que plusieurs pays ont instaurés, chacun selon son contexte.

Dans ce chapitre, nous avons exposé la situation énergétique mondiale en générale et le contexte local Algérien où nous avons focalisé sur le secteur résidentiel qui est notre objet d'étude. Puis nous avons présenté la RT Algérienne et certains cas étrangers qui sont les pays voisins : Le Maroc et La Tunisie et aussi un autre pays méditerranéen, un des leaders mondiaux dans ce domaine qui est La France.

1.2 Consommation énergétique

1.2.1 Contexte mondial

Depuis la révolution industrielle, l'homme a changé ses habitudes et ses préoccupations. Il s'occupe plus de la fabrication en masse, le transport rapide, les grandes constructions sans se rendre compte que le monde autour de lui change : plus de pollutions, plus de maladies, climat non stable... Toutes ces perturbations sont à l'origine l'utilisation excessive des énergies fossiles et polluantes.

En 2011, L'International Energy Agency a publié dans son rapport les statistiques de consommation d'énergie et d'émission de gaz à effet ; en 2009, 89.8% de la consommation énergétique mondiale et non renouvelable dont 32.58% pour le pétrole et 27.2% pour le charbon¹⁰.

Ces consommations sont réparties sur tous les secteurs (industrie, bâtiment, transport...) mais il reste le secteur du bâtiment le plus grand consommateur avec un taux de qui varie de 30 à 40% de la consommation mondiale¹¹.

1.2.2 Contexte Algérien

En Algérie, c'est la même règle qui s'applique à l'énergie. On utilise plus les énergies fossiles et non renouvelables. Et aussi le bâtiment (résidentiel et tertiaire) est responsable de 41% des consommations finales pour l'année de 2007 selon APRUE (35% pour le résidentiel et 6% pour le tertiaire).¹²

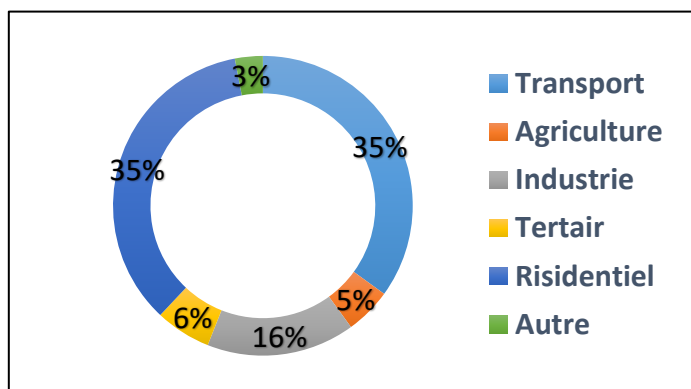


Figure 2 consommation énergétique finale, Algérie, 2007 (APRUE)

¹⁰ INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. World Energy Outlook. Paris : 2011

¹¹ Liebhard, A et de Herbe, A. Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques.

¹² APRUE. Rapport des consommations annuelles. 2007. p. Algérie.

Bâtiment résidentiel

L'analyse du graphe précédant montre que le secteur du bâtiment est le plus énergivore. Et Le résidentiel plus particulièrement qui consomme la même quantité d'énergie que le transport avec un taux de 35% de la consommation globale.

Le problème est non seulement dans le taux élevé de consommation mais aussi dans les sources de cette énergie.

	Electricité	Gaz naturel	Tableau 1 consommation énergétique par secteur et par produit en 2007 (APRUE)
Tertiaire	49.77%	35.41%	
Résidentiel	13.84%	37.38%	

Ces consommations sont réparties sur plusieurs parties, depuis la construction du bâtiment jusqu'à sa démolition, mais elle reste la partie d'exploitation et de vie du bâtiment la période là où on consomme plus d'énergie avec un taux entre 70% et 80% de la consommation globale du bâtiment.¹³

Cette consommation durant la vie de bâtiment et répartie aussi sur plusieurs besoins et usages domestiques : Chauffage 60%, éclairage audio-visuel et climatisation 20%, eau chaude sanitaire 15% et autres 5%¹⁴..

1.3 Règlementation thermique

1.3.1 Exemples étrangers

1.3.1.1 Le cas de La France

Depuis 1973 et après le premier choc pétrolier, la France a augmenté ses efforts pour trouver les alternatives pour les sources d'énergie et les dispositifs nécessaires pour réduire sa consommation d'énergie. Dans le secteur du bâtiment, cette volonté est concrétisée par la première RT Française la RT 1974. Cette réglementation s'applique aux bâtiments d'habitation neufs. Elle vise à améliorer la performance énergétique des bâtiments. Puis, elle est suivie de la RT 1988.¹⁵

Mais les premières actions et décisions majeures sont venues après la convention de Rio 1992 et l'engagement hors du Protocole de Kyoto 1997. Commencant par la RT 2000 passant par la RT 2005 et la RT 2012 et actuellement ils préparent la RT 2020.

¹³ UNEP, Buildings and climate change Status, Challenges and Opportunities. 2007.

¹⁴ Boulkenafet, N. Gestion et Optimisation de la Réhabilitation Thermique des Bâtiments. 2014.

¹⁵ <http://maison-bbc-trecobat.com/reglementation-thermique-rt2000-rt2020-38201.html> (21/03/2017).

La troisième RT Française est rentrée en vigueur depuis 2000. Elle fixe comme objectif la réduction de la consommation énergétique des bâtiments neufs par rapport à la RT 1988 avec les pourcentages suivants :¹⁶

- 20% pour les bâtiments résidentiels.
- 40% pour les bâtiments tertiaires.

Toujours dans la même logique, la RT 2005 exige une réduction de consommation énergétique de 15% par rapport à la RT 2000. Elle est applicable depuis septembre 2006, pour toutes les nouvelles constructions ou extensions des bâtiments existants.¹⁷

Puis il y'avait une nouvelle démarche en 2007. Cette fois c'est les Bâtiments à Basse Consommation (BBC). Une certification BBC pour tous les bâtiments qui répondent aux exigences imposé par cette démarche. Cette étape était une sorte de préparation pour la RT 2012.¹⁸

Toute les RT précédentes ont une seule et simple logique, chaque réglementation exige une performance de 15% à 20% que la RT précédente.

En 2012, cette logique de faire mieux qu'avant a changé. Cette fois c'est répondre à une exigence, à un seuil de consommation qu'on ne doit pas dépasser quel que soit les dispositifs qu'on met en place. La RT 2012 fixe le seuil de consommation énergétique pour les bâtiments neufs à 50 KWh/m² par an « **soit trois fois moins que la moyenne des bâtiments répondant à la RT 2005** »¹⁹

Actuellement un projet de « **25 batiments démonstrateurs seront réalisés sur l'ensemble du territoire français** ». Le projet vise à réaliser des bâtiments à énergie positive ça veut dire des bâtiments qui produisent de l'énergie plus qu'ils consomment.²⁰

L'objectif de projet est de tester certains modèles et dispositifs pour faire de la RT 2020 une RT avec des bâtiments à énergie positive.

¹⁶<http://maison-bbc-trecobat.com/rt2000-reelles-economies-energie-premiere-etape-38229.html> (21/03/2017).

¹⁷ <http://maison-bbc-trecobat.com/rt2005-debut-bbc-attendant-rt2012-38224.html> (21/03/2017).

¹⁸ Idem.

¹⁹<http://maison-bbc-trecobat.com/rt2012-norme-actuelle-naturellement-econome-energie-38206.html> (21/03/2017)

²⁰<http://maison-bbc-trecobat.com/rt2020-maison-passive-apres-rt2012-38207.html> (21/03/2017)

1.3.1.2 Le cas du Maroc

Au Maroc, le bâtiment est le deuxième secteur le plus énergivore avec un taux de 25% de la consommation énergétique totale. Cette consommation est répartie sur le résidentiel avec 18% et le tertiaire avec 7%²¹. (10)

Ce contexte énergétique a poussé l'Agence Nationale pour le Développement des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique (ADEREE) à lancer un programme d'efficacité énergétique. Dans le secteur du bâtiment le programme a fixé Le Règlement Thermique de Construction au Maroc (RTCM).

a. Approches d'évaluation :

Le RTCM a deux approches une performancielle et une autre prescriptive :

i. Approche performancielle

Cette approche fixe des seuils de consommation énergétique en KWh/m² par an selon les zones climatiques du pays. Elle est applicable à tous les types des bâtiments.

Zone climatique	Seuil de consommation en KWh/m ² par an
Z1	40
Z2	46
Z3	48
Z4	64
Z5	61
Z6	65

Tableau 2 spécifications techniques minimales kWh/m2/an (ADEREE, Maroc) Adapter par l'auteur.

²¹ ADEREE. Règlement Thermique de Construction au Maroc - Version simplifiée.

ii. Approche prescriptive

Cette deuxième approche fixe les caractéristiques thermiques de l'enveloppe du bâtiment. Elle est applicable pour les bâtiments résidentiels.

	Taux des baies vitrées TGBV	U des toitures exposées (W/m ² .K)	U des murs extérieurs (W/m ² .k)	U des vitrages (W/m ² .k)	R minimale des planchers sur sol (m ² .k/W)	Facteur Solaire FS* des vitrages
Zone climatique réglementaire Z1 (Réf. Agadir)	≤ 15 %	≤ 0,75	≤ 1,20	≤ 5,80	NE	NE
	16-25 %	≤ 0,75	≤ 1,20	≤ 5,80	NE	Nord : NE Autres : ≤ 0,7
	26-35 %	≤ 0,75	≤ 1,20	≤ 3,30	NE	Nord : NE Autres : ≤ 0,5
	36-45 %	≤ 0,65	≤ 1,20	≤ 3,30	NE	Nord : ≤ 0,7 Autres : ≤ 0,3
Zone climatique réglementaire Z2 (Réf. Tanger)	≤ 15 %	≤ 0,75	≤ 0,80	≤ 5,80	NE	NE
	16-25 %	≤ 0,65	≤ 0,80	≤ 3,30	NE	Nord : NE Autres : ≤ 0,7
	26-35 %	≤ 0,65	≤ 0,70	≤ 3,30	NE	Nord : NE Autres : ≤ 0,5
	36-45 %	≤ 0,55	≤ 0,60	≤ 2,60	NE	Nord : ≤ 0,7 Autres : ≤ 0,3
Zone climatique réglementaire Z3 (Réf. Fès)	≤ 15 %	≤ 0,65	≤ 0,80	≤ 3,30	≥ 0,75	NE
	16-25 %	≤ 0,65	≤ 0,80	≤ 3,30	≥ 0,75	Nord : NE Autres : ≤ 0,7
	26-35 %	≤ 0,65	≤ 0,70	≤ 2,60	≥ 0,75	Nord : NE Autres : ≤ 0,5
	36-45 %	≤ 0,55	≤ 0,60	≤ 1,90	≥ 0,75	Nord : ≤ 0,7 Autres : ≤ 0,5
Zone climatique réglementaire Z4 (Réf. Ifrane)	≤ 15 %	≤ 0,55	≤ 0,60	≤ 3,30	≥ 1,25	NE
	16-25 %	≤ 0,55	≤ 0,60	≤ 3,30	≥ 1,25	Nord : NE Autres : ≤ 0,7
	26-35 %	≤ 0,55	≤ 0,60	≤ 2,60	≥ 1,25	Nord : ≤ 0,7 Autres : ≤ 0,6
	36-45 %	≤ 0,49	≤ 0,55	≤ 1,90	≥ 1,25	Nord : ≤ 0,6 Autres : ≤ 0,5
Zone climatique réglementaire Z5 (Réf. Marrakech)	≤ 15 %	≤ 0,65	≤ 0,80	≤ 3,30	≥ 1,00	NE
	16-25 %	≤ 0,65	≤ 0,70	≤ 3,30	≥ 1,00	Nord : NE Autres : ≤ 0,7
	26-35 %	≤ 0,55	≤ 0,60	≤ 2,60	≥ 1,00	Nord : ≤ 0,6 Autres : ≤ 0,4
	36-45 %	≤ 0,49	≤ 0,55	≤ 1,90	≥ 1,00	Nord : ≤ 0,5 Autres : ≤ 0,3
Zone climatique réglementaire Z6 (Réf. Errachidia)	≤ 15 %	≤ 0,65	≤ 0,80	≤ 3,30	≥ 1,00	NE
	16-25 %	≤ 0,65	≤ 0,70	≤ 3,30	≥ 1,00	Nord : NE Autres : ≤ 0,7
	26-35 %	≤ 0,55	≤ 0,60	≤ 2,60	≥ 1,00	Nord : ≤ 0,6 Autres : ≤ 0,4
	36-45 %	≤ 0,49	≤ 0,55	≤ 1,90	≥ 1,00	Nord : ≤ 0,5 Autres : ≤ 0,3

Figure 3 Exigences limites réglementaires des caractéristiques thermiques (Règlement Thermique de Construction au Maroc - Version simplifiée page 20).

b. Outil de vérification réglementaire

L'ADEREE met à disposition des collectivités locales, des architectes et de tout autre professionnel dans le domaine de la construction un logiciel de diagnostic énergétique et de vérification réglementaire. Le logiciel s'appelle BINAYATE. Il est gratuitement téléchargeable depuis le site de l'agence. Il est la traduction de l'approche prescriptive. Il permet de simuler les différentes parois horizontales, verticales, opaques et/ou vitrées.

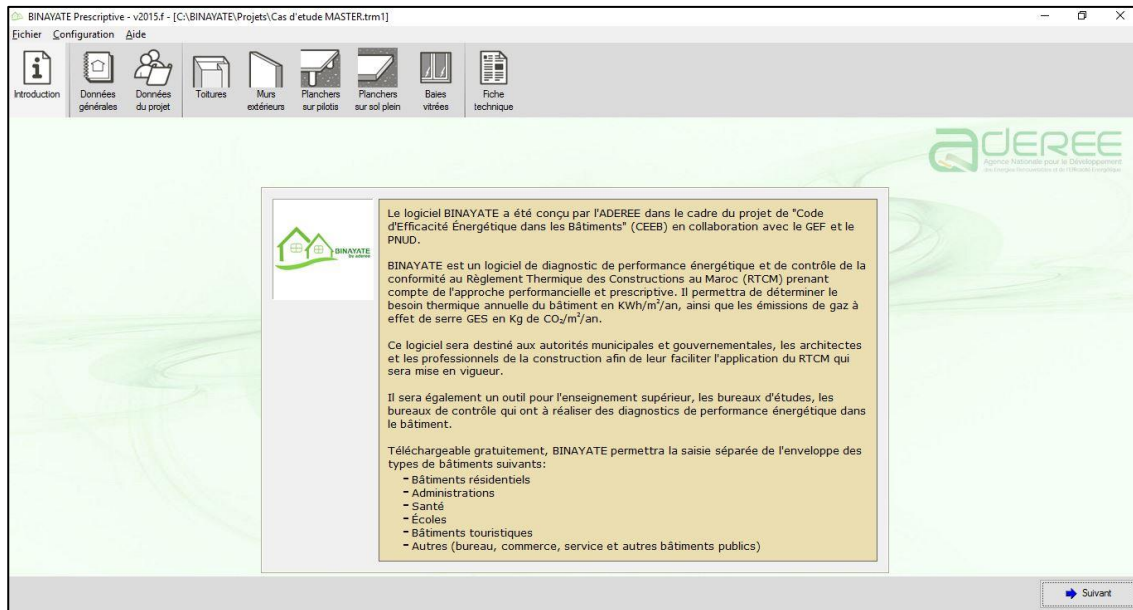


Figure 5 l'interface du logiciel BINAYAT.

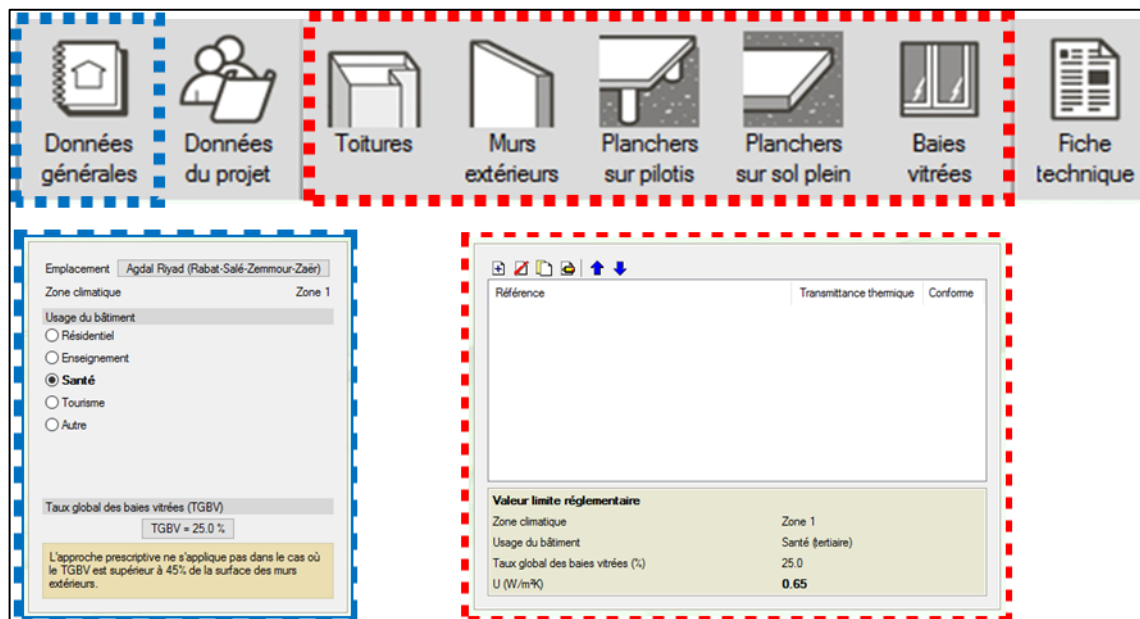


Figure 4 les commande et les outils (BINAYAT)

1.3.1.3 Le cas de la Tunisie

La Tunisie a le même contexte énergétique que la plupart des pays. Le secteur du bâtiment et plus particulièrement le résidentiel est parmi les secteurs les plus énergivores du pays.

La RT Tunisienne fait partie de plusieurs dispositifs de maîtrise de l'énergie. Elle est structurée en deux approches à l'image de la RTC Marocaine sauf que celle-là ne s'applique qu'aux bâtiments publics ou privés qui sont à usage de bureaux ou assimilés dont la surface égale ou supérieure à 500m².

a. Approches d'évaluation

i. Approche performancielle

L'exigence réglementaire limite les besoins énergétiques spécifiques annuels (BECTh) des bâtiments suivant leur classe (voir fig 6)²² :

- Pour les bâtiments publics entre la classe 1 et la classe 3.
- Pour les bâtiments privés entre la classe 1 et la classe 5

Classes de performances thermiques du bâtiment	Besoins énergétiques spécifiques annuels (BECTh) en kWh/m ² .an
classe 1	$BECTh \leq 75$
classe 2	$75 < BECTh \leq 85$
classe 3	$85 < BECTh \leq 95$
classe 4	$95 < BECTh \leq 105$
classe 5	$105 < BECTh \leq 125$
classe 6	$125 < BECTh \leq 150$
classe 7	$150 < BECTh \leq 180$
classe 8	$BECTh > 180$

Figure 6 performances énergétiques des bâtiments (JORT, 2008)

ii. Approche prescriptive

Cette deuxième approche fixe les propriétés thermiques de l'enveloppe. Elle ne s'applique que pour les bâtiments qui ont une surface inférieure à 1500 m². Et elle n'est

²² Journal Officiel de la République Tunisienne (JORT) n°62 de 01/08/2008 page 2354.

pas applicable aux bâtiments dont le taux de vitrage des murs extérieurs ensoleillés dépasse 35% pour les bâtiments publics et 45% pour les bâtiments privés.²⁵

	Taux des baies vitrées	U des toitures exposées (W/m ² .K)	U des murs extérieurs (W/m ² .k)	U des vitrages (W/m ² .k)	SC* des vitrages
Zone climatique réglementaire ZT1	Faible	≤ 0,75	≤ 1,1	≤ 6,2	≤ 0,95
	Moyen	≤ 0,75	≤ 1,1	≤ 3,2	≤ 0,60
	Elevé	≤ 0,75	≤ 1,1	≤ 1,9	≤ 0,50
Zone climatique réglementaire ZT2	Faible	≤ 0,55	≤ 0,6	≤ 3,2	≤ 0,80
	Moyen	≤ 0,55	≤ 1,1	≤ 1,9	≤ 0,50
	Elevé	L'approche prescriptive n'est pas admise pour cette configuration			
Zone climatique réglementaire ZT3	Faible	≤ 0,55	≤ 1,1	≤ 3,2	≤ 0,60
	Moyen	≤ 0,55	≤ 0,8	≤ 1,9	≤ 0,50
	Elevé	L'approche prescriptive n'est pas admise pour cette configuration			

Figure 7 Caractéristiques phénophysiques de l'enveloppe des bâtiments public (JORT, 2008)

	Taux des baies vitrées	U des toitures exposées (W/m ² .K)	U des murs extérieurs (W/m ² .k)	U des vitrages (W/m ² .k)	SC* des vitrages
Zone climatique réglementaire ZT1	Faible	≤ 0,75	≤ 1,20	≤ 6,20	≤ 0,95
	Moyen	≤ 0,75	≤ 1,10	≤ 6,20	≤ 0,70
	Elevé	≤ 0,75	≤ 1,10	≤ 6,20	≤ 0,60
		≤ 0,75	≤ 0,80	≤ 6,20	≤ 0,70
	Très élevé	≤ 0,75	≤ 1,10	≤ 3,20	≤ 0,60
Zone climatique réglementaire ZT2	Faible	≤ 0,75	≤ 1,10	≤ 6,20	≤ 0,95
	Moyen	≤ 0,75	≤ 1,10	≤ 6,20	≤ 0,70
	Elevé	≤ 0,75	≤ 1,10	≤ 1,90	≤ 0,50
		≤ 0,75	≤ 0,80	≤ 3,20	≤ 0,60
	Très élevé	≤ 0,65	≤ 0,80	≤ 1,90	≤ 0,50
Zone climatique réglementaire ZT3	Faible	≤ 0,75	≤ 1,10	≤ 6,20	≤ 0,95
	Moyen	≤ 0,75	≤ 1,10	≤ 6,20	≤ 0,60
	Elevé	≤ 0,75	≤ 1,10	≤ 1,90	≤ 0,50
		≤ 0,55	≤ 0,80	≤ 3,20	≤ 0,60
	Très élevé	≤ 0,75	≤ 0,60	≤ 1,90	≤ 0,50
		≤ 0,55	≤ 0,80	≤ 1,90	≤ 0,50

Figure 8 Caractéristiques thermophysiques de l'enveloppe des bâtiments privés (JORT, 2008)

²⁵ Journal Officiel de la République Tunisienne (JORT) n°62 de 01/08/2008 page 2356.

1.3.2 Le cas de l'Algérie

Le contexte énergétique Algérien présenté au début du chapitre a obligé les pouvoirs publics et les professions du domaine du bâtiment à trouver les moyens nécessaires pour améliorer une telle situation.

Parmi les décisions et les dispositifs présentés comme solution, citons la loi sur la maîtrise de l'énergie 'loi n°99-09 du 28 juillet 1999' qui est suivie par le décret exécutif n°2000- 90 du 24 avril 2000 qui porte les exigences et modalités de la réglementation thermique dans les bâtiments neufs.

La RT Algérienne applique une approche prescriptive. Elle est basée essentiellement sur deux Documents Techniques Règlementaires (DTR) qui fixent les méthodes de calcul thermique et de vérification réglementaire des enveloppes des bâtiments. Ces documents sont édités par le Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment (CNERIB) sous la tutelle du Ministère de l'habitat.

1.3.2.1 Approche prescriptive

a. DTR C3-2 : Calcule des déperditions calorifiques (Hiver)

« Il s'applique exclusivement aux bâtiments à usage d'habitation »²⁶

Il fixe les méthodes de calcul, dimensionnement et vérification liées à la réglementation thermique des bâtiments pour la période d'hiver. En générale ce document a pour objectif de fixer les méthodes de :

- *« Détermination des déperditions calorifiques des bâtiments.*
- *Vérification de la conformité des bâtiments à la réglementation thermique.*
- *Dimensionnement des installations de chauffage des bâtiments*
- *Conception thermique des bâtiments»²⁷.*

Il donne aussi les différentes définitions des concepts et valeurs liés aux calculs et à la vérification, tel que : Volume thermique, Déperditions totale d'un logement, Déperditions total d'un volume, Déperditions de référence...

Ce document se base sur le principe de limiter les déperditions calorifiques d'un bâtiment à un seuil appelé déperditions calorifiques de référence. *« Le respect de ce*

²⁶ CNERIB, 1998

²⁷ CNERIB, DTR. C 3-2, 1998

seuil devrait permettre une économie de 20 à 30% sur la consommation d'énergie pour le chauffage... »²⁸

i. Définitions :

Déperdition calorifique : c'est le flux de chaleur qu'un volume perdre à travers ses parois et par renouvellement d'air pour un degré d'écart de température entre l'intérieure et l'extérieure de ce volume. Elle s'exprime en (w/c°).

Volume thermique : « un volume d'air supposé homogène en température »²⁹. Un bâtiment peut être simulé en un ou plusieurs volumes thermiques selon les conditions du chauffage et de température interne.

Local non chauffé : tout local qui ne possède pas un système de chauffage ou « chauffé par intermittence »³⁰.

ii. Vérification réglementaire :

La vérification réglementaire ne concerne que les bâtiments à usage d'habitation.

Elle s'effectue après le calcul des déperditions par transmission (Dt) des différentes parois opaques et vitrés et des déperditions de référence (Dref) qui sont la base de la formule de la vérification.

Formule de la vérification :

$$Dt \leq 1.05 Dref [W/c^{\circ}]$$

iii. Méthodes du calcul :

Déperditions totales d'un logement [D] : $D = \sum Di [w/c^{\circ}]$

Déperditions totales d'un volume [Di] : $Di = (Dt)i + (Dr)i [w/c^{\circ}]$

Déperditions par transmission [Dt] : $Dt = Ds + Dli + Dsol + Dln [w/c^{\circ}]$

Ds : Déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieur.

Dli : Déperditions à travers les liaisons.

Dsol : Déperditions surfaciques à travers les parois en contact avec le sol.

²⁸ Op.cit.

²⁹ Ibid

³⁰ Ibid

Dlnc : Déperditions surfaciques à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés.

Déperditions par renouvellement d'air [Dr] : $Drv + Drs$ [w/c°]

Drv : Déperditions dues au fonctionnement normal des dispositifs de ventilation.

Drs : Déperditions supplémentaires dues au vent.

Déperditions de référence [Dref] : $Dref = a S1 + b S2 + c S3 + d S4 + e S5$ [w/c°]

S surfaces en m² : S1 : toiture, S2 : plancher bas, S3 : les murs, S4 : les portes, S5 : les fenêtres et les portes fenêtres.

Les coefficients a, b, c, d et e en [w/m² °c] dépendent de la zone climatique et de type du bâtiment.

iv. Limites du calcul :

Le calcul des déperditions ne tient pas compte de l'occupation du local à savoir les apports dus aux mobiliers, chauffage interne... « *Les déperditions calorifiques sont calculées en régime statique* »³¹.

Les déperditions par renouvellement d'air ne sont prises en compte que pour le dimensionnement du chauffage pour les bâtiments à usage d'habitation. « *La vérification thermique réglementaire ne tient pas compte des déperditions par renouvellement d'air* »³²

Dans le cas où deux enveloppes chauffées à la même température sont séparées par une paroi on considère les déperditions par transmission à travers cette paroi sont nulles.

Dans le cas où deux enveloppes adjacentes sont chauffées on considère qu'elles ont la même température donc les déperditions calorifiques par transmission à travers la paroi qui les sépare sont considérées nulles. « *Sauf spécifications contraires* »³³.

b. DTR C3-4 : Règles du calcul des apports calorifiques des bâtiments (été)

Il fixe les méthodes de calcul des apports calorifiques pratiquement à tout type du bâtiment (habitation, hébergement, bureaux, accueil, enseignement...). Et il ne permet

³¹ Ibid

³² Ibid

³³ Ibid

de vérifier la conformité à la réglementation thermique algérienne que des bâtiments à usage habitation, hébergement et bureaux.

Il fait référence au premier document présenté (DTR C3-2) pour la collecte de certaines données « *principalement pour la détermination des résistances thermiques, et pour la détermination du débit d'air neuf des logements* »³⁴.

i. Définitions :

Apports calorifiques : représentent la somme des gains de chaleur « *sensible et latente* »³⁵ dégagés d'une source de chaleur de l'intérieure ou de l'extérieure du local « *pour des conditions extérieures et intérieures déterminées* »³⁶ sans tenir compte des gains due à l'occupation.

Temps Solaire Vrai (TSV) : est une mesure de temps qui se base sur le déplacement supposé du soleil durant la journée.

Il est différent du temps qu'on utilise sur terre par un intervalle du temps qui s'appelle équation du temps. Cette différence atteint 16 minutes au maximum en mois d'octobre.

ii. Vérification réglementaire :

La vérification réglementaire ne concerne que les bâtiments à usage d'habitation, de bureaux et d'hébergement.

Elle s'effectue après le calcul des apports par les parois opaques (Apo) et vitrés (Av) et des apports calorifique de référence (Aref) qui sont la base de la formule de la vérification. Tous les calculs sont effectués pour le mois du juillet à 15h TSV obligatoirement et il est souhaitable de les faire pour tous les mois de la période chaude (juin, juillet (obligatoire), août et septembre).

Formule de vérification : au mois du juillet à 15h TSV pour une température sèche interne de 27°C

$$Apo(15h) + Av(15h) \leq 1.05 Aref(15h) [W]$$

iii. Méthodes du calcul :

Apports de référence (Aref) : $Aref = Aref'PH + Aref'PV + Aref'VI [W]$.

³⁴ CNERIB, DTR. C 3-4, 2005

³⁵ Ibid

³⁶ Ibid

Apports de référence des parois opaques horizontales (A_{ref}^{PH}) :

$$A_{ref}^{PH} = \sum (a \times S_{int} \times \Delta T_{Sref}^{PH}) \text{ [W]}.$$

a : en $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$ coefficient lié à zone climatique où se trouve le bâtiment et la fonction qu'il abrite.

S_{int} : en $[m^2]$ surface de la paroi opaque horizontale considérée, calculée depuis l'intérieure du volume considéré.

ΔT_{Sref}^{PH} : en $[^\circ C]$ différence de température de référence entre les deux espaces séparés par la paroi considérée. Elle dépend de la zone climatique, de l'altitude et de la nature de la paroi.

Apports de référence des parois opaques verticales (A_{ref}^{PV}) :

$$A_{ref}^{PV} = \sum (c \times S_{int} \times \Delta T_{Sref}^{PV}) \text{ [W]}.$$

c : en $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$ coefficient lié à zone climatique où se trouve le bâtiment et la fonction qu'il abrite.

S_{int} : en $[m^2]$ surface de la paroi opaque horizontale considérée, calculée depuis l'intérieure du volume considéré.

ΔT_{Sref}^{PV} : en $[^\circ C]$ différence de température de référence entre les deux espaces séparés par la paroi considérée. Elle dépend de la zone climatique, de l'altitude, de la nature de la paroi et de l'orientation.

Apports de référence des parois vitrées (A_{ref}^{VI}) :

$$A_{ref}^{VI} = A_{VEref} + A_{VTref} \text{ [W]}.$$

A_{VEref} : en [W] apports de référence due à l'ensoleillement.

A_{VTref} : en [W] apports de référence due au gradient de température.

1.3.2.2 Outil de vérification réglementaire

La vérification réglementaire peut se faire sur internet sur la plateforme du Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER) qui a développé une application de calcul thermique appelé RETA (Réglementation Thermique Algérienne).

L'application sera présentée avec les autres outils de la recherche dans le chapitre 4 outils et logiciels de simulation.

1.3.3 Synthèse

Dans la RT Algérienne la vérification se fait pour toute l'enveloppe du bâtiment pour les deux saisons problématiques l'été et l'hiver par contre dans les deux autres exemples la vérification se fait pour chaque paroi par une seule norme que ce soit pour l'été ou l'hiver.

..... ...	Approches (Vérification)				Domaines d'application		Les seuils de consommation
	Performancielle	Prescriptive			Résidentiel	Tertiaire	
		Paroi	Enveloppe	Période			
France	X	-	-	-	X	X	50 KWh/m² par an
Maroc	X	X	-	Annuelle	X	X	Selon les zones climatiques
Tunisie	X	X	-	Annuelle	-	X	Selon les classes de performance
Algérie	-	-	X	Eté	X	X	/
				Hiver	X	-	

Tableau 3 Comparaison des RTs présentées, auteur

Mais pour une politique de maîtrise et d'économie de l'énergie, il est intéressant de développer une RT qui fixe des seuils de consommation et des normes pour l'enveloppe. Parce qu'on peut avoir un bâtiment conforme qui consomme beaucoup d'énergie. Ou le contraire, un bâtiment non conforme qui consomme peu d'énergie.

Bâtiment	Enveloppe conforme à la RT (Prescriptive)		Appareils électroménagers performants		Hypothèse sur la consommation énergétique
		✓		✗	Consommation élevée
		✗		✓	Consommation élevée
		✗		✗	Consommation très élevée
		✓		✓	La performance énergétique

Tableau 4 les consommations selon l'enveloppe et les appareils du bâtiment, auteur

Les approches prescriptives des RTs sont principalement des outils d'aide à la décision et d'orientation des choix architecturaux dans la phase de conception architecturale, pour atteindre les seuils de consommation exigés par les approches performanciennes dans la phase d'exploitation du bâtiment.

1.4 Conclusion

A travers les points précédents nous avons tiré les conclusions suivantes :

1. Le bâtiment résidentiel est le plus énergivore par rapport à tous les autres secteurs et le gaz naturel est le produit le plus utilisé pour les différents besoins dont le chauffage est le grand consommateur d'énergie. C'est dans ce contexte que s'intègre notre recherche et pour ces raisons nous avons orienté notre choix du cas d'étude. Nous avons ainsi, traité dans cette recherche le cas d'une habitation résidentielle chauffée au gaz naturel qui se situe dans la zone climatique C qui est une zone climatique très froide durant l'hiver (température de référence pour l'hiver $[-2^{\circ}\text{C}]$).
2. Les RTs d'étranger présentées précédemment ont quelques points de convergences et d'autres de divergence. Elles ont toutes le même principe qui est la limitation d'un seuil de consommation énergétique à ne pas dépasser. Ce seuil est différent d'un pays à un autres.

Aussi il y a un point commun entre la RT tunisienne et le RTCM Marocain qui le travail sur deux approche :

- Approche performancielle : fixer un seuil de consommation.
 - Approche prescriptive : fixer des normes de caractéristiques thermophysiques de l'enveloppe du bâtiment.
3. La RT Algérienne dans sa globalité ressemble à l'approche prescriptive de la RT Tunisien ou de RTCM Marocain dans la mesure où on fixe des normes pour l'enveloppe du bâtiment.

Dans le chapitre suivant nous avons présenté de cas de programme d'application : Une publication lié à la recherche scientifique, et l'autre est dans le domaine de construction et de réalisation de logement qui lui aussi a fait l'objet d'une recherche.

Chap 2 Efficacité énergétique (EE) en Algérie, programme d'application

2.1 Introduction

Dans son programme d'efficacité énergétique, APRUE a lancé plusieurs opérations dans plusieurs secteurs.

L'agence et en convention avec l'OPGI (Office de Promotion et de Gestion Immobilières) ont lancé un programme appelé Eco-Bât pour la réalisation de 600 logements à Haute performance énergétique dans plusieurs zones en Algérie.

Aussi, dans le secteur du bâtiment, APRUE en coopération avec GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit « l'agence de coopération internationale allemande pour le développement ») ont publié un guide de construction éco-énergétique en Algérie. Dont, ils présentent plusieurs règles et critères d'évaluation de l'efficacité énergétique en Algérie.

Dans ce chapitre, nous avons présenté les grandes lignes de ces deux opérations et les points essentiels qui sont en relation avec notre recherche.

2.2 "ECO-BAT"

Le programme "Eco-bât" est un programme de réalisation de 600 logements HPE dans plusieurs régions du pays qu'APRUE a lancé avec les différentes OPGI des zones concernées.

Nous avons présenté dans cette partie un des cas de ce programme qui est 80 logements HPE à Blida. Le programme est reparti sur 8 blocs de R+4 dans un site dans la commune Ain Romana à 20km de la ville de Blida. Ce projet a été l'objet d'une recherche dans le cadre d'obtention du diplôme de magister dans l'Université Mohamed Khider, Faculté des Sciences et de la technologie, Département : Architecture, Biskra, présenté le 18/06/2017 par : Mme FERRADJI Kenza³⁷ (13)

³⁷ FERRADJI, Kenza. Évaluation des performances énergétiques et du confort thermique dans l'habitat : Cas des logements HPE de l'OPGI de Blida. Université Mohamed Khider, Faculté des Sciences et de la technologie, Département : Architecture, Biskra : Mémoire Magister, Soutenu le 16 Juin 2017.

Les bâtiments sont conçus avec un système constructif courant avec l'intégration de certaines solutions d'efficacité énergétiques.

Le système constructif :

- Une structure en poteaux- poutres en béton armé.
- Les murs extérieurs sont en double cloisons de brique creuse séparées par un isolant thermique en polystyrène 5cm d'épaisseur.
- Les planchers intermédiaires sont en entrevous + dalle de compression.
- La toiture est en pente.
- Les ouvertures ont une menuiserie en bois et un vitrage simple.

Les solutions d'efficacité énergétique :

- L'isolation des murs extérieurs par une couche de polystyrène de 5 cm à la place des lames d'air des constructions courantes.
- Un traitement particulier des ponts thermiques et du toit par un habillage en brique ou en polystyrène pour les ponts thermique et une isolation dans le faux plafond de dernier niveau pour le toit.

La recherche présentée précédemment propose des simulations pour trois cas d'appartement. Un cas HPE tel qu'il est présenté, un cas de conception courante et un troisième cas HPE amélioré.

Caractéristiques de l'appartement		Simulation des températures ambiantes :
Conception Courante	• Murs extérieurs - Enduit en plâtre 2cm - Brique creuse 10 cm - Lamé d'air 5 cm - Brique creuse 15 cm - Enduit extérieur 2cm • Plancher haut - Polystyrène 5 cm - Béton plein 4cm - Hourdis 16 cm - Enduit en plâtre 2cm	• Hiver - De 6.22°C à 8.86°C pour le séjour et la chambre sud. - De 5.30°C à 7.70°C pour la chambre nord et les circulations. • Eté - De 28°C à 34°C pour le séjour les deux chambres les circulations.
HPE	• Murs extérieurs - Enduit en plâtre 2cm - Brique creuse 10 cm - Polystyrène 5cm - Brique creuse 15 cm • Plancher haut - La laine de verre 5cm - Un faux plafond en plâtre 5cm	• Hiver - De 7°C à 9.5°C pour le séjour et la chambre sud. - De 6°C à 8°C pour la chambre nord et les circulations. • Eté - De 25 °C à 30°C pour tous les espaces
HPE Amélioré	• Murs extérieurs - Enduit en plâtre 2 cm - Brique pleine 15 cm - Polystyrène 20 cm - Brique pleine 10 cm - Enduit extérieur 2 cm • Plancher haut - La laine de verre 20 cm - Béton plein 10 cm - Un faux plafond en plâtre 5 cm	• Hiver - De 10.5°C à 12°C pour le séjour et la chambre sud. - De 9.5°C et 11°C pour la chambre nord et les circulations. • Eté - De 25°C à 27°C pour tous les espaces.

Tableau 5 comparaison des résultats des trois cas de bâtiment simulés par TRNSYS
(FERRADJI Kenza 2017) adapté par l'auteur.

Nous avons constaté que les cas simulés n'ont pas une température de confort pour l'hiver. Pour l'été, le premier cas est un peu loin du confort, le deuxième est proche et le troisième a une température de confort sans faire recours à la ventilation ou la climatisation mécanique.

La différence de température entre le premier et le troisième cas est d'une moyenne de 3.5°C. Cette amélioration de la température intérieure va permettre de réduire l'utilisation du chauffage et de la climatisation mécaniques. Et elle a engendré des variations de consommation énergétique³⁸ :

- **En hiver,**

- Le modèle HPE économise 9% par rapport au model ordinaire dans la facture du chauffage.
- Pour le model HPE amélioré, l'énergie de chauffage économisée arrive à 43% par rapport à l'ordinaire toujours.

- **En été,**

- Le modèle HPE économise 80% par rapport au model ordinaire dans la consommation énergétique de la climatisation.
- Pour le model HPE amélioré, l'énergie de la climatisation économisée atteint 93% par rapport à l'ordinaire toujours.

2.3 Le Guide de la construction Eco-Energétique

En 2014, les deux agences ont publié un guide de construction eco-énergétique qui est structuré en trois parties :

1. Notions et recommandations en efficacité énergétique dans le bâtiment³⁹.
2. Critères d'évaluation de l'efficacité énergétique dans le bâtiment⁴⁰.
3. Calcul thermique du bâtiment application CTBAT (DTR C3-2 et C3-4)⁴¹.

Nous avons présenté ici les critères d'évaluation de l'efficacité énergétique et un modèle de bâtiment de conception thermique améliorée qui sont proposés dans le guide.

³⁸ FERRADJI, Kenza. Évaluation des performances énergétiques et du confort thermique dans l'habitat : Cas des logements HPE de l'OPGI de Blida. Université Mohamed Khider, Faculté des Sciences et de la technologie, Département : Architecture, Biskra : Mémoire Magister, Soutenu le 16 Juin 2017.

³⁹ Astrid Denker, S.M K El Hassar. Guide pour la construction Eco-Energétique en Algérie. 2014.

⁴⁰ Ibid

⁴¹ Ibid

2.3.1 Critères d'évaluation de l'efficacité énergétique dans le bâtiment

Le guide met à la disposition des différents acteurs du domaine du bâtiment un système d'évaluation de l'efficacité énergétique en Algérie. Le système se compose de 14 critères et chaque critère est composé d'un ou de plusieurs indicateurs.

Groupe	Critère	Indicateur	Note maximale	Pondération
Architecture	Compacité du bâtiment	Indicateur : $C = A/V$	10 pts	0,5
	Innovation	Indicateur : niveau d'innovation	10 pts	1
Energie	Apports à travers les parois vitrées	Indicateur I : AVT [W] : Les apports dus au gradient de T° Indicateur I = $AVT / AVT_{réf}$	05 pts	1
		Indicateur II : AVE [W] : apports dus à l'ensoleillement Indicateur II = $AVE / AVE_{réf}$	05 pts	
	Apports à travers les parois opaques	Indicateur I : APO_{mur} [W] : Les apports à travers les murs Indicateur I = $APO_{mur} / A_{réf,PV}$	05 pts	0,5
		Indicateur II : $APO_{toiture}$ [W] : Les apports à travers les toitures Indicateur II = $APO_{toit} / A_{réf,PH}$	05 pts	
	Protection thermique en été	Indicateur = $f(TBV ; FStotal ; orientation)$	10 pts	0,5
	Besoins d'énergie en hiver	Indicateur I : DT [W/°C] : Déperditions thermiques par transmission Indicateur I = $DT / DT_{réf}$	04 pts	1
		Indicateur II : DR [W/°C] : Déperditions thermiques par renouvellement d'air Indicateur II = $DR / DT_{réf}$	02 pts	
		Indicateur III : Q [W] : Puissance de chauffage fournie par une chaufferie Indicateur III = $Q / Q_{réf}$	02 pts	
		Indicateur IV : Ech [kWh/a] : Les besoins en énergie de chauffage Indicateur IV = $Ech / Ech_{réf}$	02 pts	
	Apports d'énergie en été	Indicateur I : APO [W] : apports thermiques à travers les parois. Indicateur I = $APO / (A_{réf,PH} + A_{réf,PV})$	04 pts	1
		Indicateur II : AV [W] : apports thermiques à travers les parois vitrées. Indicateur II = $AV / A_{réf,PVI}$ ou encore = $AV' / A'_{réf,PVI}$	04 pts	
		Indicateur III : E_{clim} [kWh/a] : besoins en énergie pour le refroidissement en été. Indicateur III = $E_{clim} / Eréf,clim$	02 pts	

Figure 9 Système d'évaluation de l'efficacité énergétique (1) (APRUE, GIZ 2014)

Groupe	Critère	Indicateur	Note maximale	Pondération
Energie	Utilisation des énergies renouvelables	Indicateur : part des énergies renouvelables: R [%] = $[P_{sol} + PPV + P_{autre}] / [P_{dep} + P_{app} + PECS]$	10 pts	1
	Puissance électrique	Indicateur : taux de l'utilisation de la puissance électrique provenant du réseau. Indicateur = $(P_{dep.XY_{dep.}} + P_{app.XY_{app.}} + P_{ecl.XY_{ecl.}}) / (P_{dep.} + P_{app.} + P_{ecl.})$	10 pts	0,5
Environnement	Emission de CO2	Indicateur = $m_{CO2} / m_{ref, CO2}$	10 pts	1
	Spécifications des éléments du bâtiment	Indicateur : niveau de réduction du phénomène d'îlot de chaleur	10 pts	0,5
Economie	Économie : chauffage, climatisation	Indicateur : rapport des coûts de consommation d'énergie C/C _{réf}	10 pts	1
Equipement	Spécifications des équipements techniques	Indicateur I : la technologie et le rendement de la(es) chaudière(s) utilisée(s)	03 pts	0,7
		Indicateur II : COP _{moy} [-] : la moyenne pondérée des COP des différents appareils de refroidissement.	03 pts	
		Indicateur III : la présence des calorifugeages des canalisations traversant les espaces non conditionnés.	02 pts	
		Indicateur IV : le type du contrôle ou de la régulation des éléments de l'installation	02 pts	
Confort	Confort (T° et lumière du jour)	Indicateur I : la différence entre la T° intérieure et la T° de surface du plafond Indicateur I = $T_{si} - T_i$	02 pts	0,8
		Indicateur II : la différence entre la T° intérieure et la T° de surface du mur extérieur. Indicateur II = $T_{si} - T_i$	02 pts	
		Indicateur III : la différence entre la T° intérieure et la T° de surface du vitrage. Indicateur III = $T_{si} - T_i$	02 pts	
		Indicateur IV : indice de vitrage corrigé	04 pts	

Figure 10 Système d'évaluation de l'efficacité énergétique (2) (APRUE, GIZ 2014)

Le guide explique chaque critère et indicateur en détail et il donne l'objectif, la méthode de calcul, la grille de notation et les documents de référence de chaque indicateur. A la fin, il propose une grille de notation globale avec les pondérations de chaque critère pour avoir une note sur 100 du bâtiment analysé.

Critère	Indicateur	Notation				
		Note du critère	Note de l'indicateur	Note maximale	Pondération	Note du critère pondérée
Critère 1 : Compacité du bâtiment				10	0,5	
	Indicateur I : $C = A/V$			10		
Critère 2 : Apports à travers les parois vitrées				10	1	
	Indicateur I : AVT [W] ; les apports dus au gradient de température			5		
	Indicateur II : AVE [W] ; les apports dus à l'ensoleillement			5		
Critère 3 : Apports à travers les parois opaques				10	0,5	
	Indicateur I : APO mur [W] ; les apports à travers les murs			5		
	Indicateur II : APO toiture [W] ; les apports à travers les toitures			5		
Critère 4 : Protection thermique en été				10	1	
	Indicateur I : f (TBV ; FStotal ; orientation)			10		
Critère 5 : Besoins d'énergie en hiver				10	0,5	
	Indicateur I : DT [W/°C] : les déperditions thermiques par transmission			4		
	Indicateur II : DR [W/°C] ; les déperditions thermiques par renouvellement d'air			2		
	Indicateur III : Q [W] ; la puissance de chauffage fournie par une chaufferie			2		
	Indicateur IV : ECh [kWh/a] ; les besoins en énergie de chauffage			2		
Critère 6 : Apports d'énergie en été				10	1	
	Indicateur I : APO [W] ; les apports thermiques à travers les parois.			4		
	Indicateur II : AV [W] ; les apports thermiques à travers les parois vitrées.			4		
	Indicateur III : Eclim [kWh/a] ; les besoins en énergie pour le refroidissement en été.			2		
Critère 7 : Emission de CO2				10	1	
	Indicateur I : mCO2 / mref,CO2			10		
Critère 8 : Utilisation des énergies renouvelables				10	1	

Figure 11 Grille de notation détaillée (1) (APRUE, GIZ 2014)

	Indicateur I : part des énergies renouvelables			10		
Critère 9 : Puissance électrique				10	0,5	
	Indicateur I : taux de l'utilisation de la puissance électrique provenant du réseau			10		
Critère 10 : Économie : chauffage, climatisation				10	1	
	Indicateur I : rapport des coûts de consommation d'énergie C/Créf			10		
Critère 11 : Spécifications des éléments du bâtiment				10	0,5	
	Indicateur I : niveau de réduction du phénomène d'îlot de chaleur			10		
Critère 12 : Spécifications des équipements techniques				10	0,7	
	Indicateur I : la technologie et le rendement des chaudières utilisées			3		
	Indicateur II : la moyenne pondérée des COP des différents appareils de refroidissement.			3		
	Indicateur III : le calorifugeage des canalisations traversant les espaces non conditionnés.			2		
	Indicateur IV : le type du contrôle ou de la régulation des éléments de l'installation			2		
Critère 13 : Confort (Température et lumière du jour)				10	0,8	
	Indicateur I : la différence entre la T° intérieure et la T° de surface du plafond			2		
	Indicateur II : la différence entre la T° intérieure et la T° de surface du mur extérieur.			2		
	Indicateur III : la différence entre la T° intérieure et la T° de surface du vitrage.			2		
	Indicateur IV : la surface minimale des vitrages			4		
Critère 14 : Innovation				10	1	
	Indicateur : niveau d'innovation			10		
Total						100 points
Important :						
— L'indicateur I du critère 5 est considéré comme un indicateur majeur, toute note inférieure à 1 est éliminatoire.						
— L'indicateur I du critère 6 est considéré comme un indicateur majeur, toute note inférieure à 1 est éliminatoire.						
— Un total inférieur à 30 obtenu à l'ensemble des critères est éliminatoire.						

Figure 13 Grille de notation détaillée (2) (APRUE, GIZ 2014)

Après la présentation des notions et recommandations et critères d'évaluation en efficacité énergétique le guide propose une évaluation d'un cas de bâtiment.

2.3.2 Evaluation d'un bâtiment

Le guide propose un bâtiment de bureau qui se situe dans la zone climatique C dans une altitude de 1000 m. Le bâtiment a une surface au sol de 450 m². Et il est constitué d'un RDC plus cinq étages et un sous-sol. Le guide propose le bâtiment avec deux variantes : une conception courante et une conception thermique améliorée. Et il donne les différents résultats issus de la simulation avec l'application CTBAT et de l'évaluation avec la grille précédente des deux cas.

Paroi	Conception courante			Conception thermique améliorée		
Façade sud	Composition (de l'extérieur vers l'intérieur) :			Composition (de l'extérieur vers l'intérieur) :		
	Matériau	Conductivité λ [W/(m.°C)]	Epaisseur [m]	Matériau	Conductivité λ [W/(m.°C)]	Epaisseur [m]
	Mortier de ciment	1,4	0,02	Mortier de ciment	1,4	0,02
	Brique perforée	0,56	0,15	Brique perforée	0,58	0,15
	Lame d'air pour mur de 55 à 300 mm (R = 0,16)			Polystyrène expansé	0,040	0,10
	Brique perforée	0,56	0,10	Brique perforée	0,58	0,10
	Mortier de chaud	0,87	0,02	Mortier de chaud	0,87	0,20

Figure 14 parois des deux cas du bâtiment (APRUE, GIZ 2014)

Dans le deuxième cas, plusieurs solutions ont été proposées pour l'amélioration de l'efficacité énergétique du bâtiment. Concernant l'isolation des parois opaques (murs et toit) la solution proposée est le remplacement de la lame d'air des murs extérieurs par de polystyrène expansé et l'ajout de complexe d'étanchéité avec isolation pour le toit.

Les résultats montrent une grande différence entre les deux cas. Le deuxième cas est conforme à la RT Algérienne, est plus performant, sa consommation est petite, et il a eu plus de points dans la grille par rapport à la conception courante.

	Conception courante	Conception thermique améliorée
Conformité à la RT		
Note générale (grille)	13/100	46,5/100
Consommation du chauffage	480 755 (kWh/a)	106 130 (kWh/a)

Figure 15 Comparaison des performances des deux cas du bâtiment (APRUE, GIZ 2014, adapté par l'auteur).

Les consommations énergétiques sont calculées à partir des résultats de la simulation CTBAT par la formule suivante (1):

$$ECh = (DT + DR) \times DJhiver \times 24 \times 1 / 1000 \text{ (kWh)}$$

- ECh [kWh/a] : Les besoins en énergie de chauffage
- DT (W/°C) sont les déperditions par transmission
- DR (W/°C) sont les déperditions par renouvellement d'air
- DJhiver est le degré jour Hiver (°C/Jour)⁴²

Cette analyse et cette lecture de guide nous a permis de tirer certaines conclusions et solutions pour la suite de notre recherche :

- Le dispositif d'isolation que nous avons testé dans notre cas d'étude : le remplacement de la lame d'air des murs extérieurs par de polystyrène et l'ajout de complexe d'étanchéité avec isolation pour le toit.
- La formule avec laquelle nous avons calculé les consommations énergétiques : dans la partie de simulation avec RETA, nous avons utilisé la formule présentée précédemment pour calculer les consommations à partir des déperditions données par l'application.
- L'importance d'appliquer la RT Algérienne sur différentes échelles. A travers les résultats présentés dans la figure 20 :
 - Nous avons constaté que le bâtiment avec conception thermique améliorée a eu 3.5 fois plus de points qu'un bâtiment de conception courante (Donc pour une vision future, l'application des dispositifs d'efficacité énergétique proposés dans le guide aura une grande influence en cas d'application de la grille dans un concours d'architecture).
 - Aussi, cette solution a réduit la consommation énergétique du chauffage avec un taux spectaculaire de 77.92% ce qui engendre des grandes économies pour l'entreprise et une réduction des rejets (GES).

⁴² (Le principe consiste à additionner, jour après jour, les écarts de température existant entre l'intérieur et l'extérieur. Par exemple, si, en moyenne de la journée, il fait 20° à l'intérieur et 5° degrés à l'extérieur, on parlera de 15 degrés-jours. De même 3 journées à 0°C extérieurs seront comptabilisés comme 60 Degrés-jours.) <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=15567#c9705+c9706> consulté le 29/07/2017.

2.4 Conclusion

Ces deux expériences de HPE présentées dans ce chapitre ont enrichi nos hypothèses et méthodologie de recherche. Elles nous ont permis de :

- établir un des scénarios de la mise en conformité du notre cas d'étude (remplacer la lame d'air par de polystyrène).
- comparer les consommations énergétiques de chauffage des bâtiments à l'aide des déperditions thermiques par la formule suivante :

$$\mathbf{ECh = (DT + DR) \times DJhiver \times 24 \times 1 / 1000 (kWh)}$$

Les deux exemples ressemblent à notre recherche dans la mesure où elles traitent de différents états d'un même bâtiment. Le bâtiment dans son état initial et le bâtiment après isolation ou amélioration de la HPE, pour ensuite comparer les performances des différents modèles.

- La première qui est le guide d'écoconstruction énergétique a traité un bâtiment de bureaux : par CTBAT (conformité à la RT Algérienne) et par la grille d'évaluation de l'efficacité énergétique (en cas d'un concours d'architecture).
- La deuxième est 80 logements HPE à Blida et qui a fait l'objet de la recherche magister précédente a traité un logement collectif par TRNSYS (températures ambiantes et consommation énergétique).

Ainsi, pour un même objectif, il existe différentes méthodes et outils de simulation et d'évaluation de l'efficacité énergétique. Dans le chapitre suivant nous avons présenté certaines de ces méthodes et outils.

Dans notre recherche, nous avons analysé une maison individuelle par RETA (plusieurs modèles : état initial et avec différentes propositions de mise en conformité) pour la conformité à la RT Algérienne. Audit, RETA et ECOTECT pour étudier les consommations énergétiques du chauffage.

Chap 3 Evaluation de l'efficacité énergétique (méthodes et outils)

3.1 Introduction

L'évaluation de l'efficacité énergétique passe par plusieurs étapes et ce fait par plusieurs manières. Elle peut se faire pour un bâtiment déjà existant par l'audit énergétique ou par des simulations thermiques. Ces dernières peuvent être statiques ou dynamiques selon l'outil utilisé. Aussi, elle peut se faire pour l'évaluation d'un choix architectural ou d'une proposition à l'échelle de la conception pour orienter les choix.

Dans ce chapitre nous avons présenté certains outils de simulation thermique et d'évaluation de l'efficacité énergétique tels que l'Audit énergétique, RETA et ECOTECH qui sont les trois outils principaux de notre recherche et aussi d'autres applications et logiciels du même domaine.

3.2 Audit énergétique

3.2.1 Définition

En générale, un audit énergétique standard ou détaillé est un diagnostic de la performance énergétique d'un bâtiment ou d'un groupe de bâtiments à travers l'analyse des factures, l'entretien avec les maitres d'ouvrage et les mesures in situ. Il vise à déterminer les différentes consommations énergétiques selon les sources et les usages pour ensuite proposer des scénarios de réduction de la consommation énergétique tout en assurant le confort des usagers.

Mais, on peut considérer comme audit énergétique :

- Une simple visite sur site⁴³ pour donner une simple solution qui va engendrer des réductions des consommations énergétiques peut être considérée comme un audit rapide.
- Une analyse des factures et des coûts énergétiques⁴⁴. Ce type passe par une visite sur site et une vérification des factures d'énergie et un diagnostic des différents usages et appareils.

⁴³ Moncef Krarti, Dominique Marchio, Guide technique d'audit énergétique, Paris : Presses des MINES, collection Technologies, 2016. Page 08

3.2.2 Objectifs

- Identifier les potentialités et les défaillances du bâtiment en termes de confort et de consommation énergétique.
- Proposer des solutions techniques pour l'enveloppe du bâtiment, les appareils, les sources d'énergie, l'usage...etc.
- Afin d'atteindre l'objectif majeur de cette intervention qui est un maximum de confort avec le minimum de ressources.

3.2.3 Etapes de l'audit

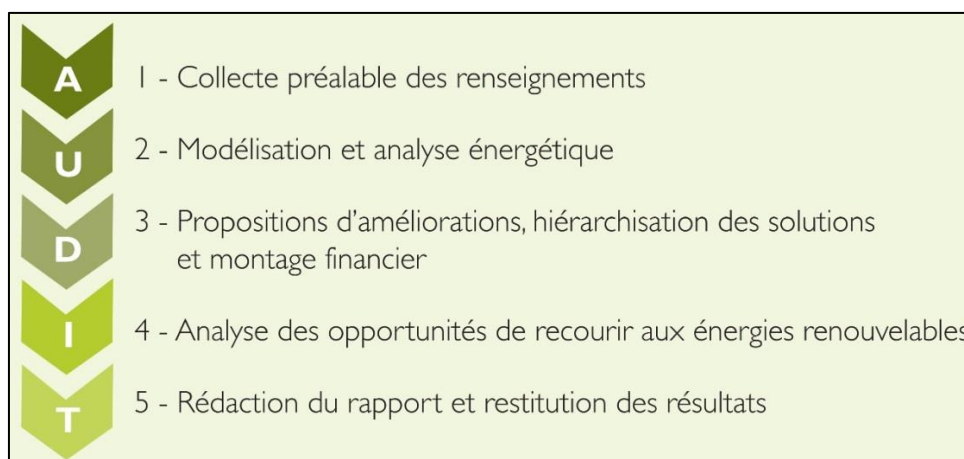


Figure 16 Les phases de l'audit (ADEME, 2011)

3.2.4 Audit et réglementation algérienne

L'audit énergétique est traité dans la réglementation Algérienne dans la loi sur l'énergie n°09-99 qui a réservé tout un chapitre pour l'audit énergétique (Chapitre III « audit énergétique » Art 20-21-22-23) et à travers le « Décret exécutif n° 05-495 du 24 Dhou El Kaada 1426 correspondant au 26 décembre 2005 relatif à l'audit énergétique des établissements grands consommateurs d'énergie ». Le décret donne dans ces différents articles : définition, objectifs, conditions d'exercice, obligations et modalités de mise en œuvre de l'audit énergétique.

Loi n°09-99 Chapitre III « Art. 21. - L'audit énergétique comprend un ensemble d'investigations techniques et économiques, des contrôles de performances énergétiques des équipements et des procédés techniques, l'identification des causes de la surconsommation de l'énergie et la proposition d'un plan d'actions correctives. ».⁴⁵

⁴⁴ Moncef Krarti, Dominique Marchio, op.cit. Page 09

⁴⁵ Loi n° 99-09 du 15 Rabie Ethani 1420 correspondant au 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie

Décret exécutif n° 05-495 Chapitre I « Article 2. On entend par audit énergétique l'examen et le contrôle des performances énergétiques des installations et des équipements des établissements industriels, de transport et du tertiaire, en vue de l'optimisation énergétique de leur fonctionnement. ».⁴⁶

Décret exécutif n° 05-495 Chapitre III « Article 10. Sont soumis à l'obligation d'audit énergétique tous les établissements industriels, de transport et du tertiaire, quelles que soient leur nature juridique ou leur activité dès lors que leur consommation annuelle d'énergie atteigne les seuils fixés aux articles 11, 12 et 13 ... »⁴⁷

Etablissement	Consommation totale annuelle d'énergie supérieure ou égale
Industriels	2000 tonnes équivalent pétrole (tep)
De transport	1000 tonnes équivalent pétrole (tep)
De secteur tertiaire	500 tonnes équivalent pétrole (tep)

Tableau 6 Les seuils de consommation (Décret exécutif n° 05-495) adapter par l'auteur

Le tableau suivant synthétise les points communs entre les étapes d'audit présentés dans ce chapitre et principalement dans la et notre méthodologie de recherche présentée dans l'introduction générale.

	Audit	Notre Recherche
A	Collecte préalable des renseignements.	La partie théorique, état de l'art et présentation du cas d'étude (après la visite sur site et la récupération des différentes données et factures d'énergie).
U	Modélisation et analyse énergétique.	Modélisation du bâtiment et simulation par RETA et par Ecotect par la suite. Analyse des factures d'énergie pour déterminer le taux de consommation du chauffage.
D	Proposition d'amélioration, hiérarchisation des solutions et montage financier.	La mise en conformité du bâtiment à travers la proposition de différentes solutions et plusieurs scénarios d'isolation des murs et planchers.
I	Analyse des opportunités de recourir aux énergies renouvelables.	Cette partie n'est pas traitée dans notre recherche.
T	Rédaction du rapport et restitution des résultats.	En générale c'est tout le mémoire mais la partie la plus proche de ce point est le dernier chapitre (CH8) avec la discussion des résultats et la conclusion générale.

Tableau 7 points commun entre cette recherche et la démarche d'audit, auteur

⁴⁶ Décret exécutif n° 05-495 du 24 Dhou El Kaada 1426 correspondant au 26 décembre 2005 relatif à l'audit énergétique des établissements grands consommateurs d'énergie.

⁴⁷ Ibid.

3.3 Outils d'évaluation et logiciels de simulation

3.3.1 RETA

RETA (REglementation Thermique Algérienne) c'est une application de calcul thermique dans le bâtiment, accessible sur internet sur le lien suivant : <http://reta.cder.dz/>. Elle est développée par le Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER) en 2015. Elle permet de vérifier la conformité d'un bâtiment à la RT algérienne et de réaliser le bilan thermique d'un bâtiment à travers le calcul des déperditions thermiques d'hiver et les apports calorifiques d'été et les comparés à des valeurs de références. L'application se base sur les deux DTR présentés dans les chapitres précédents.

L'accessibilité à la plateforme est ouverte et gratuite pour tout le monde avec un enregistrement obligatoire. Après l'enregistrement, on peut créer un projet à partir de la page d'accueil. (Le manuel d'utilisation et les étapes de simulation voir Annexe I).

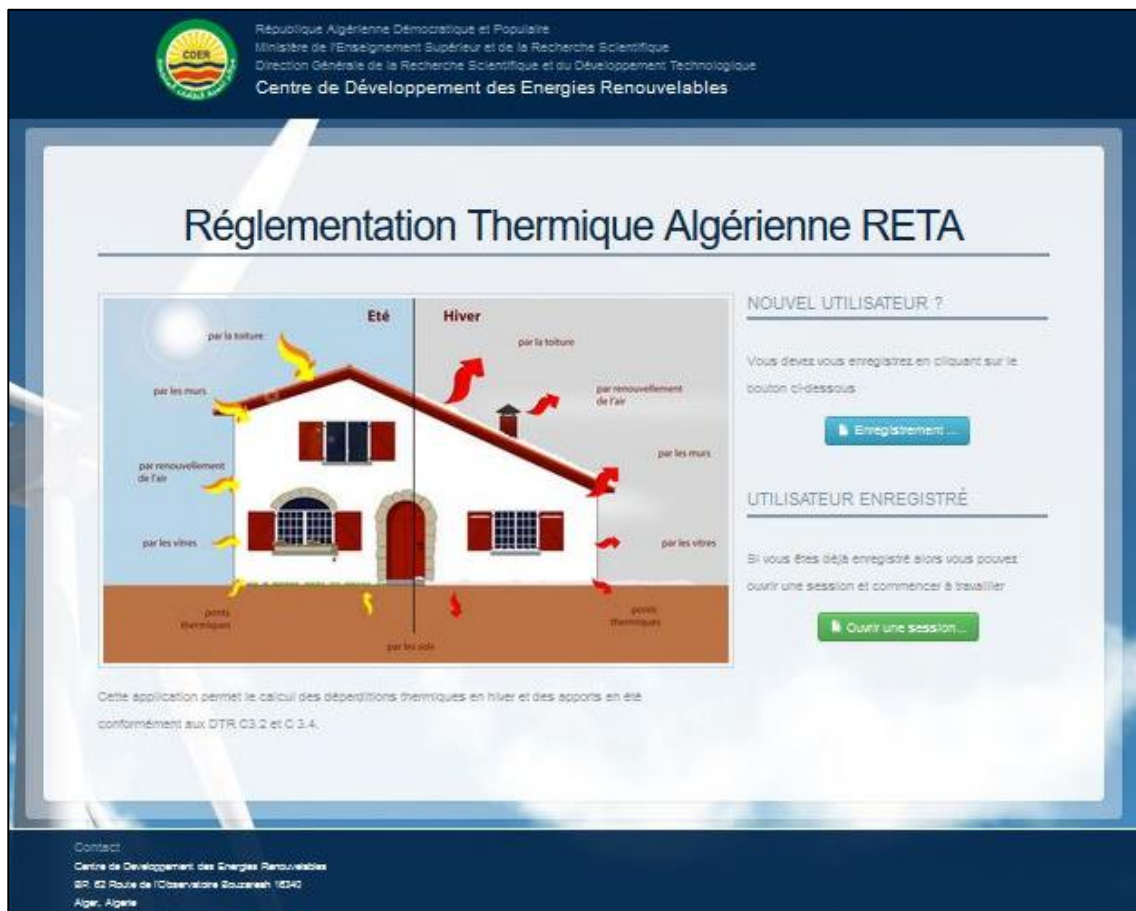


Figure 17 l'interface de RETA (<http://reta.cder.dz/>)

Cette application est le produit final d'une précédente version qui est CT BAT (Calcul Thermique des Bâtiments). Elles ont le même principe est presque les mêmes interfaces et fenêtres de dialogue.

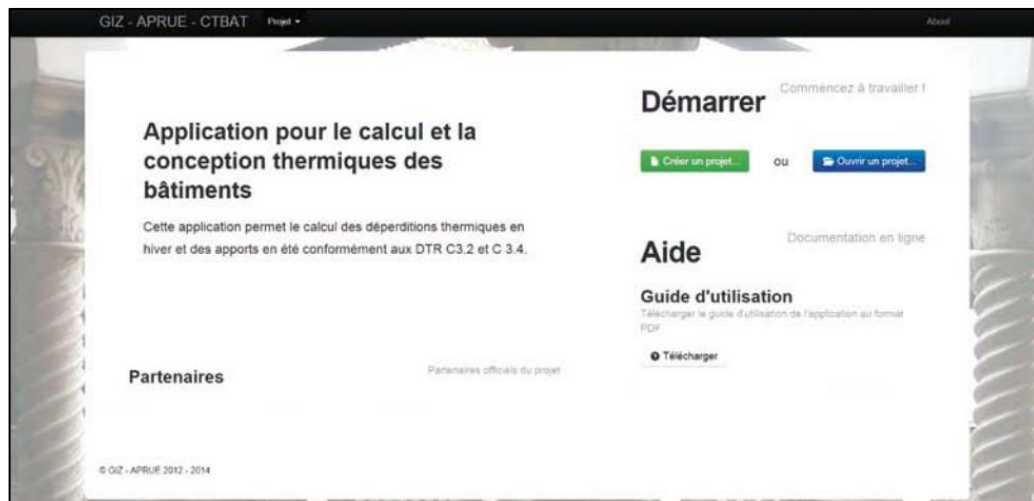


Figure 18 L'interface de CT BAT

Astrid Denker, S.M K El Hassar. *Guide pour la construction Eco-Energétique en Algérie*. 2014. P146.

3.3.2 Ecotect

Le deuxième outil que nous avons utilisé dans notre recherche est ECOTECH. Un logiciel de simulation dynamique. Il permet de simuler le bâtiment dans plusieurs aspects techniques : thermique, aéraulique, consommation énergétique etc... Pour notre cas nous avons utilisé juste la partie de calcul de la consommation énergétique du chauffage. Le logiciel permet de modéliser en 3D les différents modèles avec la composition et les matériaux de leurs parois. (Voir les étapes de simulation dans le chapitre 6)

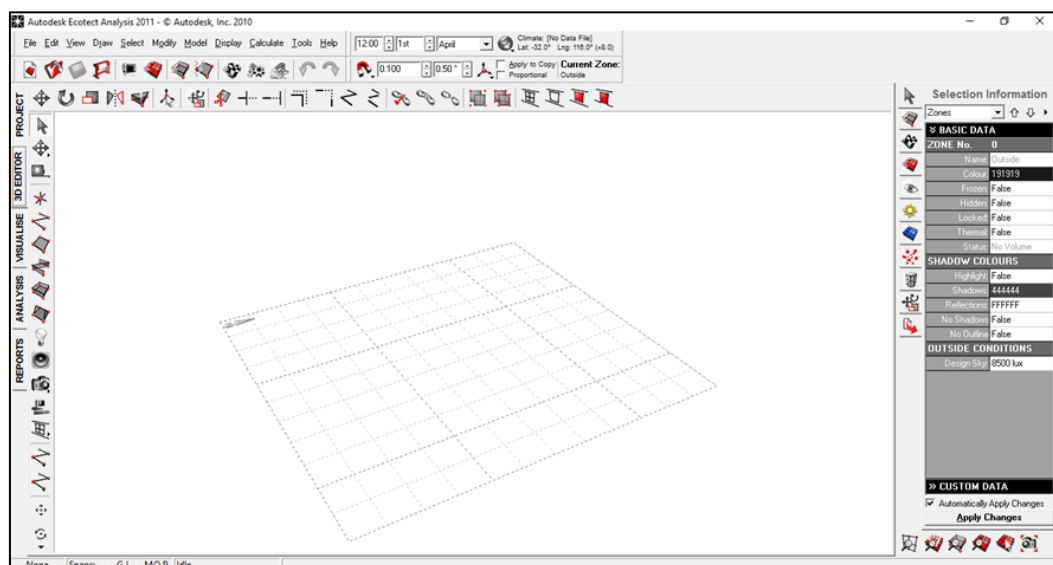


Figure 19: Interface du logiciel ECOTECH

Les deux outils précédents sont les concernés par cette recherche mais il existe d'autres outils et logiciels qui font des simulations thermiques dynamiques. Les plus répandus sont :

- TRNSYS (TRaNsient SYstems Simulation Program)
- CODYBA (COde de simulation DYnamique de BAtiments)
- EnergyPlus
- VisualDOE 4.0

3.3.3 Synthèse des outils d'évaluation

- **RETA** est une application Algérienne ne permet que la vérification réglementaire à la RT Algérienne des bâtiments qui se situent en Algérie. Elle est basée essentiellement sur la description des composantes du bâtiment (Volumes, parois ...est.). Elle calcule pour tout le territoire national. Et elle est accessible sur internet et non installable sur PC.
- **ECOTECT** est une application universelle qui permet de faire des simulations dans des domaines divers pour presque toutes les régions du monde selon la disponibilité du fichier climat de la région et même quand il n'y a pas de fichier on peut le créer nous-même. Elle est basée essentiellement sur la modélisation 3D. Et elle est une application installable sur PC.

<i>Outils</i>	<i>Simulation</i>	<i>Contexte</i>	<i>Domaine</i>	<i>Projet</i>
<i>RETA</i>	Statique	Algérien	RT	Description
<i>ECOTECT</i>	Dynamique	Universel	Plusieurs simulations	Modélisation 3D

Tableau 8 Comparaison RETA et ECOTECT, auteur

3.4 Conclusion

Nous constatons à travers les points précédents que : la démarche d'audit est complexe, elle passe par plusieurs étapes et son objectif est d'atteindre l'efficacité énergétique. Cette solution est choisie par plusieurs pays dans leurs programmes d'efficacité énergétique.

En Algérie, la loi n°09-99 et le décret n° 05-495 donne clairement la définition et les modalités de mise en œuvre de l'audit énergétique avec l'obligation d'audit pour les cas précédents et l'exigence de remettre le rapport final à l'APRUE. Mais, il reste à développer la méthode de calcul des consommations et les seuils exigés parce que nous avons constaté l'absence de la prise en charge de plusieurs points :

- La nature de l'activité et la taille de l'établissement
- le nombre d'employés et la productivité de l'établissement

Nous avons utilisé dans notre recherche l'audit énergétique pour évaluer les consommations réelles du cas d'étude afin de les comparer aux consommations après réhabilitation.

Nous avons utilisé les outils RETA et ECOTECT comme outils de simulation thermique complémentaires statique et dynamique.

Dans les chapitres suivants nous avons présenté le cas d'étude et les résultats issus de ces simulations et évaluations.

Chap 4 : Evaluation de la conformité à la RT d'une maison individuelle

4.1 Introduction

Afin de quantifier les gains économiques et de juger l'utilité et les limites de la RT dans le domaine résidentiel, nous avons étudié un cas d'une maison individuelle. Nous avons évalué la conformité à la RT Algérienne du bâtiment. Pour cette première étape de simulation nous avons utilisé RETA.

Dans ce chapitre nous présentons le bâtiment et son évaluation de conformité à la RT Algérienne.

4.2 Présentation du cas d'étude

4.2.1 Choix du cas d'étude

Le cas que nous avons choisi est une maison individuelle de R + 2 + buanderie avec une surface habitable de 172m². La partie achevée est uniquement R+1.

Le choix du cas d'étude c'est basé sur plusieurs critères :

1. Un cas d'étude qui ressemble à la majorité des constructions algériennes, construction en poteau poutre en béton armé et murs en brique creuse.
2. Construite après 2000 (la date du décret exécutif n°2000- 90 du 24 avril 2000 portant réglementation thermique dans les bâtiments neufs.).
3. Facilité d'accéder et de visiter le cas à chaque fois qu'il est nécessaire.
4. Présences des documents graphiques etc...

Et le critère le plus important pour le choix de cette maison est de considérer cette petite recherche comme base pour un plan d'action de mise en conformité de la maison ainsi que la possibilité de réaliser le plan d'action sur la maison et de vérifier concrètement les gains à travers les factures et les consommations réelles après sa mise en conformité. Ultérieurement, on pourra prendre ce cas comme un model (un standard) de consommation énergétique Algérien ou au moins régional. Et il fera objet par la suite de ma recherche doctorale ou d'autre recherche sur le même thème...

4.2.2 Présentation du cas d'étude

Une maison individuelle qui se situe dans la commune de Saharidj, Daïra de M'chedellah, Wilaya de Bouira, dans une agglomération urbaine. La région appartient à la zone climatique C. La partie R+1 de la maison est construite en 2003.

En ce qui concerne l'énergie, le bâtiment est alimenté d'électricité et de gaz de ville. Il est chauffé dans sa partie supérieure (Etagé) par un chauffage de gaz et il n'est pas climatisé.

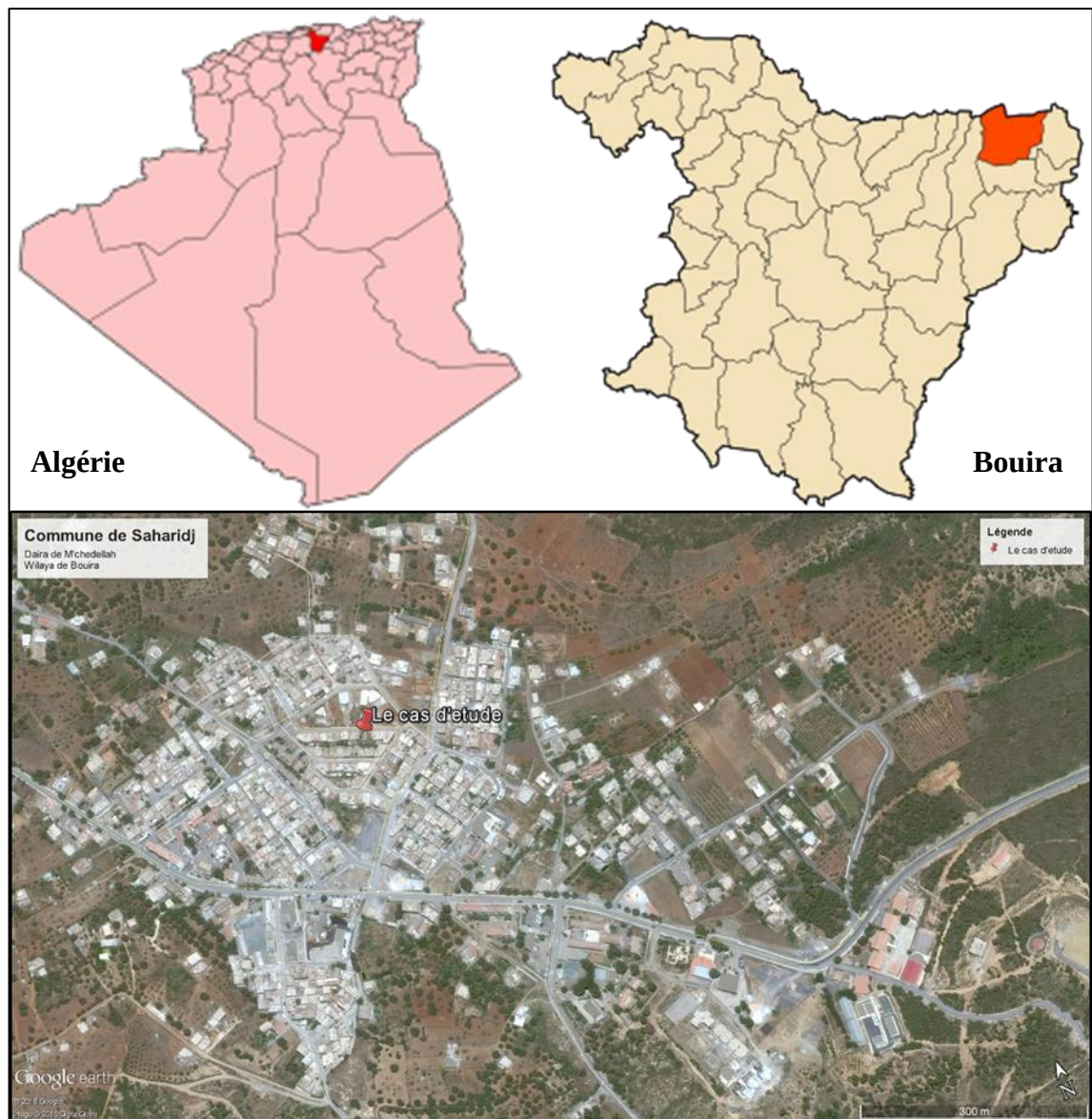


Figure 21 Cartes de localisation du bâtiment (Google.Image)

Le bâtiment

Le bâtiment est construit en poteaux poutres en béton armé (structure) et en brique creuse (enveloppe). Les dalles sont en corps creux et dalle de compression. Il procède deux façades ouvertes (N-E et S-O) et deux façades aveugles (N-O et S-E).

Il est revêtu de mortier de ciment de l'extérieur dans ces deux façades ouvertes et non revêtu dans les deux façades aveugles qui donnent sur deux parcelles mitoyennes (dont deux bâtiments projetés mais non construits jusqu'au jour).

De l'intérieure, le bâtiment est revêtu avec une couche de mortier de ciment, une d'enduit et de la peinture intérieure.

Il a un taux d'ouverture sur les deux façades de 19% (portes et fenêtres). Les menuiseries sont en bois d'épaisseur ordinaire. Les vitrages sont de type simple de 2 mm d'épaisseur. La porte du garage est en métal.

Puisque le bâtiment n'est pas fini à 100% (R+2 sur le permis de construire et R+1 achevé jusqu'au jour) donc le dernier plancher n'a pas de dispositifs d'étanchéité.

a. RDC

Le RDC est composé de : Salon, Cuisine, Garage, SDB et WC. La partie en rouge sur le plan est considérée comme un volume thermique seul comme défini dans le DTR. Cette partie n'est ni chauffée ni climatisée.

NB : La cage d'escalier est aussi un volume thermique seul non concerné par l'étude.

b. Etage

La partie supérieure du bâtiment est composée de : Quatre Chambre, un hall, SDB et WC. Cette partie est chauffée avec un chauffage individuel en gaz naturelle. Elle n'est pas climatisée.

Pour l'étude nous avons simulé avec RETA et ECOTECT les deux niveaux comme deux enveloppes différentes parce que l'Etage est chauffé et le RDC n'est pas chauffé. Donc les deux niveaux n'ont pas les mêmes conditions thermiques.

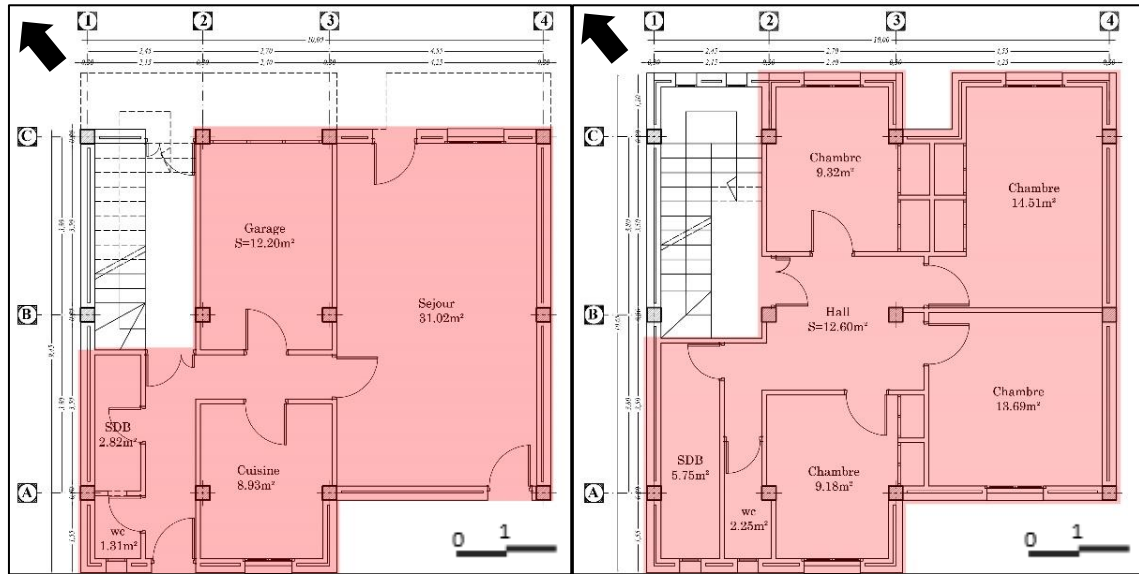


Figure 23: Plan du RDC et 1er Etage, auteur

4.3 Evaluation de la conformité à la RT avec RETA

4.3.1 Définition du projet et de la localisation :

Dans cette première étape nous avons défini les différentes informations générales du projet : le nom, les coordonnées, site d'implantation...

Figure 24 Fenêtre nouveau projet RETA

4.3.2 Définition des enveloppes

Comme déjà signaler le bâtiment est composé de deux volumes le RDC et l'Etage sans tenir compte de la cage d'escalier qui n'est pas concernée.

4.3.3 Définition des parois pour chaque enveloppe

4.3.3.1 RDC

La surface totale du RDC est 76.5 m². Son volume est composé de six parois verticales opaques :

- Paroi N-E(1) en contact avec l'extérieure.
- Paroi S-O en contact avec l'extérieure.

Elles se composent de : Brique creuse en double cloison avec lame d'air de 10 cm. Revêtement extérieure en enduit de ciment de 2cm. Revêtement intérieure d'enduit de ciment de 2 cm avec enduit et peinture intérieure.

- Paroi S-E(1) en contact avec l'extérieure.
- Paroi N-O(1) en contact avec un local non chauffé.

Elles se composent de : Brique creuse en double cloison avec lame d'air de 10 cm. Sans revêtement extérieure. Revêtement intérieure d'enduit de ciment de 2 cm avec enduit et peinture intérieure.

- Paroi N-E(2) en contact avec un local non chauffé.
- Paroi N-O(2) en contact avec un local non chauffé.

Elles se composent de : Brique creuse de 10 cm. Revêtement en enduit de ciment de 2cm + enduit et peinture intérieure des deux côtés.

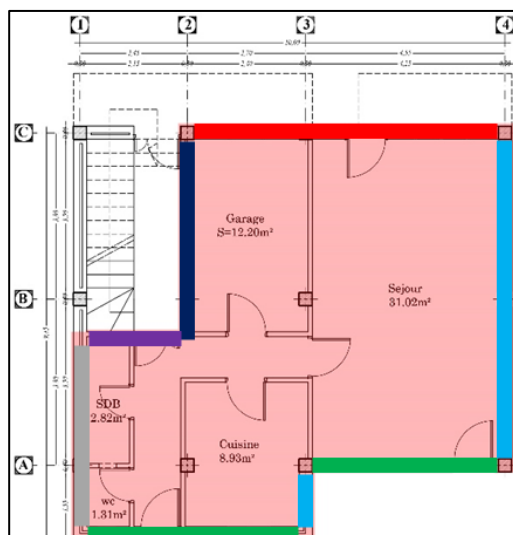


Figure 26 Parois qui composent le RDC,
auteur

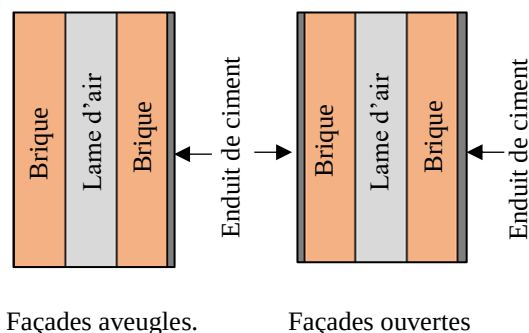


Figure 25 composition des parois, auteur

Les parois présentées précédemment sont les parois verticales opaques. Il reste encore d'autres types de parois verticales : les portes et les fenêtres.

Les parois vitrées (fenêtre et portes fenêtres)

- 1 la fenêtre du séjour.
- 2 la porte 2 du séjour (porte fenêtre).
- 3 la fenêtre de la cuisine.
- 4 la fenêtre du WC.

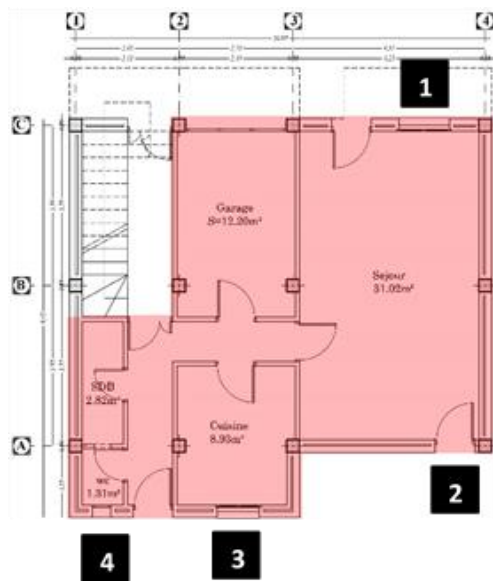


Figure 29 Les parois vitrées du RDC, auteur

Les portes

- 1 la porte du garage.
- 2 la porte 1 du séjour.
- 3 la porte vers la cour.
- 4 la porte d'entrée. (en contact avec un local non chauffé)

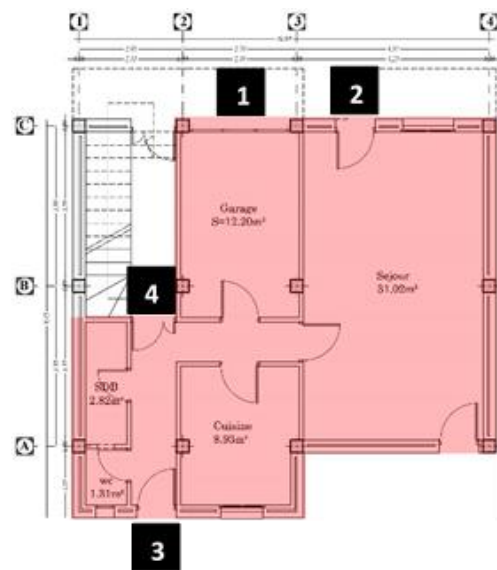


Figure 30 Les portes du RDC, auteur

Puisque nous avons pris le RDC totalement comme un seul volume (La partie en rouge sur le plan) conformément à la définition du DTR donc les portes et les fenêtres qui sont concernées par l'étude sont celles qui sont sur l'enveloppe extérieure du volume considéré. Les portes qui sont dans les parois de séparation à l'intérieur du volume ne sont pas prises en compte.

Le dernier type de parois pour cette enveloppe est les parois horizontales. Elles sont au nombre de deux : le plancher bas sur terre plane et le plancher haut en constate avec un local chauffé.

4.3.3.2 Etage

La deuxième enveloppe est le 1er Etage qui a une surface totale de 84 m². Comme la première enveloppe, cette deuxième a six parois verticales opaques.

- Paroi N-E(1) en contact avec l'extérieure.
- Paroi S-O en contact avec l'extérieure.

Elles se composent de : Brique creuse en double cloison avec lame d'air de 10 cm. Revêtement intérieure et extérieure comme le RDC.

- Paroi S-E(1) en contact avec l'extérieure.
- Paroi N-O(1) en contact avec l'extérieure.

Elles se composent de : Brique creuse en double cloison avec lame d'air de 10 cm. Revêtement intérieure et extérieure comme le RDC.

- Paroi N-E(2) en contact avec un local non chauffé.
- Paroi N-O(2) en contact avec un local non chauffé.

Elles se composent de : Brique creuse de 10 cm. Revêtement en enduit de ciment de 2cm + enduit de plâtre de 1cm et peinture intérieure des deux côtés.

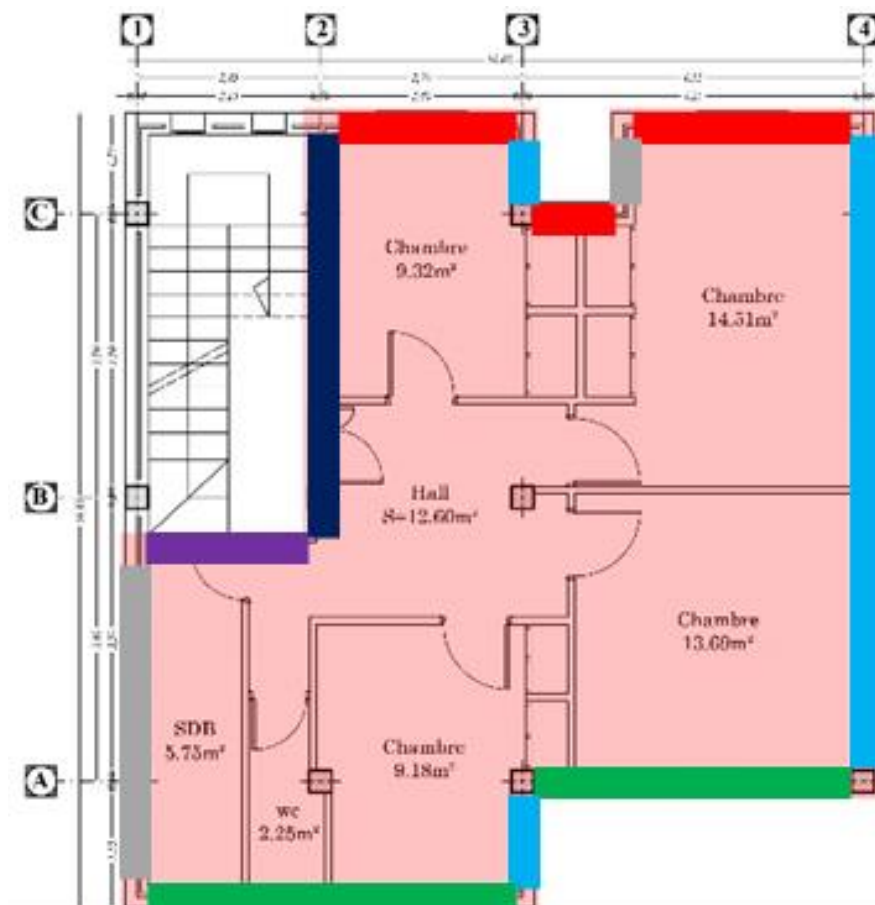
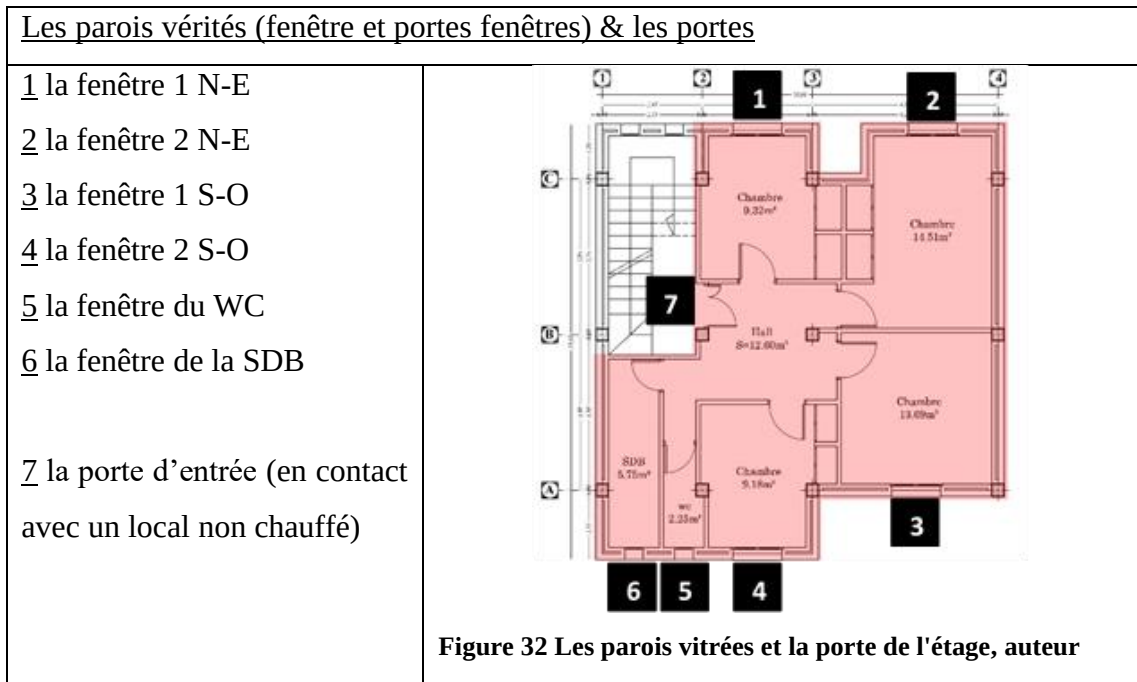


Figure 31 Les parois qui composent l'Etage, auteur

Le deuxième type des parois de l'étage :



Le dernier type de paroi est les parois horizontales. Comme le volume RDC, l'étage a deux parois horizontales : le plancher bas qui est le plancher haut du RDC et le Toit qui est en contact avec l'extérieure.

4.3.3.3 Synthèse des parois

Plancher Bas
Plancher Haut
Façade Sud-E
Façade Nord-O 1
Façade Nord-E 1
Façade Sud-O
Porte du garage
Porte 1 du séjour
Porte 2 du séjour
Fenetre de la cuisine
Fenetre du séjour
Fenetre du WC
Porte vers la cour
Façade Nord-E 2
Façade Nord-O 2
Porte d'entrée

Figure 35 Liste des Parois du RDC, RETA

Plancher Bas
Façade Sud-E
Façade Nord-E 1
Façade Sud-O
Fenetre 1 NE
Fenetre du WC
Porte d'entrée
Façade Nord-E 2
Façade Nord-O 2
Façade Nord-O 1
Fenetre 2 NE
Fenetre 1 SO
Fenetre 2 SO
Fenetre de la SDB
Plancher Haut

Figure 34 Liste des parois de l'étage, RETA

4.3.4 Vérification réglementaire

Enveloppe	Vérification C-3.2 hiver	Vérification C-3.4 été
RDC	1,22 ✗ Non conforme	1,78 ✗ Non conforme
1e Etage	1,59 ✗ Non conforme	2,22 ✗ Non conforme

Figure 38 Vérification réglementaire RETA

Le bâtiment n'est pas conforme à la RT Algérien dans ses deux volumes et pour les deux périodes : été et hiver. Nous remarquons dans la figure précédant que les coefficients de vérification sont supérieurs à la norme exigée qui est de 1.05.

4.3.4.1 RDC

Le RDC n'est pas conforme à la RT Algérienne mais les valeurs des coefficients (1.24 pour l'hiver et 1.84 pour l'été) sont proches de la norme qui est de (1.05) contrairement aux coefficients de l'étage qui sont de l'ordre de (1.59 et 2.22 respectivement). Et cette situation à notre avis est due au contact avec l'étage supérieur :

- Pour l'hiver : puisque l'étage est chauffé donc il n'y a pas de déperditions par le plancher haut qui a une surface importante.
- Pour l'été : l'étage assure la protection du RDC contre le soleil même c'est la valeur du coefficient de l'été est supérieure à celle de l'hiver.

Après l'analyse des bilans thermiques, nous avons remarqué que parmi les causes de ces valeurs les murs extérieurs et les deux portes en métal. On remarque dans le tableau suivant que les apports de ces deux ports est presque neuf fois plus grand que les apports de référence or que la réglementation ne tolère que ($APO = 1.05 APO_{réf}$)

Nom	Surface	DT	DT _{réf}	APO	APO _{réf}
Porte du garage	6,50 m ²	45,24 W/°C	22,75 W/°C	315,31 W	43,27 W
Porte 1 du séjour	2,10 m ²	10,08 W/°C	7,35 W/°C	68,96 W	13,98 W
Porte vers la cour	2,00 m ²	13,92 W/°C	7,00 W/°C	246,75 W	23,36 W
Porte d'entrée	2,60 m ²	7,49 W/°C	9,10 W/°C	77,68 W	20,28 W

Figure 39 Bilan thermique des portes du RDC, RETA

4.3.4.2 Etage

Contrairement au RDC les valeurs des coefficients de l'étage sont loin de ceux de la RT Algérienne. Cela est dû à notre avis au contact avec le RDC qui n'est pas chauffé.

Pour l'hiver : il y a des déperditions par le plancher bas et haut.

Pour l'été : il y a des apports importants par le toit.

Ces hypothèses sont confirmées par le bilan thermique calculé par RETA. Après l'analyse des résultats donnés par RETA. Nous avons remarqué que les murs extérieurs et le toit sont les causes majeures de cette situation. On remarque dans le tableau suivant que les apports et les déperditions par le toit sont presque trois fois plus grands que ce qui est permis par la RT Algérienne.

Nom	Surface	DT	DTréf	APO	APOréf
Plancher Haut	84,37 m ²	352,19 W/°C	92,81 W/°C	4 347,93 W	1 252,03 W
Total	84,37 m ²	352,19 W/°C	92,81 W/°C	4 347,93 W	1 252,03 W

Figure 40 Bilan thermique du plancher haut de l'étage, RETA

4.4 Conclusion

Le bâtiment simulé n'est pas conforme à la RT Algérienne. Cette situation est due à plusieurs raisons et défauts dans l'enveloppe du bâtiment. Mais pour notre cas nous avons focalisé sur les murs par le remplacement de la lame d'air par du polystyrène que nous avons présenté dans le chapitre 2 et sur le plancher haut de l'étage (le toit) par la mise en place d'un complexe d'étanchéité pour la mise en conformité du bâtiment.

Nous avons utilisé des matériaux d'isolation existant sur la plateforme du RETA qui sont en principe les plus utilisés en Algérie et les plus disponibles dans le marché.

- Nous avons traité quatre scénarios d'isolation :
 - Isolation à la place de la lame d'air plus complexe d'étanchéité.
 - Isolation intérieure plus complexe d'étanchéité.
 - Isolation extérieure plus complexe d'étanchéité.
 - Isolation à la place de la lame d'air plus complexe d'étanchéité avec α (couleur claire) pour la partie extérieure de l'enveloppe.

Chap 5 : Simulation de la conformité à la RT après réhabilitation

5.1 Introduction

La première étape consiste à remplacer la lame d'air par de polystyrène et l'ajout du complexe d'étanchéité sur le toit. Puis la deuxième est de mettre une isolation intérieure, la troisième est de mettre l'isolation à l'extérieure et en fin de revenir au premier scénario qui est remplacer la lame d'air par des matériaux d'isolation tout en changeant la coulure extérieure des parois. Nous avons utilisé une couleur plus clair que celle qui existe actuellement qui est la couleur du béton et de la brique.

- Les matériaux d'isolation que nous avons utilisé sont :
 - Polystyrène expansé 20kg/m³
 - Laine de verre 25kg/m³
 - Laine de roche 35 kg/m³

Les épaisseurs pour le remplacement de la lame d'air sont de 10cm et pour l'isolation intérieure et extérieure sont de 5cm pour tous les matériaux.

5.2 Isolation à la place de la lame d'air plus complexe d'étanchéité

5.2.1 Polystyrène expansé 20kg/m³

Enveloppe	Vérification C-3.2	Vérification C-3.4
RDC	1,00  Conforme	1,30  Non conforme
1e Etage	0,73  Conforme	1,10  Non conforme

Figure 41 Vérification réglementaire « Polystyrène à la place de la lame d'air » RETA

Les résultats montrent une amélioration de la performance de l'enveloppe du bâtiment. Pour la période d'été le bâtiment n'est pas conforme encore. Les dispositifs présentés ne suffisent pas pour sa mise en conformité pour cette période. Par contre pour la période d'hiver le bâtiment est conforme.

5.2.2 Laine de verre 25kg/m³

Enveloppe	Vérification C-3.2	Vérification C-3.4
RDC	1,00  Conforme	1,29  Non conforme
1e Etage	0,73  Conforme	1,09  Non conforme

Figure 42 Vérification réglementaire « Laine de verre à la place de la lame d'air » RETA

On remarque que même avec la laine de verre le bâtiment a gardé presque les mêmes valeurs. Pour l'hiver il est conforme avec les mêmes valeurs du polystyrène. Et pour l'été il n'est pas conforme et même l'amélioration n'est pas importante.

5.2.3 Laine de roche 35kg/m³

Enveloppe	Vérification C-3.2	Vérification C-3.4
RDC	1,00  Conforme	1,31  Non conforme
1e Etage	0,73  Conforme	1,10  Non conforme

Figure 43 Vérification réglementaire « Laine de roche à la place de la lame d'air » RETA

Pour la période d'été le troisième cas est moins performant que les deux premiers et Les trois ont les mêmes valeurs pour l'hiver.

Après ce scénario de remplacement de la lame d'air, nous avons passé à isolation intérieure du bâtiment tout en gardant la lame d'air.

5.3 Isolation intérieure plus complexe d'étanchéité

5.3.1 Polystyrène expansé 20kg/m³

Enveloppe	Vérification C-3.2	Vérification C-3.4
RDC	0,96  Conforme	1,26  Non conforme
1e Etage	0,68  Conforme	1,07  Non conforme

Figure 44 Vérification réglementaire « Isolation intérieure avec de polystyrène » RETA

L'isolation intérieure a donné des résultats plus performants que le remplacement de la lame d'air ce qui est logique parce que l'épaisseur de la paroi de mur a augmenté.

5.3.2 Laine de verre 25kg/m3

Enveloppe	Vérification C-3.2	Vérification C-3.4
RDC	0,96  Conforme	1,26  Non conforme
1e Etage	0,68  Conforme	1,07  Non conforme

Figure 45 Vérification réglementaire « Isolation intérieure avec la laine de verre » RETA

5.3.3 Laine de roche 35kg/m3

On remarque que les trois matériaux donnent les mêmes résultats avec une amélioration par rapport au remplacement de la lame d'air. Mais en ce qui concerne la conformité à la RT Algérienne, on remarque que toujours le bâtiment est conforme pour les calculs d'hiver mais non conforme par rapport aux calculs d'été.

Enveloppe	Vérification C-3.2	Vérification C-3.4
RDC	0,96  Conforme	1,26  Non conforme
1e Etage	0,68  Conforme	1,07  Non conforme

Figure 46 Vérification réglementaire « Isolation intérieure avec la laine de roche » RETA

Pour le troisième scénario nous avons essayé les mêmes dispositifs mais cette fois dans la partie extérieure de l'enveloppe (isolation extérieure).

5.4 Isolation extérieure avec complexe d'étanchéité

5.4.1 Polystyrène expansé 20kg/m3

Enveloppe	Vérification C-3.2	Vérification C-3.4
RDC	0,96  Conforme	1,23  Non conforme
1e Etage	0,68  Conforme	1,05  Conforme

Figure 47 Vérification réglementaire « Isolation extérieure avec le polystyrène » RETA

L'isolation extérieure a les mêmes résultats que l'isolation intérieure pour la période d'hiver parce que c'est la même composition de la paroi juste avec un changement de position. Contrairement à l'été, ou nous avons constaté une amélioration parce que l'aspect extérieur de la paroi est changé donc moins d'apports solaires.

5.4.2 Laine de verre 25kg/m³

Enveloppe	Vérification C-3.2	Vérification C-3.4
RDC	0,95  Conforme	1,22  Non conforme
1e Etage	0,67  Conforme	1,04  Conforme

Figure 48 Vérification réglementaire « Isolation extérieure avec la laine de verre » RETA

5.4.3 Laine de roche 35kg/m³

Enveloppe	Vérification C-3.2	Vérification C-3.4
RDC	0,96  Conforme	1,23  Non conforme
1e Etage	0,68  Conforme	1,05  Conforme

Figure 49 Vérification réglementaire « Isolation extérieure avec la laine de roche » RETA

On remarque dans ces trois cas d'isolation extérieure que les résultats sont améliorés. L'étage est conforme à la RT Algérienne pour les deux périodes et le RDC n'est pas conforme uniquement pour la période d'été avec une amélioration du coefficient.

Cette amélioration à notre avis est due au changement du facteur d'absorption α^{48} de l'enveloppe. Dans les cas précédant le facteur était élevé parce que la couleur extérieure du bâtiment était celle du béton et de la brique. Nous avons essayé de prouver cette hypothèse par le changement du facteur d'absorption pour les trois premier cas.

5.5 Isolation à la place de la lame d'air plus complexe d'étanchéité avec α (couleur claire)

5.5.1 Polystyrène expansé 20kg/m³

Enveloppe	Vérification C-3.2	Vérification C-3.4
RDC	0,95  Conforme	1,17  Non conforme
1e Etage	0,73  Conforme	1,01  Conforme

Figure 50 Vérification réglementaire Polystyrène à la place de la lame d'air avec α (couleur claire)

⁴⁸ Le pourcentage du rayonnement solaire absorbé par la paroi.

Notre hypothèse est confirmée. Le changement de l'aspect extérieur de la paroi a permis d'atteindre la conformité pour l'étage en été et en hiver et d'améliorer la performance du RDC pour l'été.

5.5.2 Laine de verre 25kg/m³

Enveloppe	Vérification C-3.2	Vérification C-3.4
RDC	1,00  Conforme	1,24  Non conforme
1e Etage	0,73  Conforme	1,00  Conforme

Figure 51 Vérification réglementaire laine de verre à la place de la lame d'air avec α (couleur claire)

5.5.3 Laine de roche 35kg/m³

Enveloppe	Vérification C-3.2	Vérification C-3.4
RDC	1,00  Conforme	1,25  Non conforme
1e Etage	0,73  Conforme	1,01  Conforme

Figure 52 Vérification réglementaire laine de roche à la place de la lame d'air avec α (couleur claire)

Pour les trois cas l'étage est totalement conforme. Et le RDC n'est pas conforme encore pour la période d'été. Mais la valeur n'est pas loin de la norme. Le scénario le plus performant est celui de polystyrène.

5.6 Conclusion

Nous remarquons dans le tableau suivant que le bâtiment dans son état initial n'est pas conforme à la RT Algérienne. Donc notre première hypothèse est confirmée. Et pour sa mise en conformité nous avons utilisé les modèles présentés précédemment. Pour l'ensemble des solutions, la conformité en hiver est assurée pour les deux enveloppe par contre en été elle n'est pas assurée pour le RDC dans toutes les situations, contrairement à l'étage qui est conforme dans certaines situations.

La solution la plus performante est le cas du Polystyrène à la place de la lame d'air avec une couleur claire pour l'extérieure de l'enveloppe. Donc nous avons pris le bâtiment à l'état actuel et le cas le plus performant de la mise en conformité pour l'évaluation des gains d'énergie pour le chauffage qui fera l'objet du chapitre suivant.

Matériau	Masse volumique	Position	Epaisseur	α et Couleur extérieure	Calcul d'hiver DTR C-3.2		Calcul été DTR C-3.4	
					Coefficient / Conformité		Coefficient / Conformité	
					RDC	ETAGE	RDC	ETAGE
Etat des lieux (bâtiment dans l'état initial)				Béton, Brique	✗ 1.24	✗ 1.59	✗ 1.84	✗ 2.22
Polystyrène	20 kg/m3	Lame d'aire	10 cm	Béton, Brique	✓ 1	✓ 0.73	✗ 1.3	✗ 1.1
		Intérieure	5 cm	Béton, Brique	✓ 0.96	✓ 0.68	✗ 1.26	✗ 1.07
		Extérieure		Béton, Brique	✓ 0.96	✓ 0.68	✗ 1.23	✓ 1.05
		Lame d'aire	10 cm	Claire	✓ 0.95	✓ 0.73	✗ 1.17	✓ 1.01
Laine de verre	25 kg/m3			Béton, Brique	✓ 1	✓ 0.73	✗ 1.29	✗ 1.09
		Intérieure	5 cm	Béton, Brique	✓ 0.96	✓ 0.68	✗ 1.26	✗ 1.07
		Extérieure		Béton, Brique	✓ 0.95	✓ 0.67	✗ 1.22	✓ 1.04
		Lame d'aire	10 cm	Claire	✓ 1	✓ 0.73	✗ 1.24	✓ 1
Laine de Roche	35 kg/m3			Béton, Brique	✓ 1	✓ 0.73	✗ 1.31	✗ 1.1
		Intérieure	5 cm	Béton, Brique	✓ 0.96	✓ 0.68	✗ 1.26	✗ 1.07
		Extérieure		Béton, Brique	✓ 0.96	✓ 0.68	✗ 1.23	✓ 1.05
		Lame d'aire	10 cm	Claire	✓ 1	✓ 0.73	✗ 1.25	✓ 1.01

Tableau 9 Récapitulatif des simulations du bâtiment RETA , auteur

Chap 6 : Simulation des gains d'énergie du chauffage après réhabilitation

6.1 Introduction

Dans ce chapitre nous avons calculé les réductions des consommations énergétiques du chauffage.

Le bâtiment est chauffé avec du gaz naturel. Donc l'analyse des factures est à deux échelles : L'analyse des factures d'électricité et l'analyse des factures du gaz. Les consommations du gaz qui sont en m³ seront converties en KWh pour les confronté avec les consommations données par ECOTECT (en KWh) et aussi pour déterminé la consommation totale du bâtiment.

6.2 Audit énergétique du bâtiment, état initial

Pour l'analyse nous avons récupéré l'historique des consommations du bâtiment chez SONEGGAZ (service commercial de M'CHEDELLAH) pour les quatre dernières années (2012, 2013, 2014 et 2015).

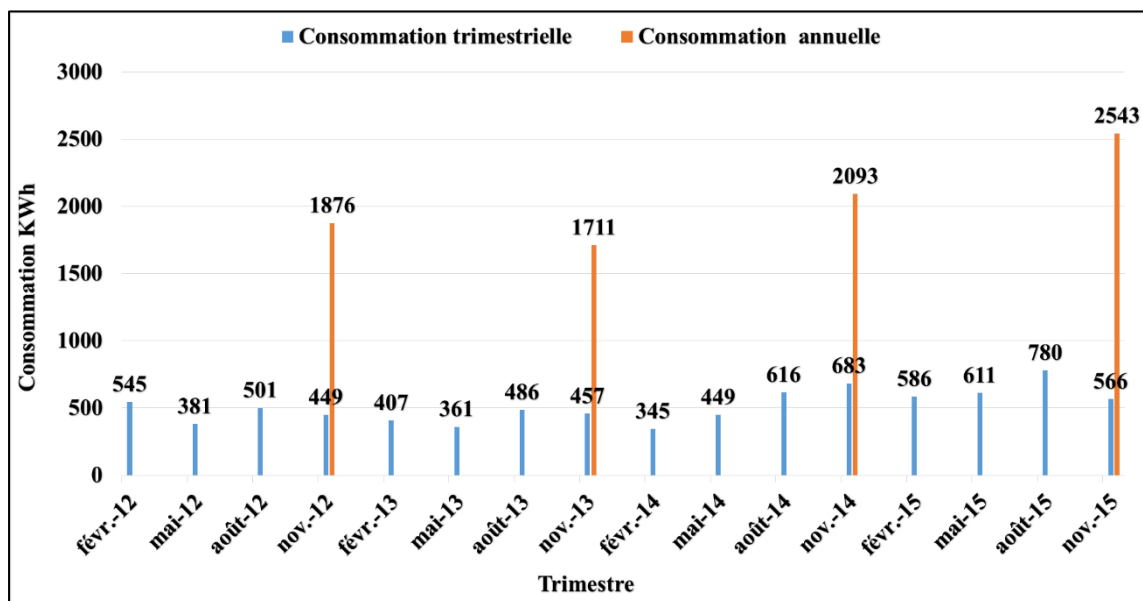


Figure 535 Recapitulatif des consommations d'électricité (2012-2015) Sonelgaz adapté par l'auteur

La figure 48 montre les consommations d'électricité qui est utilisé pour l'éclairage et pour les différents appareils électriques.

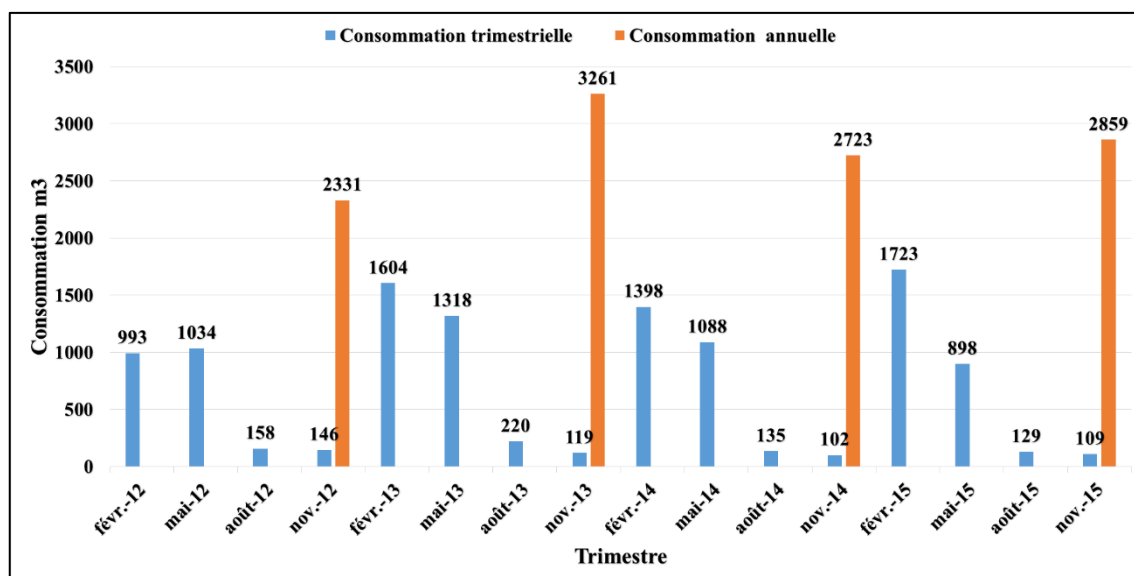


Figure 546 Récapitulatif des consommations du gaz naturel en m³ (2012- 2015) Sonelgaz adaptée par l'auteur

La figure précédente montre les consommations du gaz naturel en m³ qui est utilisé pour la cuisine, l'eau chaude et le chauffage.

Nous avons converti ces consommations en KWh par un coefficient de conversion selon le pouvoir calorifique du gaz. Pour l'Algérie la moyenne du pouvoir calorifique est de 12kwh/m³.⁴⁹

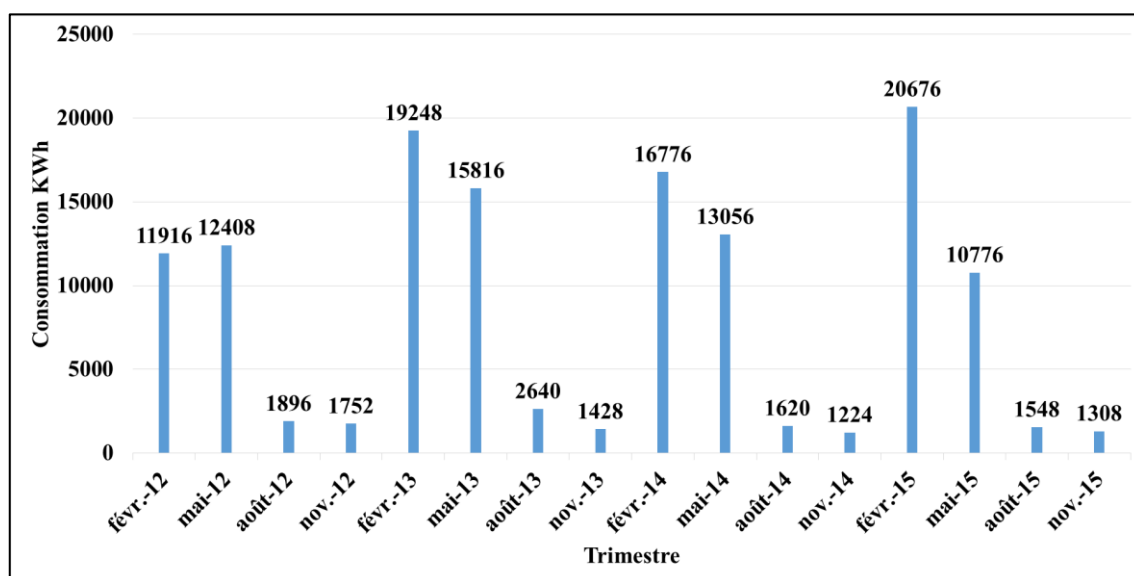


Figure 557 Récapitulatif des consommations du gaz naturel en KWh (2012- 2015) Sonelgaz adaptée par l'auteur

On remarque dans la figure précédente que la consommation du gaz dans les périodes froides est plus grande que les autres périodes. La différence arrive jusqu'à 16 fois comme l'exemple de (Oct-14 et févr-15).

Nous avons essayé de déterminer la moyenne de consommation du bâtiment et la part du chauffage dans cette consommation. Pour cela nous avons établi une moyenne de consommation dans les périodes non froides (cuisine et eau chaude : mai, juin, juillet, août, septembre et octobre) que nous avons soustraie des périodes froides (novembre, décembre, janvier, février, mars et avril).

Facture	Trimestre	Électricité (kWh)	Gaz (kWh)	Gaz / période (kWh)
Fevr-12	Nov. Déc. et Jan.	545	11 916	24 324
Mai-12	Fév. Mar. et Avr.	831	12 408	
Aout-12	Mai. Jun. et Juil.	501	1 896	3 648
Nov-12	Aout. Sep et Oct.	449	1 752	
Fevr-13	Nov. Déc. et Jan.	407	19 248	35 064
Mai-13	Fév. Mar. et Avr.	361	15 816	
Aout-13	Mai. Jun. et Juil.	486	2 640	4 068
Nov-13	Aout. Sep et Oct.	457	1 428	
Fevr-14	Nov. Déc. et Jan.	345	16 776	29 832
Mai-14	Fév. Mar. et Avr.	449	13 056	
Aout-14	Mai. Jun. et Juil.	616	1 620	2 844
Nov-14	Aout. Sep et Oct.	683	1 224	
Fevr-15	Nov. Déc. et Jan.	586	20 676	31 452
Mai-15	Fév. Mar. et Avr.	611	10 776	
Aout-15	Mai. Jun. et Juil.	780	1 548	2 856
Nov-15	Aout. Sep et Oct.	566	1 308	
Moyenne annuelle	35 577.75 kWh/an	Moyenne des périodes chauffées		30 168 kWh
	206.847 kWh/m²/an	Moyenne des périodes non chauffées		3 354 kWh
Moyenne annuelle du chauffage			26 814 kWh/an	

Tableau 10 Performance énergétique du bâtiment, auteur

La performance énergétique du bâtiment est de 206.84 KWh/m²/an. Elle est l'équivalent de : quatre bâtiments BBC Français, de trois bâtiment conforme au RTCM dans la zone six et de deux bâtiment Tunisiens de classe quatre.

La consommation énergétique du chauffage est de 26 814 KWh/an soit 155.89KWh/m²/an. Elle est l'équivalent de trois bâtiments BBC. Cette consommation

représente plus de 75% de la consommation totale du bâtiment. Et elle est plus que la moyenne présentée dans le premier chapitre qui est de 60%.

6.3 Simulation des gains énergétiques par RETA

Comme nous l'avons signalé dans les chapitres précédant, nous avons comparé les consommations énergétiques pour le chauffage (ECh) à partir des résultats de RETA par les formules suivantes :

$$1) \text{ ECh} = (Q) \text{ puissance du chauffage} \times (T) \text{ le temps de fonctionnement en (h)}$$

La puissance de chauffage Q nécessaire pour un logement est donnée par :

$$Q = [t_{bi} - t_{be}] \times [(1 + \text{Max}(c_r ; c_{in})) D_T] + [(1 + c_r) \times D_R] \quad [W] \quad (2.9)$$

- t_{bi} (en °C) représente la température intérieure de base,
- t_{be} (en °C) représente la température extérieure de base,
- D_T (en W/°C) représente les déperditions par transmission du logement,
- D_R (en W/°C) représente les déperditions par renouvellement d'air du logement,
- c_r (sans dimension) est un ratio estimé des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries éventuel,
- c_{in} (sans dimension) représente un coefficient de surpuissance.

Figure 56 méthode de calcul de la puissance du chauffage, source : DTRC3-2 page18

$$2) \text{ ECh} = (DT + DR) \times DJ_{\text{hiver}} \times 24 \times 1 / 1000 \text{ (kWh)}$$

DJ_{hiver} est le degré jour Hiver que nous avons calculé à partir des moyenne mensuelle de site d'implantation et de la température de confort à l'intérieure du bâtiment qui de 21°C.

Les deux formules ont le même principe de calcul, juste que la première utilise des coefficients liés aux pertes et à la suppression.

Donc, nous avons synthétisé les deux formules en une seule que nous avons utilisée dans les calculs. Cette formule est la suivante :

$\text{ECh} = (Dt + Dr) \times (\text{différence de température entre intérieur et extérieur}) \times (\text{le temps de fonctionnement par jour}) \times (\text{le nombre de jour de fonctionnement}).$

- Dt et Dr sont calculés par RETA et sont présentées dans la page suivante.
- Le temps de fonctionnement du chauffage par jour est d'une moyenne de 15h selon le maître d'ouvrage.

- La différence de température entre extérieure et intérieure et le nombre de jours de fonctionnement sont en réalité l'équivalent de DJhiver que nous avons calculé dans la page suivante.

$$ECh = (Dt + Dr) \times DJhiver \times 15h \times 1/1000 \text{ (kWh)}$$

Etage	DT (W/°C)	DR (W/°C)	DT + DR (W/°C)
Etat initial	778,80	56,04	834.84
Après réhabilitation	359,21	56,04	415.25

Tableau 11 déperditions thermiques du volume chauffé, RETA adapté par l'auteur

Le DJHiver : nous avons calculé le DJ pour la période chauffée qui (Nov. Déc. Jan. Fév. Mar et Avr.) selon le maitre d'ouvrage.

Mois	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.
Température de confort (°c)	21	21	21	21	21	21
Température Moy de mois (°c)	12.2	8.4	7.5	8.6	10.8	13.5
Différence des deux températures (°c)	8.8	12.6	13.5	12.4	10.2	7.5
Nombre de jours de mois	30	31	31	28	31	30
DJ de mois (°c)	264	390.6	418.5	347.2	316.2	225
Total des DJ des mois = DJHiver (°c)	1961.5					

Tableau 12 DJ de la période de fonctionnement du chauffage, auteur

Consommation énergétique du chauffage du bâtiment :

- Etat initial :
 - $ECh_1 = 834.84 \times 1\,961.5 \times 15 \times 1/1000 = 24\,563.07 \text{ kWh/an.}$
 - Soit : **142.80 kWh/m²/an**
- Après réhabilitation thermique :
 - $ECh_2 = 415.25 \times 1\,961.5 \times 15 \times 1/1000 = 12\,217.69 \text{ kWh/an.}$
 - Soit : **71.03 kWh/m²/an**
- Nous avons une réduction de consommation du chauffage de 50.25%

La consommation du chauffage dans l'état initial calculée à partir des données de RETA est proche de celle calculée des factures des consommations réelles :

Facture: **26 814 KWh/an** soit **155.89KWh/m²/an.**

RETA: **24 563.07 kWh/an** soit: **142.80 kWh/m²/an.**

6.4 Simulation des gains énergétiques par ECOTECH

6.4.1 Modélisation du bâtiment dans ECOTECH

Le cas d'étude est composé de trois volumes : RDC, Etage et la cage d'escalier selon la définition de la RT Algérienne.

Salon le maitre d'ouvrage, le bâtiment est chauffé pendant les mois : Nov., Déc., Jan, Fév., Mar et Avr. à une température de confort de 21°C. Le chauffage concerne l'étage qui est composé de 4 chambres occupées par 7 personnes.

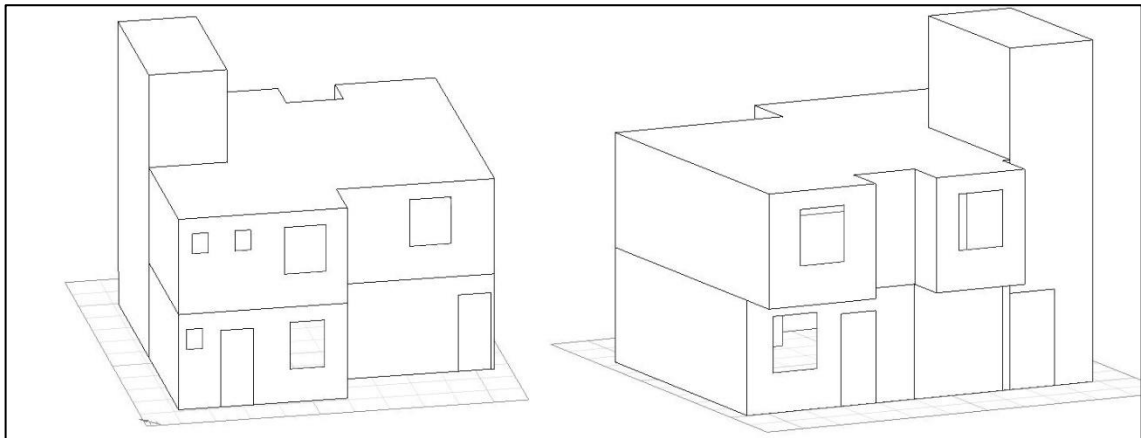


Figure 58 vues 3D du bâtiment, ECOTECH

✓ OCCUPANCY AND OPERATION			
Occupancy Values for number of people and their average biological heat output.	No. of People and Activity:		
	7	Sleeping - 40 W	
		Thermostat Range Environmental temperature range for comfort & system.	Lower Band: 21.0 C Upper Band: 25.0 C

Figure 57 propriétés du batiment, ECOTECH

Comme nous l'avons signalé déjà nous avons calculé la consommation énergétique pour le chauffage. Pour cela il nous faut un fichier climat du site d'implantation du bâtiment que nous avons prêt comme cas d'étude. Le fichier de la région n'existe pas donc nous avons créé un fichier à l'aides des précipitations et des températures Min, Max et Mon de la région pour tous les mois de l'année.

a) Fichier climat « Saharidj. W Bouira »

month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mm	119	79	85	61	50	24	5	7	35	56	98	107
°C	7.5	8.6	10.8	13.5	17.8	22.3	26.2	26.8	23.3	17.5	12.2	8.4
°C (min)	3.6	4.4	6.3	8.4	12.5	16.8	20.1	20.7	18.0	12.8	8.2	4.4
°C (max)	11.5	12.9	15.4	18.7	23.2	27.9	32.4	33.0	28.6	22.2	16.3	12.4

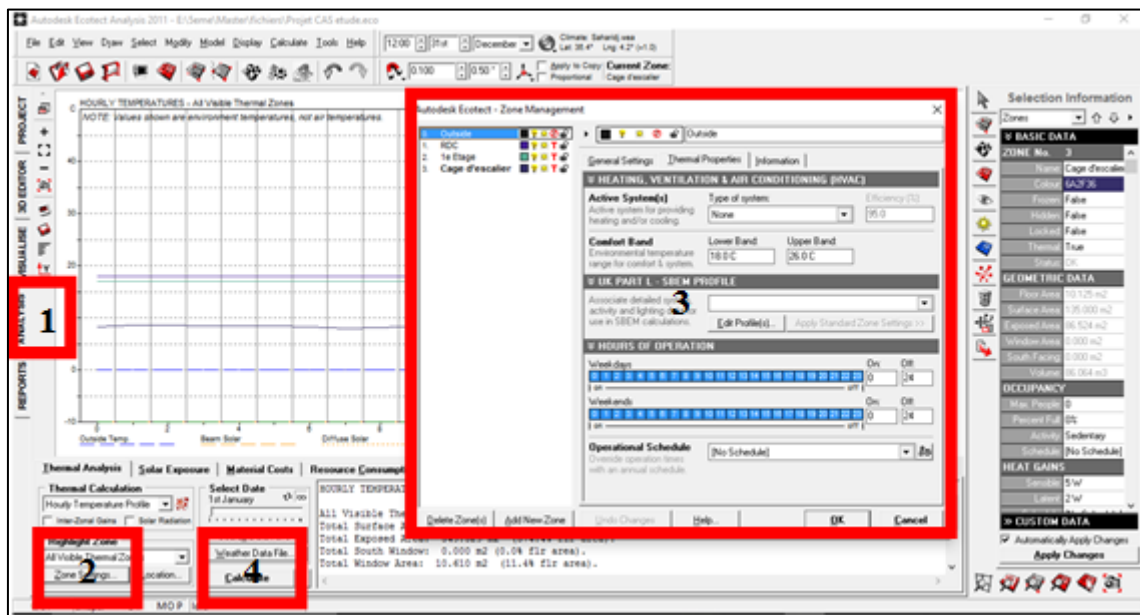
Figure 59 Table climatique Saharidj (source : <http://fr.climate-data.org/location/325392/> (09/12/2016))

Figure 60 Les étapes de la simulation ECOTECT

b) Calcul de la consommation énergétique

1. Passer en mode Analyse.
2. Configurer les zones. Dans la partie 3.
3. Configuration des zones. Ajouter un système actif pour simuler le bâtiment. Pour notre cas le seul système actif est le chauffage avec les différentes données concernant la durée et le degré du confort.(chauffage pendant 15h/j : de 16h à 7h, 21°C degré de confort).
4. Lancer les calculs.

6.4.2 Bâtiment dans son état initial

La performance du chauffage du bâtiment obtenue des simulations par ECOTECT est de **140.7 KWh/m²/an (voir annexe III)**. Elle est inférieure à la valeur obtenue à partir des consommations réelles qui est **155.89 KWh/m²/an** et de celle de RETA qui est de **142.8 KWh/m²/an**.

La différence est à cause de plusieurs paramètres :

- La valeur calculée depuis les factures a un certain degré d'incertitude parce que la quantité d'énergie utilisée pour l'eau chaude augmente pendant les périodes froides, alors que nous avons pris une moyenne annuelle dans les calculs.
- Aussi la valeur obtenue à partir des simulations d'ECOTECT a un degré d'incertitude. Le logiciel calcule les besoins sans tenir compte des situations des occupants (dépendances dues à l'ouverture des portes, des fenêtres ou des défauts dans l'enveloppe du bâtiment).

6.4.3 Bâtiment après réhabilitation.

La performance du bâtiment pour le chauffage après l'application des dispositifs d'isolation est de **63.54 KWh/m²/an** soit **10 928.922KWh/an**.

Cette situation a permis de réduire la consommation énergétique pour chauffage du bâtiment après sa mise en conformité de **54.84 %** (à partir des calculs d'ECOTECT).

6.5 Discussion des résultats

Nous avons remarqué une différence entre les valeurs des performances et cela est dû à la différence des simulations et des méthodes de calcul.

Dans les valeurs calculées à partir des factures d'énergie, nous avons utilisé des moyennes de consommation qui suppose un degré d'incertitude. RETA ne tient pas en compte des différents aménagements et occupations des locaux dans les calculs des déperditions. Et pour le calcul de DJour dans la formule et la création du fichier climat dans ECOTECT nous avons utilisé les températures mensuelles or les températures journalières auront donné plus de précision dans les calculs.

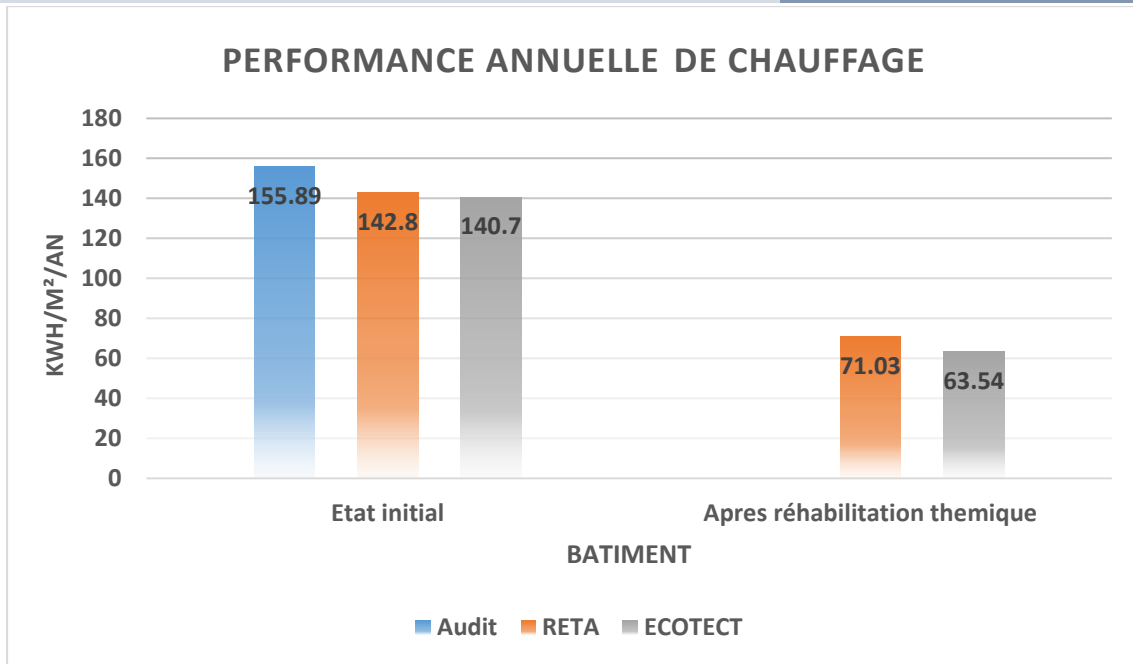


Figure 61 résultats d'évaluation des consommations énergétiques de chauffage

Les résultats des consommations pour l'état initial de bâtiments sont proches. La valeur la plus élevée est celle d'Audit et la plus faible est celle d'ECOTECT avec une différence qui est environ de **15 kWh/m²/an**.

Pour le cas de bâtiment après réhabilitation la différence entre les résultats de RETA et d'ECOTECT est de **7.49 kWh/m²/an**.

Dans l'état initial (selon l'audit) la performance totale du bâtiment est de **206.48 kWh/m²/an** dont **155.89 kWh/m²/an** pour le chauffage qui représente **75.49%** de la consommation totale. Donc, il reste **50.59 kWh/m²/an** pour les autres besoins.

Si on garde les **50.59 kWh/m²/an** des besoins à part chauffage, la performance totale du bâtiment sera :

- Pour RETA : de **193.39 kWh/m²/an** dont **142.8 kWh/m²/an** pour le chauffage qui est l'équivalent de **73.84%** de la consommation totale du bâtiment.
- Pour ECOTECT : de **191.29 kWh/m²/an** dont **140.7 kWh/m²/an** pour le chauffage soit **73.55%** de la consommation totale du bâtiment.

Après réhabilitation thermique du bâtiment nous avons constaté des réductions des consommations du chauffage qui sont de l'ordre de : **50.25%** pour RETA et **54.84%** pour ECOTECT.

Les résultats montrent des améliorations dans la performance du bâtiment après sa mise en conformité à la RT Algérienne mais les chiffres de bâtiment sont très élevés par rapport aux seuils étrangers présentés dans les chapitres précédents.

Cette situation est similaire aux exemples des bâtiments du Guide et de programme Eco-Bat.

Exemple du guide	Construction ordinaire	Construction thermique amélioré	
	480 755 (kWh/an) soit 347.11 KWh/m²/an de bureau	106 130 (kWh/an) soit 76.62 KWh/m²/an de bureau	
Cas d'étude	Non conforme à la RT Algérienne	Conforme à la RT Algérienne	
	Moyenne de 25 191.12 KWh/an soit 146.46 KWh/m²/an	Moyenne de 11 572.16 KWh/an soit 67.28 KWh/m²/an	
	(ECOTECH) 5 402.614 KWh/ en janvier 31.41 KWh/m²/Jan	(ECOTECH) 2 668.074 KWh/ en janvier 15.51 KWh/m²/Jan	
Eco-Bât	Ordinaire	HPE	HPE amélioré
	4 112.94 KWh en janvier 54.83 KWh/m²/Jan	3 769.07 KWh en janvier 50.25 KWh/m²/Jan	2 329.98 KWh en janvier 31.06 KWh/m²/Jan

Tableau 13 Les performance de chauffage des cas présentés dans cette recherche, auteur

6.6 Conclusion

Ces résultats montrent la nécessité et l'utilité d'appliquer la RT dans les bâtiments. Et ils mettent en évidence certaines limites de la RT Algérienne. A la fin de ce chapitre nous tirons certaines conclusions à partir des résultats des simulations :

- Les conceptions ordinaires Algériennes consomment beaucoup d'énergie.
- Le model HPE qui consiste à remplace la lame d'air par de polystyrène et la mise en place de complexe d'étanchéité pour le toit est adéquat pour la mise en conformité de notre cas d'étude pendant la période d'hiver.
- Nous avons constaté des réductions considérables dans les consommations énergétiques du bâtiment après sa mise en conformité.
- La moyenne des réductions de la consommation du chauffage est entre 50% à 54% qui sont l'équivalent de 37% à 40% de la consommation totale de bâtiment.

- La consommation du chauffage du bâtiment avant sa mise en conformité est l'équivalent de 115% de sa consommation globale après sa mise en conformité.
- L'application des dispositifs d'isolation et la mise en conformité du bâtiment a permis de réduire les consommations énergétiques du bâtiment. Mais, on est resté toujours dans des chiffres qui dépassent les différents seuils présentés dans les chapitres précédents (Eg. France, Maroc...). Dont la nécessité de développer plus la RT Algérienne dans le sens de la réglementation des seuils de consommation.
- Après la mise en conformité le bâtiment consomme l'équivalent de :
 - Plus de deux bâtiments BBC Français.
 - Plus de deux bâtiments conformes au RTCM dans la Zone 3.
 - Plus qu'un bâtiment Conforme à la quatrième classe de la RT Tunisienne.

Conclusion Générale

Les constructions Algériennes d'aujourd'hui ne dégradent pas seulement l'image de nos villes, elles dégradent aussi leur environnement naturel.

A travers l'exemple présenté dans cette recherche, nous avons constaté une surconsommation qui est due aux mauvaises qualités thermiques des enveloppes des bâtiments. Nous avons aussi démontré la nécessité de développer des moyens et des exigences réglementaires pour améliorer les qualités thermiques des bâtiments, réduire les consommations énergétiques et réduire, par le même, les émissions des gaz à effet de serre.

Les simulations thermiques statiques et dynamiques de notre cas d'étude ont montré ce qui suit :

- 1) Le bâtiment simulé n'est pas conforme à la RT. Il est très énergivore. Sa consommation dépasse toutes les normes locales et mondiales. Ce qui nous obligera à développer à l'avenir, des moyens et des outils de surveillance et de veille à l'application des normes.
- 2) Un simple dispositif d'isolation permet d'atteindre la conformité à la RT.
- 3) Le facteur d'absorption des parois extérieures a aussi une influence sur la conformité des bâtiments à la RT Algérienne. Plus il est grand plus les apports sont importants et plus on s'éloigne de la conformité.
- 4) L'étanchéité des bâtiments est aussi importante pour assurer une performance énergétique.
- 5) La RT Algérienne n'est pas performante par rapport aux consommations énergétiques. La preuve est que même après sa mise en conformité, la consommation du bâtiment est restée supérieure aux normes présentées dans le chapitre 2.
- 6) Le poste le plus énergivore dans le bâtiment est le chauffage et ce même après la mise en conformité du bâtiment.
- 7) La mise en conformité du bâtiment nous a permis de réduire sa consommation énergétique de plus de 37%.

Conclusion générale

Enfin, ce travail de recherche nous a permis de tirer certaines conclusions et recommandations pour améliorer la qualité thermique des bâtiments et de réduire leur consommation énergétique :

- La nécessité de développer la RT Algérienne. Nous utilisons toujours des documents qui datent de 1998 alors que l'exemple Français a montré en douze ans (2000-2012) une amélioration continue et un degré de performance important en préparant des scénarios pour 2020 pour développer des maisons à énergie positive.
- La nécessité de travail avec deux approches à l'exemple de la Tunisie et du Maroc. Une approche prescriptive à l'image de la RT actuelle mais avec plus d'exigence et de précision dans les calculs (les limites des calculs sont présentées dans le chapitre deux avec les DTRs). Et une approche performancielle qui fixe des seuils de consommation à ne pas dépasser.
- Le développement de l'approche prescriptive permet d'avoir des enveloppes plus performantes et l'approche performancielle permet de réduire les consommations énergétiques.
- Le bâtiment simulé a montré qu'avec la conformité à l'approche prescriptive les consommations énergétiques restent importantes. Il faut donc intégrer d'autres paramètres dans la RT Algérienne.
- Améliorer la RT Algérienne veut dire améliorer aussi son outil de vérification RETA pour améliorer la qualité thermique des bâtiments et atteindre l'efficacité énergétique.

Conclusion générale

Limite de la recherche :

Notre recherche ne peut pas être généralisée parce que nous avons étudié un seul cas dans une zone climatique bien définie. Et bien que ce cas soit une « maison type » en auto-construction, nous ne pouvons pas généraliser les résultats sur tout le territoire du pays. Aussi, nous n'avons traité que deux aspects du bâtiment qui sont les murs et le toit pour améliorer la performance du chauffage. Alors que pour atteindre l'efficacité énergétique, nous sommes conscient qu'il faut prendre le bâtiment dans tous ces aspects : Forme, orientation, enveloppe, éclairage, chauffage, type d'appareilles...etc.

Perspective de la recherche :

Atteindre l'efficacité énergétique dans les bâtiments résidentiels est une étape vers la réduction de nos consommations et nos rejets pour protéger notre environnement et sauver notre planète. Pour l'atteindre il faut prendre le bâtiment dans tous ces aspects y compris la qualité thermique du bâtiment.

La thermique du bâtiment est un domaine qui se développe assez rapidement. Ce qui nécessite une mise à jour continue de nos normes et réglementations et de même une mise à jour de nos habitudes et de nos modes de vie.

Ainsi de nouvelles perspectives de recherche se proposent :

- Une étude d'un échantillon de bâtiments dans tous leurs aspects pour arriver à des indicateurs de consommation réelle des bâtiments Algériens. Cette étude va permettre de développer des labels ou des normes de consommation Algérienne.
- Une révision de la RT Algérienne pour intégrer plus d'indicateurs et de paramètres qui vont permettre une meilleure performance énergétique des bâtiments.
- Une révision du RETA pour le rendre plus actif et pourquoi pas : proposer un logiciel de simulation thermique dynamique propre à l'Algérie.
- Et enfin, une étude opérationnel qui consiste à appliquer les dispositifs proposés dans cette recherche sur un bâtiment et de vérifier les résultats du confort et de la consommation réels in situ.

Bibliographie

Ouvrages :

1. **Astrid Denker, S.M K El Hassar.** *Guide pour la construction Eco-Energétique en Algérie.* 2014.
2. **Bousquet, Lilian.** Mise en œuvre des réglementations thermique et acoustique. Paris : Edition Le Moniteur, 2014.
3. **Bureau Veritas.** Isolation thermique et acoustique des bâtiments. Paris : Editions Le Moniteur.
4. **Cordier, Jean-Pierre.** Conception architecturale et RT 2012. Paris : Editions Le Moniteur, 2013.
5. **De Haut, Paul.** Chauffage, isolation et ventilation écologique. Paris : Eyrolles, 2011.
6. **Fernandez, Pierre et Lavigne, Pierre.** Concevoir des bâtiments bioclimatiques, Fondements & méthodes. Paris : Editions Le Moniteur, 2009.
7. **Gallauziaux, Thierry et Fedullo, David.** Le grand livre de l'isolation. s.l : Eyrolles, 2010.
8. **Javalut, Philippe et Largier, Guy.** Le guide des économies d'énergie dans la maison individuelle. s.l : EDISUD.
9. **Lhomme, Jean-Christian.** La maison économe, Dépenser moins d'énergie pour vivre mieux. Paris : Delachaux et niestlé, 2005.
10. **Liebard, A et de Herbe, A.** *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques: Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable.* s.l : Editions Observatoire des energies renouvelables Observ'ER, Décembre 2005.
11. **MAES, Pascale.** Labels d'efficacité énergétiques. Paris : EYROLLES, 2010.
12. **Molle, Dimitri et Patry, Pierre-Manuel.** RT 2012 et RT Existant, Réglementation thermique et efficacité énergétique. s.l : Eyrolles, 2012.
13. **Moncef Krarti, Dominique Marchio.** Guide technique d'audit énergétique. Paris : Presses des MINES, 2016.
14. **Oliva, Jean-Pierre et Courgey, Samuel.** Isolation thermique écologique. Mens, France : Terre vivante, 2010,2011.
15. **Roulet, Claude-Alain.** Energétique du bâtiment, presses polytechniques romandes, 1987
16. **Sarlos, G, Haldi, Pa et Verstraete, P.** *Traité de génie-civil de l'école fédérale de Lausanne.* 2003. Vol. 21 : systemes energetiques: offre et demande d'energie: methodes d'analyse.

Publications et documents techniques :

17. **ADEME.** *RAPPORT TYPE Audit énergétique.* 2011.
18. **ADEREE.** *Règlement Thermique de Construction au Maroc - Version simplifiée.*

Bibliographie

19. **APRUE**. *Rapport des consommations annuelle*. 2007. Algerie.
20. **CNERIB, Centre nationale d'études et de recherches intégrées du bâtiment**. Document Technique Réglementaire Des Bâtiments d'Habitation. *DTR. C 3-2, règles de calcul des déperditions calorifiques*. 1998.
21. **CNERIB, Centre nationale d'études et de recherches intégrées du bâtiment**. Document Technique Réglementaire Des Bâtiments d'Habitation. *DTR. C 3-4, Règles de calcul des apports calorifiques ' Climatisation'*. 2005.
22. **Imessad, Khaled**. RETA- Logiciel d'application de la Réglementation Thermique Algérienne. [éd.] CDER. *Bulletin des Energies Renouvelables*. Novembre 2015, 36, p. Algerie.
23. **INTERNATIONAL ENERGY AGENCY**. *World Energy Outlook*. Paris, 2011.
24. **Khoudja, A**. Recherche et développement N°32 2014. Comment faire le bilan thermique de sa maison par le DTR ? Alger, Division solaire thermique et géothermie –CDER : s.n. 2014.
25. **Mokhtari, A et Kadri, N**. Contribution à l'étude de réhabilitation thermique. *Revue des énergies renouvelables*. 2011, pp. 301-3011.
26. **UNEP, United Nations Environment Programme**. *Buldings and climate change Status, Challenges and Opportunities*. 2007.

Mémoires et thèses

27. **Boulkenafet, N**. Gestion et Optimisation de la Réhabilitation Thermique des Bâtiments, Magister, Université de Skikda 2014.
28. **FERRADJI, Kenza**. Évaluation des performances énergétiques et du confort thermique dans l'habitat : Cas des logements HPE de l'OPGI de Blida. Magister, Université de Biskra, Juin 2017.
29. **Hachemi, M A**. Exploitation et Programmation Informatique des Documents Technique Réglementaire relatif aux Déperdition Thermique et Ventilation des Bâtiments. Magister, Université Bumerdes.2011.
30. **Seoud, S**. Audit energetique de batiments tertiaires, Magister , EPAU 2012.

Documents officiels :

- Journal Officiel de la République Algérienne (JORA) n°51 du 02-08-1999.
- Journal Officiel de la République Algérienne (JORA) n°05 du 30-04-2000.
- Journal Officiel de la République Tunisienne (JORT) n°62 du 01-08-2008.

Webographie :

- Calculer la valeur U (et R) d'une couche isolante [En ligne] // energie environnement. - 21 Mars 2017. - <http://energie-environnement.ch/maison/renovation-et-chauffage/isolation/421>.

Bibliographie

- Les degrés-jours [En ligne] // energieplus. - 29 Juillet 2017. - <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=15567#c9705+c9706>.
- Logiciel d'application de la Réglementation Thermique Algérienne (RETA). Centre de Développement des Energies Renouvelables. [En ligne] 2015.Novembre 2016.] <https://www.cder.dz/spip.php?article1910>.
- Pouvoir calorifique des principaux combustibles [En ligne] // courtoisenergies. - 23 Mars 2017. - http://courtoisenergies.fr/data/list/docs/Pouvoir_calorifique_des_principaux_combustibles.xls.
- Réglementation Thermique : de la RT 2000 à la RT 2020 [En ligne] // maison-bbc-trecobat. - 21 Mars 2017. - <http://maison-bbc-trecobat.com/reglementation-thermique-rt2000-rt2020-38201.html>.
- RETA-Logiciel d'application de la Réglementation Thermique Algérienne, CDER. [En ligne] 19 Mai 2016. www.cder.dz/spip.php?article2348.
- RT 2000 : de réelles économies d'énergie la première étape [En ligne] // maison-bbc-trecobat. - 21 Mars 2017. - <http://maison-bbc-trecobat.com/rt2000-reelles-economies-energie-premiere-etape-38229.html>.
- RT 2005 : le BBC en attendant la RT 2012 [En ligne] // maison-bbc-trecobat. - 21 Mars 2017. - <http://maison-bbc-trecobat.com/rt2005-debut-bbc-attendant-rt2012-38224.html>.
- RT 2012 : la norme actuelle, naturellement économe en énergie [En ligne] // maison-bbc-trecobat. - 21 Mars 2017. - <http://maison-bbc-trecobat.com/rt2012-norme-actuelle-naturellement-econome-energie-38206.html>.
- RT 2020 : maison passive pour l'après RT2012 [En ligne] // maison-bbc-trecobat. - 21 Mars 2017. - <http://maison-bbc-trecobat.com/rt2020-maison-passive-apres-rt2012-38207.html>.

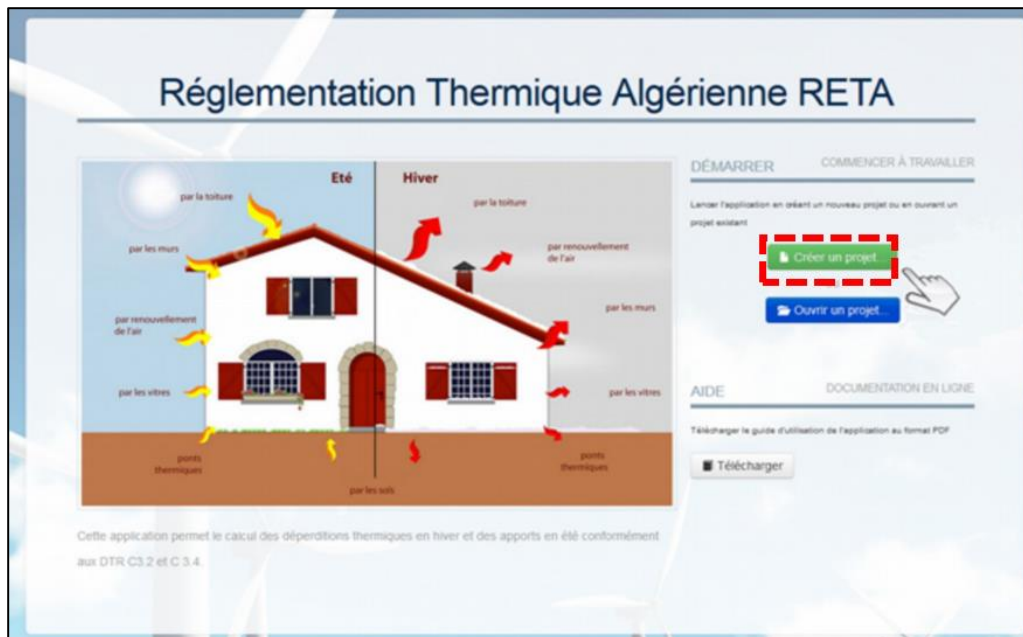
Lien internet

- <http://reta.cder.dz/>
- <http://www.ademe.fr/>
- <http://www.aderee.ma/index.php/fr/>
- <http://www.anme.nat.tn/index.php?id=3>
- <http://www.cder.dz/>
- <http://www.cnerib.edu.dz/>
- <http://www.rt-batiment.fr/generalites/actualites.html>

Annexe

Annexe I : RETA (Manuel d'utilisation et étapes de simulation)

Créer un projet



Les premières informations obligatoires à remplir après le clic sur créer un projet sont le titre du projet et les données liées à sa situation et à son site d'implantation.

The screenshot shows the 'Nouveau projet' (New project) form. At the top, there are two tabs: 'Données techniques' (Technical data) and 'Description'. The 'Données techniques' tab is active. The form includes the following fields and sections:

- Titre du projet**: A text input field with the placeholder 'Saisissez le titre ...' and a warning icon.
- Altitude (m)**: A text input field with the placeholder 'Altitude en m' and a warning icon.
- Latitude en °**: A text input field with the placeholder 'Latitude en °' and a warning icon.
- Site d'implantation**: A dropdown menu with the placeholder 'Choisissez une valeur :'. Below it, a note says 'Veuillez sélectionner un site d'implantation'.
- Wilaya**: A dropdown menu with the placeholder 'Choisissez une wilaya :'. To its right, a section titled 'Zones Climatiques' contains the text 'Veuillez sélectionner une wilaya puis un groupe de communes'.
- Groupes de communes**: A large text area with the placeholder 'Sélectionner, parmi ces groupes la commune d'implantation du projet :'. To its right, there is a warning icon.

At the bottom right of the form, there are two buttons: 'Ajouter' (Add) and 'Annuler' (Cancel).

Annexe

Avec la possibilité d'ajouter des descriptions et d'autres détails pour donner plus d'information sur le projet mais cette partie n'est pas obligatoire pour continuer le travail.

Pour la distinction entre les champs obligatoires et non obligatoires et les champs validés en met devant les champs les signes suivants :

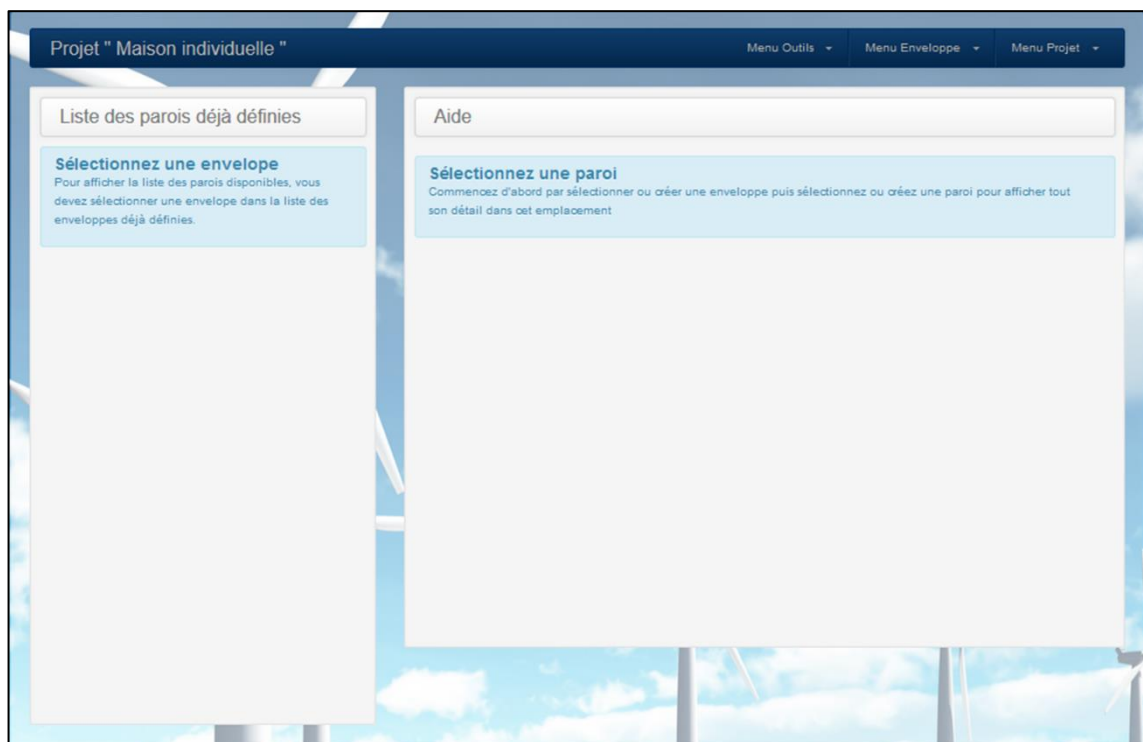
 : Champ obligatoire à remplir. Avoir l'aide en cliquant sur le signe.

 : Données saisies valides.

Après la validation des données et la conformation on clique sur ajouter et le projet sera créé.

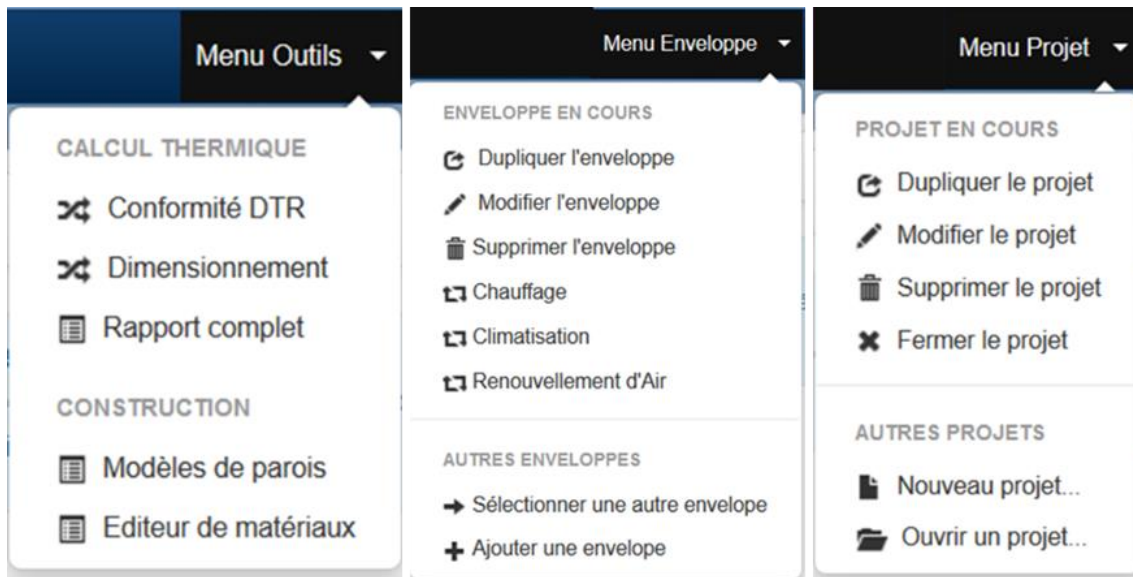
Pour continuer le travail sur le projet, RETA va basculer un nouvel écran qui est l'écran du projet.

Sur cet écran on créant les enveloppes ou les volumes thermiques tel que définis dans le DTR C3-2 Chapitre 2 (§2.3.1 à la page 18). Et il donne la possibilité de modifier, dupliquer ou supprimer le projet sur lequel on travail, d'ouvrir un autres projet ou créer un nouveau projet.



Annexe

Toutes ces commandes et options du travail sont accessibles à travers trois menus qui existent en haut de l'écran du projet :



Créer une enveloppe

Depuis la barre projet, on déroule le menu enveloppe et on clique « +ajouter une nouvelle enveloppe ». RETA va basculer la fenêtre ‘nouvelle enveloppe’ sur laquelle on remplit les différentes données concernant cette enveloppe.

La création de l'enveloppe consiste à définir son nom, son volume d'air brut et la surface des plancher intermédiaires. Le volume d'air net est calculé automatiquement par l'application, il est estimé à 80% du volume brut sans tenir compte du volume des parois internes.

The screenshot shows the 'Nouvelle enveloppe' window with the following fields and sections:

- Général**
 - Nom de l'enveloppe: Saisissez le titre ...
 - Volume brut (m3): Volume brut en m3
 - Surface des planchers intermédiaires (m2): Superficie en m2
 - Volume d'air net (m3): Volume net en m3
- Calcul Hiver**
 - Type de l'enveloppe: Choisissez une valeur :
- Calcul été**
 - Usage de l'enveloppe: Choisissez une valeur :
 - Conditions internes: Choisissez une valeur :
 - Temps de fonctionnement (climatisation): Choisissez une valeur :
 - ☐ Gains latents importants

At the bottom right, there are 'Ajouter' and 'Annuler' buttons.

Annexe

Pour le calcul d'hiver on est obligé de définir la nature de l'enveloppe (bâtiment individuel ou collectif).

Pour le calcul d'été les informations à remplir sont :

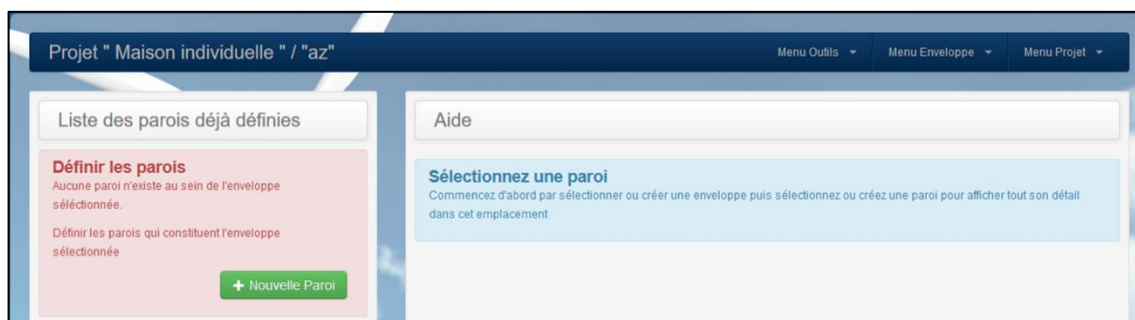
- L'usage de cette enveloppe (Bureau, logement, vente...).
- Condition interne (le niveau de confort souhaiter : 24 ou 27 °c).
- Le temps de fonctionnement de la climatisation (obliger de définir un temps entre 12,16 ou 24h même si le bâtiment n'est pas équipé de climatisation).

Après avoir remplir toutes ces informations, on clique sur ajouter en bas de la fenêtre et l'enveloppe sera créée.

Jusqu'au là on a vu les deux premiers étapes : Projet et enveloppe. La dernière étape est celle de la définition des parois qui constituent cette enveloppe créée. Cette étape est la plus importante parce que sur la base des parois que RETA fait les calculs et la vérification.

Créer une paroi

A gauche de l'écran projet, on trouve la liste des parois déjà définies dans laquelle se trouve le bouton 'nouvelle paroi' pour la création des parois.



Pour ajouter une paroi, il suffit de cliquer sur 'nouvelle paroi' et RETA va basculer la fenêtre 'nouvelle paroi' sur laquelle il est obligé de remplir les différentes données concernant cette paroi.

Annexe

Les données à remplir sont : le nom de la paroi, sa surface, son inclinaison (toiture, plancher ou paroi verticale), l'orientation, son type (opaque, vitrée ou porte) et son contact (contact avec : extérieur, local non chauffé et non climatisé ou enterré partiellement ou complètement).

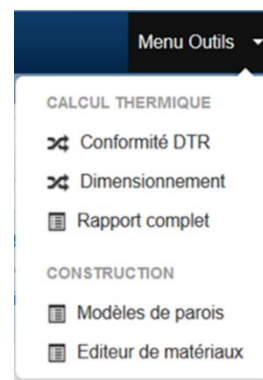
Après la validation des données par le clique sur 'ajouter' RETA affichera automatiquement à droite de l'écran les différentes données de la paroi.

Dans cette étape, il est obligatoire de définir la composition de la paroi et son local adjacent s'il existe.

Il existe d'autre information à remplir selon les cas, par exemple une fenêtre qui est une paroi vitrée dans RETA on ajoute les protections et les brise soleil, les porte : le pourcentage de vitrage ...etc.

Vérification réglementaire

Depuis le menu outil on peut vérifier la conformité en cliquant sur « Conformité DTR » ou sur « Rapport complet » pour demander le rapport finale du projet. Le rapport présente le projet d'une manière détaillée : à savoir les différents volumes thermiques et les différentes parois qui composent ces volumes. Les parois sont présentées avec leurs matériaux par des coupes schématiques, et des tableaux des différentes propriétés thermophysiques.



Annexe II : Rapport généré par RETA



Rapport de calcul thermique

Cas d'etude Master modèle final

Cas d'étude master LAE EPAU Maison individuelle R+1

Rapport généré par l'application RETA le 09-09-2017

1 / 49

Annexe

Fiche technique du projet

Cas d'etude Master modèle final

Cas d'étude master LAE EPAU Maison individuelle R+1

Donnée techniques

Localisation	Altitude	Latitude	Zone Thermique Hiver	Zone Thermique Eté
Saharidj; D M'chedallah; W Bouira	690,00 m	36,40 °	C	C

Conditions externes

Temp. externe en hiver	Temp. externe en été	Humidité spécifique	Ecart diurne
-2,00°	39,50 °	8,50	20,00

Synthèse des enveloppes

Nom de l'enveloppe	Usage	Conformité Hiver C-3.2	Conformité Eté C-3.4
RDC	habitation	Non conforme	Non conforme
1e Etage	habitation	Non conforme	Non conforme

Enveloppe : RDC

Données techniques

Volume Brut	Volume Net	Usage		
227,00 m3	181,60 m3	Habitation	Logement individuel	Confort Normal
Temps de fonctionnement (climatisation)		Temp. interne Hiver		Temp. interne Eté
12 H		21°		27°

Synthèse des échanges thermiques en hiver

DT	Dréf	Vérification C-3.2
579,98 W/°C	475,57 W/°C	1,22 Non conforme

Synthèse des échanges thermiques en été

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4
0,00 W	3 801,58 W	2 089,94 W	516,33 W	342,01 W	1,78 Non conforme

Renouvellement et infiltration d'air en hiver

QS	QV	DR	QVinf
53,39 m3/h	108,96 m3/h	55,20 W/°C	70,22 m3/h - Orientation: NE

Renouvellement et infiltration d'air en été

QVan	ARENs	AINFs	ARENI	AINFI	Renouvellement d'air total
108,96 m3/h	435,84 W	280,88 W	0,00 W	0,00 W	716,72 W

Envelope : 1e Etage

Données techniques

Volume Brut	Volume Net	Usage		
252,00 m ³	201,60 m ³	Habitation	Logement individuel	Confort Normal
Temps de fonctionnement (climatisation)		Temp. interne Hiver	Temp. interne Eté	
12 H		21°	27°	

Synthèse des échanges thermiques en hiver

DT	Dréf	Vérification C-3.2
778,80 W/°C	490,51 W/°C	1,59 Non conforme

Synthèse des échanges thermiques en été

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4
0,00 W	8 640,60 W	3 888,61 W	1 213,39 W	550,24 W	2,22 Non conforme

Renouveaulement et infiltration d'air en hiver

QS	QV	DR	QVinf
43,86 m ³ /h	120,96 m ³ /h	56,04 W/°C	58,87 m ³ /h - Orientation: SO

Renouveaulement et infiltration d'air en été

QVan	ARENs	AINFs	ARENI	AINFI	Renouvellement d'air total
120,96 m ³ /h	483,84 W	235,48 W	0,00 W	0,00 W	719,32 W



Rapport de calcul thermique

Cas d'etude Master modèle final (Poly 20Kg/m3 à la place de la lame d'air)

Cas d'étude Master LAE EPAU Maison individuelle R+1

Fiche technique du projet

Cas d'etude Master modèle final (Poly 20Kg/m3 à la place de la lame d'air)

Cas d'étude Master LAE EPAU Maison individuelle R+1

Donnée techniques

Localisation	Altitude	Latitude	Zone Thermique Hiver	Zone Thermique Été
Saharidj; D M'chedallah; W Bouira	690,00 m	36,40 °	C	C

Conditions externes

Temp. externe en hiver	Temp. externe en été	Humidité spécifique	Ecart diurne
-2,00°	39,50 °	8,50	20,00

Synthèse des enveloppes

Nom de l'enveloppe	Usage	Conformité Hiver C-3.2	Conformité Été C-3.4
RDC	habitation	Conforme	Non conforme
1e Étage	habitation	Conforme	Conforme

Enveloppe : RDC

Données techniques

Volume Brut	Volume Net	Usage		
227,00 m3	181,60 m3	Habitation	Logement individuel	Confort Normal
Temps de fonctionnement (climatisation)		Temp. interne Hiver		Temp. interne Eté
12 H		21°		27°

Synthèse des échanges thermiques en hiver

DT	Dréf	Vérification C-3.2
453,92 W/°C	475,57 W/°C	0,95 Conforme

Synthèse des échanges thermiques en été

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4
0,00 W	2 338,24 W	2 089,94 W	516,73 W	342,01 W	1,17 Non conforme

Renouveaulement et infiltration d'air en hiver

QS	QV	DR	QVinf
49,86 m3/h	108,96 m3/h	54,00 W/°C	70,22 m3/h - Orientation: NE

Renouveaulement et infiltration d'air en été

QVan	ARENs	AINFs	ARENI	AINFI	Renouvellement d'air total
108,96 m3/h	435,84 W	280,88 W	0,00 W	0,00 W	716,72 W

Enveloppe : 1e Etage

Données techniques

Volume Brut	Volume Net	Usage		
252,00 m ³	201,60 m ³	Habitation	Logement individuel	Confort Normal
Temps de fonctionnement (climatisation)		Temp. interne Hiver	Temp. interne Eté	
12 H		21°	27°	

Synthèse des échanges thermiques en hiver

DT	Dréf	Vérification C-3.2
359,21 W/°C	490,51 W/°C	0,73 Conforme

Synthèse des échanges thermiques en été

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4
0,00 W	3 255,22 W	3 888,61 W	1 213,39 W	550,24 W	1,01 Conforme

Renouveaulement et infiltration d'air en hiver

QS	QV	DR	QVinf
43,86 m ³ /h	120,96 m ³ /h	56,04 W/°C	58,87 m ³ /h - Orientation: SO

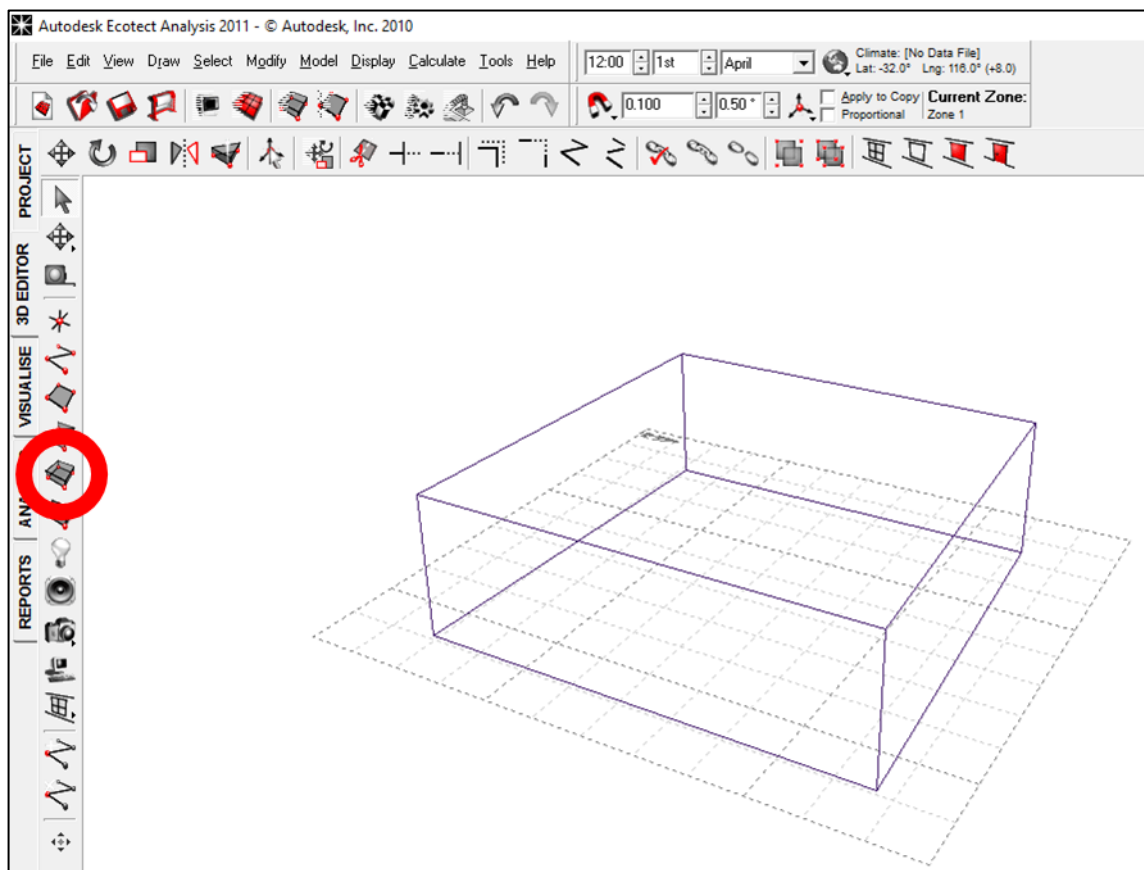
Renouveaulement et infiltration d'air en été

QVan	ARENs	AINFs	ARENI	AINFI	Renouvellement d'air total
120,96 m ³ /h	483,84 W	235,48 W	0,00 W	0,00 W	719,32 W

Annexe III : Ecotect (Manuel d'utilisation et étapes de simulation)

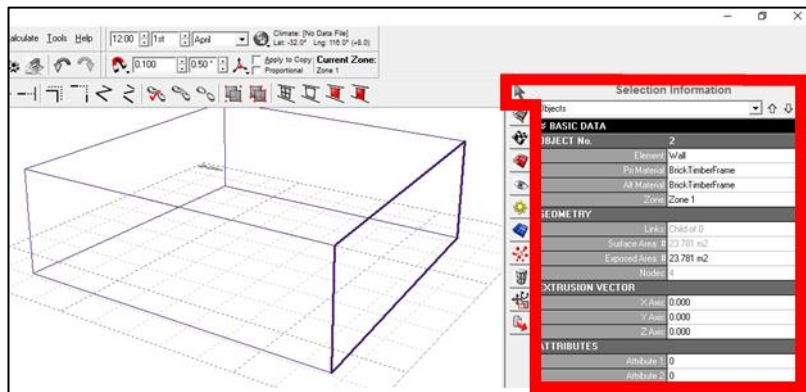
Modélisation 3D

Pour la modélisation 3D, Le logiciel propose de créer des « zones » qui sont l'équivalent des volumes ou des enveloppes thermiques dans la RT Algérienne.

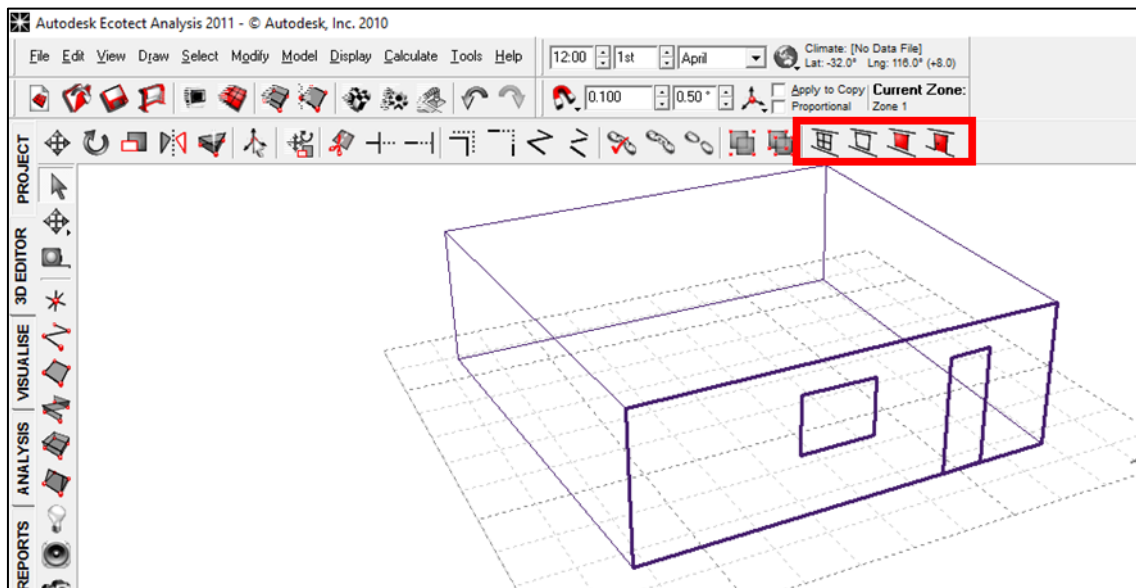


Les zones sont composées de parois. Ecotect détecte automatiquement la nature des parois. Il considère la base de l'enveloppe comme un plancher bas, la face supérieure comme un plancher haut et les parois verticales comme des murs. Et il propose des modèles et des matériaux pour chaque une des parois. Pour toutes modifications ou création de model de paroi, il suffit de cliquer sur une des parois et le logiciel propose sur sa partie droite un menu déroulant pour toutes modifications voulues.

Annexe

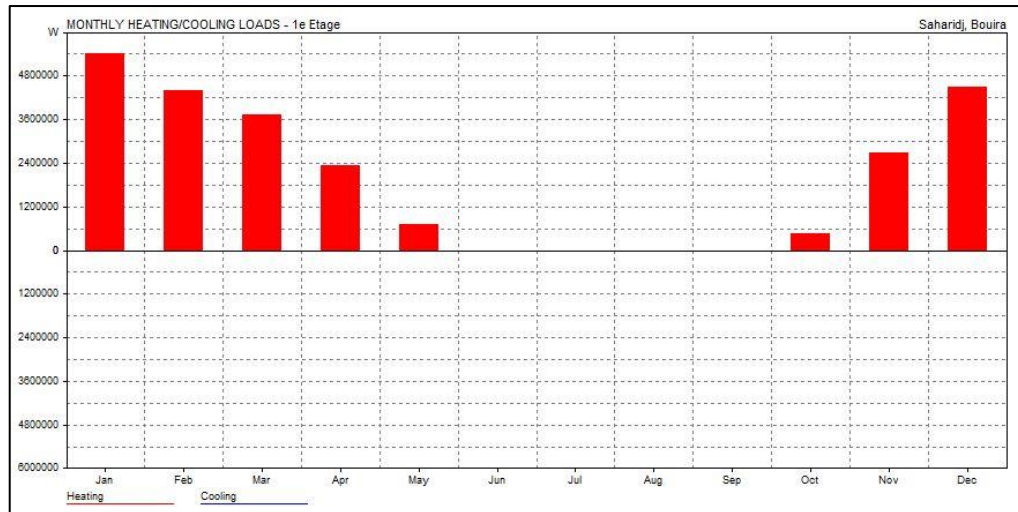


Le dernier point concernant la modélisation 3D est la création des ouvertures. Ecotect propose trois modèles d'ouverture : les portes, les fenêtres et les baies sans aucun remplissage.



Annexe IV : Consommation calculées avec ECOTECT

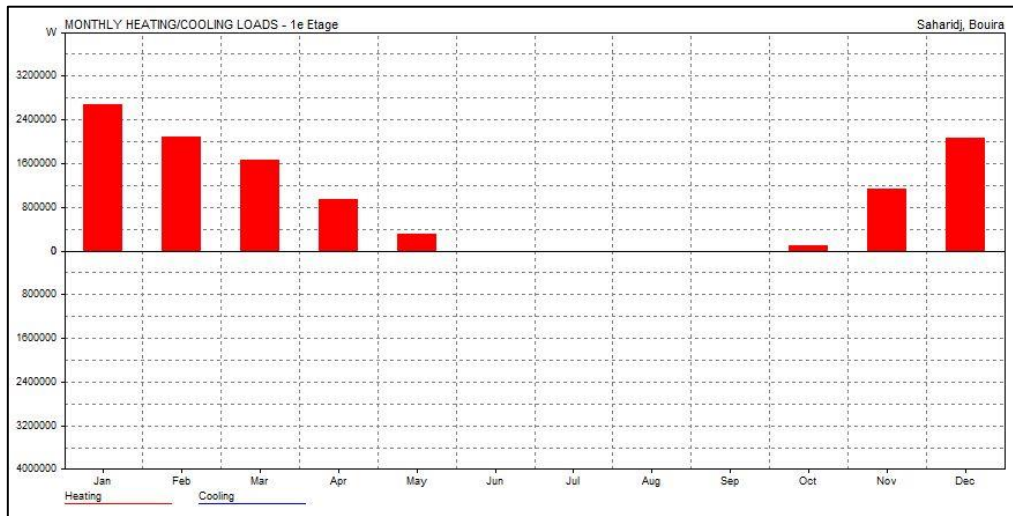
Avant mise en conformité



Monthly heating loads	
Zone : 1e étage	
Thermostat settings : 21.0 - 25.0 c	
Month	Heating (Wh)
Jan	5 402 614
Feb	4 390 532
Mar	3 734 548
Apr	2 344 243
May	Off
Jun	Off
Jul	Off
Aug	Off
Sep	Off
Oct	Off
Nov	2 666 800
Dec	4 477 055
Total	24 200.548KWh/an
Performance du bâtiment pour le chauffage	140.7 KWh/m²/an

Annexe

Après mise en conformité



Monthly heating loads	
Zone : 1e étage	
Thermostat settings : 21.0 - 25.0 c	
Month	Heating (Wh)
Jan	2 668 074
Feb	2 076 622
Mar	1 666 197
Apr	933 978
May	Off
Jun	Off
Jul	Off
Aug	Off
Sep	Off
Oct	Off
Nov	1 133 352
Dec	2 058 222
Total	10 928.922KWh/an
Performance du bâtiment pour le chauffage	63.54 KWh/m²/an

Annexe

Annexe V : Classification climatique des communes Algériennes

Wilaya	Communes	Zone
07 BISKRA	Toutes les communes	D
08 BECHAR	Toutes les communes	D
09 BLIDA	Toutes les communes	B
10 BOUIRA	Groupe de Communes 1 : Aghbalou - Ahl El Ksar - Afdane - Ain El Hadjar - Ain Laloui - Ain Turk - Bechloul - Bordj Okhriss - Bouira - Chorfa - Dirah - El Adjiba - El Asnam - El Hachima - El Makina - Hadjera Zerga - Haizer - Maamora - M'Chedallah - Mezdour - Oued El Berdi - Ouled Rached - Saharidj - Tighzout - Taguedit Groupe de Communes 2 : Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes 1.	C B
11 TAMANRASSET	Groupe de Communes 1 : In Ghar - In Salah Groupe de Communes 2 : Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes 1	D' D
12 TEBESSA	Groupe de Communes 1 : Bir El Ater - El Mezeraa - El Ogla El Malha - Ferkane - Negrine - Oum Ali - Saf Saf El Ouesra - Stah Guentis - Thlidjene Groupe de Communes 2 : Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes 1.	D C
13 TLEMCEEN	Groupe de Communes 1 : Beni Rached - Dar Yaghmouracene - Ghazaouet - Honaïne - Marsa Ben M'Hidi - Msirda Fouaga - Souahlia - Souk Thlata Groupe de Communes 2 : Aïn Ghoraba - Aïn Tallout - Azaïls - Beni Bahdel - Beni Boussaïd - Beni Semiel - Beni Snouss - El Aricha - El Bouihi - El Gor - Sebdu - Sidi Djillali Groupe de Communes 3 : Toutes les communes autres que celles figurant aux groupes de communes 1 et 2.	A C B
14 TIARET	Groupe de Communes 1 : Djillali Ben Amar - Ghertoufa - Mechraa Safa - Meghila - Oued Lili - Rahouia - Sebt Groupe de Communes 2 : Sidi Ali Mellal - Tidda. Groupe de Communes 3 : Toutes les communes autres que celles figurant aux groupes de communes 1 et 2	B B' C
15 TIZI OUZOU	Groupe de Communes 1 : Aghrib - Aït Chaffa - Akerrou - Azzefoun Iflissen - Mizrana - Tizirt - Zekri Groupe de Communes 2 : Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes 1.	A B
16 ALGER	Toutes les communes	A
17 DJELFA	Groupe de Communes 1 : Amoura - Deldoul - Guettara - Oum El Adam - Seb Rahal - Selmana Groupe de Communes 2 : Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes 1.	D C

Annexe

Annexe VI : Historique des consommations énergétiques du cas d'étude

Chaque date représente la facture du trimestre précédent, eg : la facture d'octobre représente les consommations de Juillet, août et septembre.

DIRECTION DISTRIBUTION BOUIRA
SERVICE COMMERCIAL DE M'CHEDELLAH

Date d'édition : 30/08/2016

HISTORIQUE DE CONSOMMATIONS

Num Fac	Compteur	1er CADRAN			2eme CADRAN			Date	Montant	Annulation
		Ancien	Nouveau	Consom.	Ancien	Nouveau	Consom.			
42508020143	E01 002952	10 506 R	11 427 R	921				06/02/2008	4 219,82	
42508050145	E01 002952	11 427 R	12 233 R	806				07/05/2008	3 700,59	
42508080146	E01 002952	12 233 R	12 577 R	344				06/08/2008	1 563,75	
42508110144	E01 002952	12 577 R	13 020 R	443				08/11/2008	2 061,43	
42509020142	E01 002952	13 020 R	14 296 R	1 276				07/02/2009	5 823,21	
42509050149	E01 002952	14 296 R	15 135 R	839				06/05/2009	3 850,15	
42509080151	E01 002952	15 135 R	15 531 R	396				05/08/2009	1 849,26	
42509110148	E01 002952	15 531 R	16 054 R	523				08/11/2009	2 422,15	
42510020151	E01 002952	16 054 R	17 081 R	1 027				07/02/2010	4 698,80	
42510050170	E01 002952	17 081 R	17 591 R	510				06/05/2010	2 364,02	
42510080195	E01 002952	17 591 R	18 095 R	504				05/08/2010	2 337,19	
42510110199	E01 002952	18 095 R	18 623 R	528				08/11/2010	2 445,50	
42511020193	E01 002952	18 623 R	19 114 R	491				07/02/2011	2 278,06	
42511050180	E01 002952	19 114 R	19 598 R	484				05/05/2011	2 246,76	
42511080183	E01 002952	19 598 R	20 031 R	433				07/08/2011	2 015,71	
42511110189	E01 002952	20 031 R	20 565 R	534				09/11/2011	2 472,34	
42512020198	E01 002952	20 565 R	21 110 R	545				08/02/2012	6 453,37	
	G83 175328	0	993 R	993						
42512050202	E01 002952	21 110 R	21 491 R	381				08/05/2012	4 939,81	
	G83 175328	993	2 027 R	1 034						
42512080206	E01 002952	21 491 R	21 992 R	501				07/08/2012	2 711,01	
	G83 175328	2 027 R	2 185 R	158						
42512110089	E01 002952	21 992 R	22 441 R	449				06/11/2012	2 440,00	
	G83 175328	2 185 R	2 331 R	146						
42513020091	E01 002952	22 441 R	22 848 R	407				05/02/2013	6 937,92	
	G83 175328	2 331 R	3 935 R	1 604						

Annexe



DIRECTION DISTRIBUTION BOUIRA
SERVICE COMMERCIAL DE M'CHEDELLAH

Date d'édition : 30/08/2016

HISTORIQUE DE CONSOMMATIONS

Num Fac	Compteur	1er CADRAN			2eme CADRAN			Date	Montant	Annulation
		Ancien	Nouveau	Consom.	Ancien	Nouveau	Consom.			
42513050092	E01 002952	22 848 R	23 209 R	361				06/05/2013	5 762,84	
	G83 175328	3 935 R	5 253 R	1 318						
42513080093	E01 002952	23 209 R	23 695 R	486				05/08/2013	2 843,27	
	G83 175328	5 253 R	5 473 R	220						
42513110094	E01 002952	23 695 R	24 152 R	457				05/11/2013	2 392,77	
	G83 175328	5 473 R	5 592 R	119						
42514020095	E01 002952	24 152 R	24 497 R	345				04/02/2014	5 948,53	
	G83 175328	5 592 R	6 990 R	1 398						
42514050097	E01 002952	24 497 R	24 946 R	449				06/05/2014	5 467,21	
	G83 175328	6 990 R	8 078 R	1 088						
42514080099	E01 002952	24 946 R	25 562 R	616				05/08/2014	3 151,39	
	G83 175328	8 078 R	8 213 R	135						
42514110096	E01 002952	25 562 R	26 245 R	683				05/11/2014	3 374,95	
	G83 175328	8 213 R	8 315 R	102						
42515020097	E01 002952	26 245 R	26 831 R	586				03/02/2015	8 120,71	
	G83 175328	8 315 R	10 038 R	1 723						
42515050102	E01 002952	26 831 R	27 442 R	611				05/05/2015	5 581,09	
	G83 175328	10 038 R	10 936 R	898						
42515080103	E01 002952	27 442 R	28 222 R	780				04/08/2015	3 865,31	
	G83 175328	10 936 R	11 065 R	129						
42515110105	E01 002952	28 222 R	28 788 R	566				04/11/2015	2 863,46	
	G83 175328	11 065 R	11 174 R	109						
42516020107	E01 002952	28 788 R	29 166 R	378				03/02/2016	5 004,51	
	G83 175328	11 174 R	12 209 R	1 035						
42516050107	E01 002952	29 166 R	29 580 R	414				04/05/2016	6 713,03	
	G83 175328	12 209 R	13 301 R	1 092						
42516080106	E01 002952	29 580 R	30 019 R	439				07/08/2016	2 731,58	
	G83 175328	13 301 R	13 460 R	159						