

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLAB –BLIDA- 1-
FACULTE DE TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté au DEPARTEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES

Par : **BISKRI NOUR EL IMANE**

Pour l'obtention du diplôme de :

MASTER EN ENERGIES RENOUVELABLES

OPTION : HABITAT BIOCLIMATIQUE

THEME : Réhabilitation Thermique des Bâtiments à usage d'habitation

Cas d'étude d'un projet immobilier à Mostaganem

Soutenu le : 04/10/2017

Devant le jury composé :

- Pr. A. Hamid : Président
- Pr. D.Semmar : Examineur
- Dr. K. Kaci : Examineur
- Dr. K.Imessad : Promoteur

2016-2017

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre de la préparation d'un mémoire de master en Energie Renouvelables, HABITAT BIOCLIMATIQUE au Département des Energies Renouvelables de l'université Saad Dahlab de Blida 1, sous la direction du Dr. K. Imessad que je remercie vivement pour toute l'aide qu'il m'a apportée durant toute la durée de préparation du présent mémoire.

Je tiens également à remercier Dr. R. Megateli qui m'a fait profiter de ses larges connaissances et de ses précieux conseils au cours de mon projet de fin d'étude.

Je voudrais également remercier très sincèrement mon professeur, D.Semmar pour son soutien infaillible et ses conseils tout au long de ma formation

Mes plus vifs remerciements vont au Pr. A. Hamid pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de soutenance du présent mémoire.

Je remercie vivement les membres de jury, pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de participer à l'évaluation de mon travail en qualité d'examineurs.

Enfin, je souhaite exprimer toute ma gratitude à l'ensemble des enseignements personnes qui ont largement contribué à son aboutissement.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre de la préparation d'un mémoire de master en Energie Renouvelables, HABITAT BIOCLIMATIQUE au Département des Energies Renouvelables de l'université Saad Dahlab de Blida 1, sous la direction du Dr .K.Imessad que je remercie vivement pour toute l'aide qu'il m'a apportée durant toute la durée de préparation du présent mémoire.

Je tiens également à remercier Dr R.Megateli qui m'a a fait profiter de ses larges connaissances et de ses précieux conseils au cours de mon projet de fin d'étude.

Je voudrais également remercier très sincèrement mes professeurs, D.Semmar et A. Hamid pour leur soutien infaillible et leur conseil tout au long de ma formation

Mes plus vifs remerciements vont au président de jury pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de soutenance du présent mémoire.

Je remercie vivement les membres de jury, pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de participer à l'évaluation de mon travail en qualité d'examineurs.

Enfin, je souhaite exprimer toute ma gratitude à l'ensemble des enseignements personnes qui ont largement contribué à son aboutissement.

Dédicace

C'est avec une immense joie et une grande gratitude que je dédie ce
modeste travail :

A mes très chers, respectueux et magnifiques parents, qui m'ont soutenu
tout au long de ma vie, qui m'ont toujours apporté des conseils judicieux
pour me guider et qui n'ont cessé de croire en moi et de m'encourager.

Ainsi qu'à mes merveilleuses, belle-mère et grand-mère

A mon mari, qui grâce à son aide et à sa patience avec moi, ce travail a
pu voir le jour

A mes très chères et magnifiques sœurs, Ibtissem, Amel, Sarah, Ikram
et les jumelles Safa & Marwa

A mon unique petit frère Billel

A ma petite princesse Razane et mes neveux Djawed et lyad

A mes oncles, Abdelkader en particulier et à mes tantes

A mes chères cousines Saida et Hafida

A mes chères belles sœurs, et mes beaux frères

A mes amies et à toute personne qui a contribué à l'achèvement de ce
travail, directement ou indirectement

Résumé

L'étude proposée consiste en la réhabilitation thermique d'un projet immobilier de 40 logements en R+2 implanté dans la commune de Tazgait, Wilaya de Mostaganem. Un des appartements de type F3, d'une surface habitable de 67.18 m², a été choisi comme modèle pour l'étude. Le travail a été réalisé à l'aide du logiciel RETA, mis au point par le Centre de Développement des Energies Renouvelables, pour effectuer les calculs thermiques nécessaires à la vérification de la conformité de la résidence à la Réglementation Thermique Algérienne DTR C3-2 et DTR C3-4.

Deux solutions ont été proposées, pour mettre en conformité la résidence, la première consiste à isoler la toiture avec 10 cm de polystyrène et la deuxième suggère de rajouter une isolation de 5 cm de polystyrène aux murs de la résidence.

L'analyse technique des solutions a montré que la solution 2 permet de mettre en conformité la résidence avec la Réglementation Thermique Algérienne et de réduire de 57% et de 39% les besoins énergétiques de la résidence, pour assurer respectivement le chauffage en hiver et la climatisation. Aussi, l'analyse économique de la viabilité des deux solutions, a révélé que plus les taux d'actualisation utilisés pour le calcul de la VAN, sont faibles plus les périodes d'amortissement de l'investissement initial des solutions proposées se contracte. L'amortissement de cet investissement, calculé avec le plus faible taux d'actualisation (6%), est réalisé sur une période de 17 ans pour la solution 1 et plus de 23 ans pour la solution 2.

Mots clés : Efficacité énergétique, réhabilitation thermique, réglementation thermique, isolation, Apport calorifique, déperdition thermique.

Summary

The proposed study consists of the thermal rehabilitation of a 40-unit R+2 housing project in the “commune of Tazgait”, “Wilaya of Mostaganem”. One of the F3 apartments’ type, with a living area of 67.18 m², was chosen as the model for the study. The work was carried out using RETA software, developed by the Renewable Energy Development Center “Centre de Developpement des Energies Renouvelables”, to carry out the thermal calculations necessary to check the conformity of the residence to the Algerian Thermal Regulation DTR C3-2 and DTR C3-4.

Two solutions have been proposed to bring the residence into conformity: the first one consists of insulating the roof with 10 cm of polystyrene panels and the second suggests adding a 5 cm polystyrene insulation to the walls of the residence.

The technical analysis of the solutions showed that solution 2 makes it possible to bring the residence into conformity with the Algerian Thermal Regulation and to reduce the energy requirements of the residence by 57% and 39%, respectively, to ensure heating in winter and air conditioning in summer. The economic analysis of the viability of the two solutions revealed that the lower the discount rates used to calculate the NPV, the shorter the amortization periods of the initial investment of the proposed solutions. The amortization of this investment, calculated with the lowest discount rate (6%), is achieved over a period of 17 years for solution 1 and more than 23 years for solution 2.

Key words: Energy efficiency, thermal rehabilitation, thermal regulation, insulation, calorific intake, heat loss.

ملخص

تتألف الدراسة المقترحة من إعادة التأهيل الحراري لمشروع الإسكان 40 مسكن R+2 في بلدية تازجيت، ولاية مستغانم. شقة واحدة من نوع F3 مع مساحة معيشة 67.18 متر مربع، تم اختيارها كنموذج للدراسة. وقد تم تنفيذ هذا العمل باستخدام برنامج ريتا (RETA) الذي وضعه مركز تطوير الطاقة المتجددة لتنفيذ الحسابات الحرارية اللازمة للتحقق من توافق الإقامة مع اللائحة الحرارية الجزائرية DTR C3-2 و DTR C3-4.

وقد تم اقتراح حلين لإحالة مكان الإقامة إلى المطابقة: الأول يتكون من عزل السقف بـ 10 سم من البوليسترين والثاني يقترح إضافة عزل 5 سم من البوليسترين إلى جدران المسكن.

وأظهر التحليل التقني للحلول أن الحل 2 يجعل من الممكن جعل المسكن متوافق مع اللائحة الحرارية الجزائرية والحد من متطلبات الطاقة بنسبة 57% و 39% على التوالي، لضمان التدفئة في فصل الشتاء و تكييف الهواء في فصل الصيف. وكشف التحليل الاقتصادي للحلين أن انخفاض معدلات الخصم المستخدمة لحساب صافي القيمة الحالية، يؤدي إلى تراجع فترات اهتلاك الاستثمار الأولي لتطبيق الحلول المقترحة. ويتحقق اهتلاك هذا الاستثمار، محسوبا بأقل معدل خصم (6%)، على مدى فترة 17 سنة للحل 1 وأكثر من 23 عاما للحل 2.

الكلمات المفتاحية: الفعالية الطاقوية، إعادة التأهيل الحراري، التنظيم الحراري، العزل، كمية السرعات الحرارية، فقدان الحرارة.

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| Introduction | 6 |
| Bibliographie | 7 |
| I. L'efficacité énergétique des bâtiments :..... | 7 |
| II. Le Bilan énergétique :..... | 8 |
| III. La réglementation thermique :..... | 9 |
| IV. La réglementation thermique Algérienne :..... | 9 |
| 1. Règles de calcul du DTR :..... | 10 |
| 2. Prescriptions et réglementations applicables : | 10 |
| 3. Vérification réglementaire | 10 |
| V. La réhabilitation énergétique et le confort thermique :..... | 16 |
| 1. Le confort d'hiver :..... | 16 |
| 2. Le confort d'été : | 16 |
| VI. Les principales solutions techniques de la réhabilitation énergétique | 17 |
| 1. Les parois opaques : | 17 |
| 2. Les parois vitrées : | 18 |
| 3. La ventilation :..... | 18 |
| 4. Les équipements :..... | 19 |
| VII. Travaux scientifiques consacrée au sujet..... | 19 |
| Description du projet et de l'approche technique | 26 |
| I. Projet d'étude :..... | 26 |
| II. Résidence modèle :..... | 26 |
| III. Outil de simulation :..... | 28 |
| 1. Structure et étapes de calcul :..... | 29 |
| 2. Création du projet | 29 |
| 3. Création d'une enveloppe :..... | 30 |
| 4. Création d'une paroi :..... | 30 |
| 5. Création d'une Paroi Opaque : | 31 |
| 6. Création d'une paroi vitrée :..... | 31 |
| 7. Création d'une porte : | 32 |
| 8. Création d'une paroi en contact avec un locale non chauffé et non conditionné : | 32 |
| 9. Création des modèles de paroi :..... | 32 |
| 10. Renouvellement d'air : | 33 |
| 11. Chauffage : | 33 |
| 12. Calculs :..... | 34 |
| Etude Technique :..... | 35 |
| I. Base de calcul et hypothèses de simulation..... | 35 |
| 1. Données techniques | 35 |
| 2. Conditions externes : | 36 |
| II. Cas classique | 36 |
| III. Première solution : Isolation de la toiture | 38 |

| | |
|--|------------------|
| <i>IV. Deuxième solution : Isolation de la toiture et des parois.....</i> | <i>40</i> |
| <i>V. Analyse et discussion des résultats des simulations.....</i> | <i>42</i> |
| <i>VI. Conclusion.....</i> | <i>48</i> |
| <i>Impact économique.....</i> | <i>50</i> |
| <i>I. Hypothèses et base de calcul</i> | <i>50</i> |
| <i>II. Calcul des coûts d'implémentation des solutions proposées</i> | <i>52</i> |
| <i>III. Coûts et gains énergétiques.....</i> | <i>55</i> |
| <i>IV. Viabilité financière des solutions</i> | <i>59</i> |
| <i>V. Analyse et interprétation des résultats</i> | <i>63</i> |
| <i>VI. Conclusion.....</i> | <i>64</i> |
| <i>Conclusions et recommandations</i> | <i>66</i> |
| <i>I. Conclusion.....</i> | <i>66</i> |
| <i>II. Recommandations.....</i> | <i>67</i> |

Nomenclature

| | |
|----------------|--|
| Aréf : | Apports de référence |
| APO : | Apports caloriques des parois opaques |
| AV : | Apports des parois vitrées |
| BTS : | Brique de Terre Stabilisée |
| °C : | Degré Celsius |
| CREG : | Commission de Régulation de l'Electricité et du Gaz |
| CNERIB : | Centre National d'Etude et de Recherche Intégré du Bâtiment |
| DTR C3-2 : | Document Technique Règlementaire : Règles de calcul des déperditions calorique : Fascicule1 |
| DTR C3-4 : | Document Technique Règlementaire : Règles de calcul des apports caloriques des bâtiments : Climatisation : fascicule 2 |
| Dréf : | Déperdition de référence |
| ISO : | L'organisation internationale de normalisation HPE : Haute Performance Énergétique |
| LCC : | Le coût du cycle de vie |
| MED-ENEC : | Energy Efficiency in the construction Sector in the Mediterranean |
| RT : | Règlementation Thermique |
| VAN : | Valeurs Actuelles nettes |
| VAN Solution : | Valeur Actuelle Nette du projet d'implémentation de la solution, en (DA) ; |
| r : | Taux d'actualisation appliqué en (%), ce taux varie de 6% - 10% dans les scénarios simulés dans notre étude ; |
| t : | Période d'occurrence du flux monétaire (gains réalisés en économie d'énergie), en (Année) ; |
| S : | Surface (m ²) |

Liste des figures :

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Plan de l'étage | 27 |
| Figure 2 : Plan de la résidence | 27 |
| Figure 3 : Page d'accueil de l'application | 28 |
| Figure 4 : Structure et étapes de calcul..... | 29 |
| Figure 5 : Création du projet | 29 |
| Figure 6 : Création d'une nouvelle enveloppe | 30 |
| Figure 7 : Création d'une nouvelle paroi..... | 30 |
| Figure 8 : Composition d'une paroi opaque..... | 31 |
| Figure 9 : Facteur d'absorption | 31 |
| Figure 10 : Composition du vitrage | 31 |
| Figure 11 : Nature et la composition de la porte | 32 |
| Figure 12 : Création d'une paroi..... | 32 |
| Figure 13 : Création modèle de paroi | 33 |
| Figure 14 : Renouvellement d'air | 33 |
| Figure 15 : Chauffage de l'enveloppe..... | 34 |
| Figure 16 : Distribution pour chaque cas de figure, de la déperdition thermique (DT) en hiver | 43 |
| Figure 17 : Distribution pour chaque cas de figure, des apports calorifiques (APO) en été..... | 43 |
| Figure 18 : Distribution pour chaque cas de figure, de la déperdition thermique (DT) en hiver en fonction des éléments de la construction de la résidence | 45 |
| Figure 19 : Distribution pour chaque cas de figure, des apports calorifiques (APO) en été en fonction des éléments de la construction de la résidence. | 45 |
| Figure 20 : Puissance de chauffage nécessaire en Hiver..... | 47 |
| Figure 21 : Puissance de climatisation en Eté | 47 |
| Figure 22 : Devis des travaux d'isolation par feuilles de polystyrène extrudées - Site web de CYPE Ingenieros, S.A. – Algérie..... | 52 |
| Figure 23 : Page de calcul de l'outil en ligne de simulation de la facture du consommateur | 56 |
| Figure 24 : Page de résultats des calculs du coût de la consommation (facture client) de l'outil en ligne de pour le cas classique..... | 57 |
| Figure 25 : Page de calcul de l'outil en ligne de simulation de la facture du consommateur | 58 |
| Figure 26 : Page de résultats des calculs du coût de la consommation (facture client) de l'outil en ligne de pour le cas classique..... | 59 |
| Figure 27 : VAN calculées pour la Solution 1 | 62 |
| Figure 28 : VAN calculées pour la Solution 2 | 63 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : les données techniques | 35 |
| Tableau 2 : conditions externes | 36 |
| Tableau 3 : Synthèse des échanges thermique en hiver..... | 36 |
| Tableau 4 : Synthèse des échanges thermique en été | 36 |
| Tableau 5 : Renouveaulement et infiltration d'air en hiver..... | 36 |
| Tableau 6 : Renouveaulement et infiltration d'air en été..... | 36 |
| Tableau 7 : Puissance de chauffage | 37 |
| Tableau 8 : Puissance de climatisation | 37 |
| Tableau 9 : Synthèse de l'enveloppe | 37 |
| Tableau 10 : Les résultats obtenus de la simulation (cas classique)..... | 37 |
| Tableau 11 : Synthèse des échanges thermique en hiver | 38 |
| Tableau 12 : Synthèse des échanges thermique en été | 38 |
| Tableau 13 : Renouveaulement et infiltration d'air en hiver..... | 38 |
| Tableau 14 : Renouveaulement et infiltration d'air en été..... | 38 |
| Tableau 15 : Puissance de chauffage | 39 |
| Tableau 16 : Puissance de climatisation | 39 |
| Tableau 17 : Synthèse de l'appartement..... | 39 |
| Tableau 18 : Les résultats obtenus de la simulation (première solution)..... | 39 |
| Tableau 19 : Synthèse des échanges thermique en hiver | 40 |
| Tableau 20 : Synthèse des échanges thermique en été | 40 |
| Tableau 21 : Renouveaulement et infiltration d'air en hiver..... | 40 |
| Tableau 22 : Renouveaulement et infiltration d'air en été..... | 40 |
| Tableau 23 : Puissance de chauffage | 41 |
| Tableau 24 : Puissance de climatisation | 41 |
| Tableau 25 : Synthèse de l'appartement..... | 41 |
| Tableau 26 : Les résultats obtenus de la simulation (deuxième solution)..... | 41 |
| Tableau 27 : Les résultats des calculs des pertes thermiques et des apports calorifique | 44 |
| Tableau 28 : Le devis matériaux et main d'œuvre par m2 de panneau polystyrène 10 cm..... | 53 |
| Tableau 29 : Le devis matériaux et main d'œuvre par m2 de panneau polystyrène 5 cm..... | 54 |
| Tableau 30 : Calcul des couts d'implémentation des solutions proposées | 55 |
| Tableau 31 : Les paramètres d'intérêt..... | 56 |
| Tableau 32 : Calcul des coûts relatifs à la consommation d'énergie pour le chauffage..... | 58 |
| Tableau 33 : Calcul du nombre d'années nécessaires pour l'amortissement de l'investissement | 60 |
| Tableau 34 : Calcul de la Valeur Actuelle Nette du projet d'implémentation de la solution 1 | 61 |
| Tableau 35 : Calcul de la Valeur Actuelle Nette du projet d'implémentation de la solution 2 | 62 |

Introduction

L'énergie en général et la consommation énergétique en particulier, sont devenus les principaux sujets de notre quota d'information quotidien. Selon les dernières prévisions de l'agence américaine d'information sur l'énergie (EIA), la consommation mondiale d'énergie pourrait augmenter de 28% entre 2015 et 2040. En Algérie le secteur du bâtiment consomme à lui seul plus de 42 % du total de l'énergie finale.

Après son indépendance, l'Algérie a lancé de vastes programmes de construction, sans se préoccuper de l'efficacité énergétique des bâtiments. Les habitats traditionnels ruraux et urbains, caractérisés par leur grande efficacité énergétique, ont peu à peu été substitués par ces bâtiments, dont la performance énergétique s'est avérée très mauvaise. Les responsables en charge à l'époque de la réalisation de ces projets ont construit en ignorant les conditions climatiques et le niveau de performance thermique requis. Un autre point à soulever, est celui de l'augmentation du niveau de vie de la population algérienne post indépendance, qui a entraîné une demande de plus de confort, avec la généralisation de l'accès au gaz et à l'électricité, les appareils électroménagers et les équipements de contrôle de la température à l'intérieur des résidences, sont devenus communs.

L'accroissement de la consommation énergétique en Algérie est de 10% annuellement, une demande d'énergie en passe de devenir un sérieux problème. Il est donc urgent pour l'Algérie de s'inscrire dans une nouvelle vision basée sur une utilisation efficace des énergies, pour une utilisation rationnelle et un développement durable. A cet effet, l'augmentation de l'efficacité énergétique, l'intégration des énergies renouvelables et l'atténuation des impacts climatiques, par la réduction des émissions de gaz à effet de serre, représentent les principaux défis à relever. Le secteur du bâtiment en Algérie dispose d'un grand potentiel d'économie d'énergie et constitue un puissant levier capable d'apporter une contribution significative à la réalisation de ces objectifs. La rationalisation de la consommation énergétique est un défi nécessaire à relever, et ce à plusieurs titres, à savoir : environnemental, social, économique et politique.

Enfin, la rationalisation de notre consommation des ressources naturelles en général et énergétiques en particulier, est devenue la seule garantie contre l'extinction de la race humaine.

Bibliographie

I. L'efficacité énergétique des bâtiments :

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

L'amélioration de l'efficacité énergétique du bâtiment est apparue comme une priorité dans tous les pays et cela dans le but de limiter le réchauffement climatique, sécuriser les approvisionnements face à des ressources fossiles qui ne sont plus inépuisables, restreindre les effets des hausses des prix de l'énergie. Ainsi, l'ensemble des secteurs économiques et en particulier le secteur du bâtiment doivent revoir leur façon d'évoluer et de se développer.

Le secteur du bâtiment, dont la consommation énergétique représente plus de 40% du total de l'énergie consommée globalement, est responsable de 20% des émissions mondiales de gaz à effet de serre. Cela le positionne comme un acteur clé, le seul qui offre vraiment des possibilités de progrès suffisamment fortes pour répondre aux engagements de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Ces possibilités sont actuellement mieux identifiées qu'au cours des années passées, les bâtiments peuvent utiliser plusieurs sources d'énergie, dont les énergies renouvelables.

Le bâtiment peut être construit pour deux usages distincts : usage tertiaire (commerce, bureaux, enseignement, santé, etc.) et usage résidentiel (bâtiment d'habitation, maison individuelle ou logement collectif). Le cycle de vie du bâtiment passe par plusieurs étapes, engageant de multiples professions et usagers, et ayant un impact direct ou indirect sur l'environnement : production des matériaux, transport des matériaux, construction du bâtiment, utilisation du bâtiment et déchets en fin de vie. Agir efficacement pour réduire de manière sensible la consommation énergétique impose l'identification le long de ce cycle de vie, des facteurs de gaspillage, afin de les maîtriser à l'avenir.

De nombreuses études et retours d'expériences ont montré que la diminution des consommations énergétiques des bâtiments passe par une conception architecturale prenant en compte la compacité du bâtiment et la gestion des apports solaires passifs, une sur-isolation de l'enveloppe. Aussi, d'autres appellations sont utilisées pour qualifier les bâtiments présentant une forte efficacité énergétique :

- **Maison passive** : Initiée en 1990 par l'ingénieur Wolfgang Feist, elle est pratiquement autonome pour ses besoins en chauffage. Ces résultats sont atteints grâce à une excellente protection contre les échanges avec l'extérieur, une captation optimale, mais passive de l'énergie solaire et des calories du sol, une limitation des consommations d'énergie des appareils ménagers ;
- **Bâtiment basse énergie** : bâtiment pour lequel la consommation en énergie finale pour le chauffage varie entre 30 et 60 kWh/ (m².an) ;
- **Bâtiment très basse énergie** : bâtiment pour lequel la consommation en énergie finale pour le chauffage varie entre 10 et 15 kWh/ (m².an) ;
- **Bâtiment à énergie zéro** : Bâtiment qui produit autant d'énergie qu'il en consomme en utilisant des énergies renouvelables (panneaux solaires par exemple) ;
- **Bâtiment à énergie positive** : Bâtiment qui produit plus d'énergie qu'il n'en consomme.

II. Le Bilan énergétique :

Le bilan énergétique du bâtiment est basé sur le fait que pratiquement toute l'énergie entrante dans un bâtiment finit par être transformée en chaleur. Étant donné qu'en moyenne, l'intérieur du bâtiment est à température constante, toute cette énergie finit par en sortir. Pendant une période de temps donnée. Ce bilan doit évidemment être équilibré. Par conservation de l'énergie, le bilan énergétique détaillé donc toutes les pertes et tous les gains, la somme des gains et des pertes étant égaux si la période de consommation est suffisamment grande.

| Déperditions | gains |
|---|--|
| Transmission de chaleur à travers l'enveloppe | Rayonnement solaire entrant par les fenêtres et autres systèmes de captage passifs |
| Transmission de chaleur à travers le sol | Chaleur métabolique des habitants |
| Perte de chaleur dans l'air vicié | Capteurs solaire |
| Perte de chaleur dans les égaux | Chaleur restituée par la structure |
| Chaleur accumulée dans la structure | |
| Déperditions des installations techniques | Apport d'énergie : électricité et combustibles |
| Total des pertes = Total des gains | |

III. La réglementation thermique :

La réglementation thermique est un ensemble de règles à appliquer dans le domaine de la construction afin d'augmenter le confort des occupants tout en réduisant la consommation énergétique des bâtiments.

La première réglementation en Europe, imposant une performance énergétique minimale des constructions neuves, la Règlementation Thermique « RT », est née en 1975 suite au premier choc pétrolier qu'a connu le monde. Les normes sont actualisées tous les 5 ans environ, la dernière étant la « RT 2005 », s'applique à la construction des bâtiments neufs.

IV. La réglementation thermique Algérienne :

La réglementation Algérienne s'inspire en grande partie de la réglementation française, par contre les méthodes de calcul utilisées sont plus simples, elle autorise, du moins dans certaines limites, le calcul informatisé des besoins de chauffage. Ceci est un point positif puisque cela permet de profiter de l'inertie thermique d'un bâtiment ; un facteur très important étant donné le type de climat et de constructions existantes diffère en Algérie.

Une réglementation prenant en compte le confort thermique est prise en considération surtout durant les périodes chaudes. Une telle réglementation est d'une importance capitale étant donné le problème du confort en période d'été et de la consommation d'énergie due à la climatisation utilisée dans de nombreuses régions d'Algérie.

Le Document Technique Réglementaire (DTR3.2) apporte une première réponse aux problèmes liés à la thermique du bâtiment. Il met à la disposition des professionnels des méthodes d'évaluations thermiques des logements pour le problème d'hiver. L'exigence réglementaire sur laquelle s'appuie ce DTR consiste à limiter les déperditions calorifiques des logements en fixant un seuil à ne pas dépasser (appelé déperditions de référence).

Les méthodes de calculs présentées dans le DTR sont des méthodes simples, testées par ailleurs, suffisantes en principe pour trouver des solutions techniques admissibles. Bien entendu, il appartient au concepteur d'effectuer dans les cas limites des calculs plus précis (utilisation de logiciels de simulation opérant en régime dynamique).

1. Règles de calcul du DTR :

L'exigence réglementaire sur laquelle, s'appuie le DTR consiste à limiter les déperditions calorifique des logements en fixant un seuil à ne pas dépasser (appelé déperditions de référence) le respect de ce seuil devrait permettre une économie de 20 à 30 % sur la consommation d'énergie pour le chauffage des logements, sans pour autant se réaliser au détriment du confort des utilisateurs.

2. Prescriptions et réglementations applicables :

- Prescriptions techniques et fonctionnelles applicables aux logements sociaux (oct. 2007) visant notamment l'introduction de nouvelles technologies du bâtiment et des systèmes constructifs de manière à réduire les délais et les coûts de réalisation.
- Instruction ministérielle de 7 mars 1981 applicable aux wilayas du sud
- Règles de calcul des déperditions calorifiques des bâtiments d'habitation DTR C 3-2
- Règles de calcul des apports calorifique des bâtiments DTR C 3-4
- Ventilation naturelle des locaux a usages d'habitation DTR 3-3-1

3. Vérification réglementaire

Les déperditions par transmission DT du logement doivent vérifier.

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

Où :

$D_{\text{réf}}$ (en $\text{W}/^\circ\text{C}$) représente les déperditions de référence.

Calcul des déperditions de référence

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

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

Où :

S_1 : surface de toiture,

S_2 : surface de plancher bas, y compris les planchers bas sur locaux non chauffés,

S_3 : surface des murs,

S_4 : surface des portes,

S_5 : surface des fenêtres et les portes fenêtres.

* $a / b / c / d / e$ sont des coefficients (en $\text{W}/\text{m}^2, ^\circ\text{C}$) dépendent de la nature du logement et de la zone climatique

Estimations des charges en hiver :

- **Déperditions par transmission d'un volume**

Les déperditions par transmission $(D_T)_i$ d'un volume i sont données par:

$$(D_T)_i = (D_s)_i + (D_{li})_i + (D_{sol})_i + (D_{inc})_i \text{ [W/°C]} \quad (3.3)$$

Où :

$(D_s)_i$ représente les déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec; (en W/°C)

$(D_{li})_i$ représente les déperditions à travers les liaisons ; (en W/°C)

$(D_{sol})_i$ représente les déperditions à travers les parois en contact avec le sol (en W/°C)

$(D_{inc})_i$ représente les déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés (en W/°C).

- **Déperditions surfaciques par transmission à travers une paroi :**

Pour une différence de température de 1°C entre les ambiances que sépare cette paroi, sont données par la formule :

$$D_s = K \times A \text{ [W/°C]}$$

Où :

K est le coefficient de transmission surfacique (appelé aussi conductance) ; (en W/m². °C)

A est la surface intérieure de la paroi. (en m²)

Le coefficient K est donné par la formule suivante :

$$1/K = \sum R + 1/h_e + 1/h_i \dots \dots \dots \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$$

Où:

$\sum R$ représente la somme des résistances thermiques des différentes couches de matériaux constituant la paroi. La détermination de la résistance thermique d'une couche de matériau dépend de la nature du matériau, c'est à dire s'il est homogène ou non ; (en m². °C/W)

la somme $1/h_e + 1/h_i$: représente la somme des coefficients d'échange superficiel, prise conformément aux conventions adoptées (en m². °C/W)

- **Déperditions à travers les ponts thermiques**

Les déperditions à travers une liaison, ou pont thermique, D_{li} , sont données par la formule :

$$D_{li} = 0.12 \times D_T \dots \dots \dots \text{ [W/°C]}$$

- **Déperditions par transmission à travers les parois en contact avec le sol Dsol**

Les déperditions Dsol, pour un plancher bas, sont données par la formule :

$$D_{sol} = k_s \times p \dots\dots\dots [W/^\circ C]$$

Où :

ks est le coefficient de transmission linéique du plancher bas ou du mur (en W/m.°c)

p est la longueur de la paroi (en m)

- **Déperditions à travers les parois en contact avec des locaux non chauffés**

Les déperditions DInc par transmission par degré d'écart à travers une paroi en contact avec un local non chauffé sont données par la formule suivante :

$$D_{Inc} = T_{au} \times [\sum (K \times A) + \sum (k_l \times L)] \dots\dots\dots [W/^\circ C]$$

Où :

K est le coefficient de transmission surfacique de chaque partie (cf. chapitre 3)(en W/m².°C)

A est la surface intérieure de chaque partie surfacique ;(en m²)

k1 est le coefficient de transmission linéique de chaque liaison (cf. chapitre 4) ;(en W/m.°C)

L est la longueur intérieure de chaque liaison ;(en m)

Tau est le coefficient de réduction de température ;

- **Déperditions par renouvellement d'air d'un volume :**

- $D_R = 0,34 \times (Q_v + Q_s) \dots\dots\dots [W/^\circ C]$

Où :

0,34 (en Wh/m³.°C) est la chaleur volumique de l'air;

Qv(en m³/h) est le débit spécifique de ventilation ;

Qs(en m³/h) est le débit supplémentaire par infiltrations dues au vent.

Le débit spécifique de ventilation Qv pour un logement est donné par la formule suivante :

$$Q_v = \text{Max} [0,6 \times V_h; Q_{v\text{réf}}] \dots\dots\dots [m^3/h]$$

Où :

Vh(en m³) désigne le volume habitable ;(Vh=67*3=201m³).

Qvréf(en m³/h) désigne le débit extrait de référence.

Le débit extrait de référence $Q_{vréf}$ est donné par la formule suivante :

$$Q_{vréf} = (5Q_{vmin} + Q_{vmax}) / 6 \dots \dots \dots [m^3/h]$$

Où :

Q_{vmax} est le débit extrait maximal de référence, (en m^3/h)

Q_{vmin} est le débit extrait minimal de référence. (en m^3/h)

Le débit supplémentaire par infiltrations dues au vent Q_s (en m^3/h)

$$Q_s = \sum (p_{pi} - e_{vi}) \dots \dots \dots [m^3/h]$$

Où :

e_{vi} : le coefficient d'exposition au vent « e_v » est tiré du tableau 7.2 de DTR 3-2

Estimation des charges en été :

- **Gains internes :**

Gains dus à l'éclairage :

Les gains d'éclairage constituent une source de chaleur sensible, si l'on connaît la puissance installée pour l'éclairage, les gains dus à l'éclairage sont donnés par la formule suivante :

$$G_e = N_L \cdot W \cdot F_u \cdot F_B \cdot CLF$$

W : puissance nominale de l'ampoule ou du tube fluorescent (W)

F_B : coefficient de majoration, il est égale a :

1,2 pour les lampes à incandescence

1,25 pour les tubes fluorescents

F_u : pourcentage de chaleur résiduelle correspondant à la part d'énergie restant dans la salle

CLF : coefficient de l'apport sensible de l'éclairage

Gains dus aux occupants :

Le corps humain est le siège de transformation endothermique dont l'intensité est variable suivant l'individu et l'activité déployée, une part de son énergie est dissipé dans le milieu ambiant sous forme de chaleur sensibles et chaleur latente

$$G_{OS} = N_{pb} \cdot M_s \cdot CLF$$

N_{pb} : Nombre d'occupant

M_s : quantité de chaleur sensible dégagée par une personne (w)

M_L : quantité de chaleur latente dégagée par personne (w)

CLF : coefficient de l'apport sensible des occupants

- Gains externe :

Gains chaleur dus aux parois extérieures :

Les gains de chaleur à travers les parois extérieures (mur, toit) sont dus non seulement à la différence entre les températures de l'air alignant leurs face extérieurs et intérieurs, mais également au fait que leurs face extérieures sont soumises au rayonnement solaire, pour cela on trouve des tableaux qui donnent la différence de température équivalente (CLDT)

Les gains de chaleur par les murs s'écriront :

$$G_m = U_m \cdot A_m \cdot CLDT_{corr}$$

Avec :

A_m : surface de mur extérieur (m^2)

U_m : coefficient de transmission de chaleur global ($w/m^2.k$)

$$CLDT_{corr} = CLDT + (25.5 - T_{int}) + (T_{ext} - 29.5)$$

Avec :

CLDT : différence de température équivalente

CLDT_{corr} : différence de température équivalente corrigée

T_{int} : température intérieure ($^{\circ}C$)

T_{ext} : température extérieure ($^{\circ}C$)

Gains dus aux vitrages :

Les gains dus aux vitrages sont la somme des gains dus à la pénétration des rayonnements solaires et les gains dus à la différence de la température

Gains dus à la pénétration des rayonnements solaires :

Ce gain de chaleur peut se mettre sous la forme :

$$G_{VR} = A_V \cdot SC \cdot SHGF \cdot CLF$$

Avec :

A_V : surface de la vitre (m^2)

SC : coefficient d'ombre qui dépend du type de vitre et sa constitution

SHGF : facteur de gain solaire à travers le vitrage qui dépend de :

L'orientation de la vitre (Nord. Sud)

La période de l'année

CLF : coefficient de l'apport des fenêtres dépend de : l'heure solaire et de l'orientation de la vitre.

Gains dus à la différence de température :

Ce gain de chaleur peut se mettre sous la forme :

$$G_{VD} = U_v \cdot A_v (t_{int} - t_{ext})$$

Avec :

UV : coefficient de conductivité thermique du vitrage (w/m². °c)

AV : Surface de la vitre (m²)

Gains dus aux bords

$$G_b = P \cdot F \cdot (T_{int} - T_{ext})$$

F : coefficient de perte de chaleur de la dalle F=0.2

P : périmètre du local en contact avec l'extérieur en (m²)

Gains dus au toit :

Les gains de chaleur par les murs s'écriront :

$$G_m = U_m \cdot A_m \cdot CLDT_{corr}$$

Avec :

Am : surface du toit (m²)

Um : coefficient de transmission de la chaleur global (W/rn².k)

$$CLDT_{corr} = CLDT + (25.5 - T_{int}) + (T_{ext} - 29.5)$$

Avec :

CLDT : différence de température équivalente

CLDTcorr : différence de température équivalente corrigée

T_{int} : température intérieure (°c)

T_{ext} : température extérieure (°c)

Gains dus aux infiltrations :

$$G_{inf} = G_{inf s} + G_{inf L}$$

$$G_{inf s} = q_{inf} \cdot c_p \cdot (T_{int} - T_{ext})$$

$$G_{inf L} = q_{inf} \cdot \Delta h$$

Q_{inf} : Débit massique de l'air infiltré (Kg/s) calculé à partir de la formule :

$$q_{inf} = (N \cdot V) / (3600 \cdot V_e)$$

Δh : différence d'enthalpie en (KJ/Kgas)

V : volume du local exprimé en (m^3)

N : nombre de renouvellement d'air, exprimé en (h^{-1})

V_e : volume spécifique de l'air extérieur (m^3/Kg)

V. La réhabilitation énergétique et le confort thermique :

L'amélioration énergétique des bâtiments existants induit le plus souvent une amélioration des conditions de confort et une plus grande qualité hygiénique des espaces.

Dans les milieux bâtis, le confort thermique constitue une exigence essentielle à laquelle le concepteur doit apporter les réponses nécessaires. La définition du confort thermique est ainsi d'une grande importance pour le bâtiment afin de lui permettre d'atteindre ses objectifs de fonctionnalité tout en justifiant l'installation des équipements d'ambiance (chauffage, ventilation et climatisation). L'organisation internationale de normalisation l'ISO, propose des normes concernant l'ergonomie des ambiances thermiques. L'utilisation des normes vaut tant pour l'appréciation et l'amélioration des conditions thermiques existantes que pour la conception de nouvelles conditions. Il reste cependant que le compromis entre l'efficacité énergétique et le confort maximal est très difficile.

1. Le confort d'hiver :

En matière de confort d'hiver, l'amélioration énergétique des bâtiments va conduire à favoriser la collecte d'apports solaires gratuits ainsi qu'une pénétration du rayonnement solaire maximale, qui à cette période contribue à améliorer le confort visuel en cette saison, où la lumière naturelle est moins abondante et plus recherchée qu'en été.

2. Le confort d'été :

La question spécifique du confort d'été doit quant à elle trouver une réponse dans le contrôle des apports solaires, la réduction des apports internes, la mise en œuvre d'une inertie importante et l'évacuation de la chaleur des structures pendant la nuit.

D'après Donald Watson et Roger Camous, la manière la plus simple et la plus efficace d'assurer le confort d'été est de limiter les effets de la principale source de surchauffe en abritant le bâtiment du soleil, ou tout en moins en réduisant les surfaces de l'enveloppe exposées au soleil d'été.

En matière de confort d'été, on va donc chercher à protéger le logement des surchauffes en améliorant tout à la fois son isolation, la qualité de ses vitrages et de ses protections solaires, mais également sa ventilation et le renouvellement d'air des pièces qui le composent.

VI. Les principales solutions techniques de la réhabilitation énergétique

Les techniques de réhabilitation thermique et énergétique comprennent notamment l'amélioration de l'enveloppe du bâtiment, l'éclairage, le chauffage, le rafraîchissement et la ventilation, l'eau chaude sanitaire ainsi que le recours à l'énergie solaire.

L'enveloppe joue un rôle de filtre thermique qui permet de créer un microclimat à l'intérieur du bâtiment, indépendant des fluctuations météorologiques extérieures. La composition de l'enveloppe est un élément déterminant des caractéristiques de ce filtre. Elle doit être considérée comme le souci principal dans une opération de réhabilitation thermique d'un logement. Bien que l'enveloppe soit l'élément à appréhender le plus, la réduction des besoins énergétiques et une bonne isolation contribuera à un meilleur confort pour les usagers.

1. Les parois opaques :

L'isolation doit contribuer non seulement à la maîtrise ou le contrôle de la perméabilité à l'air des enveloppes, mais aussi à la réduction ou le traitement des ponts thermiques qui induisent non seulement une contre-performance de l'enveloppe du point de vue énergétique, mais sont également le siège d'inhomogénéités thermiques synonymes de sources d'inconfort et de risques de pathologies associées (condensation, moisissures, etc.).

Dans le cas des logements existants, l'enveloppe est déjà là, il faut donc penser à tirer profit des différents matériaux la composant avant d'intervenir sur cette dernière. Il est à noter que tous les matériaux de construction possèdent une certaine capacité thermique puisque tous présentent une certaine résistance au passage de la chaleur qui est variable en fonction de la masse thermique des matériaux qui la constitue.

Un bâtiment pourvu d'une masse thermique importante est capable de stocker la chaleur pour une certaine période de temps et de la redistribuer plus lentement au cours du jour ou de la nuit, ce qui diminue la période de surchauffe et son amplitude. Idéalement, une enveloppe de bâtiment devrait donc comporter :

- Coté extérieur : des matériaux à faible diffusivité pour l'isoler des sollicitations climatiques ;

- Coté intérieur : des matériaux à forte effusivité pour obtenir une inertie importante.

Il existe deux types d'isolation thermique de l'existant : l'isolation par l'extérieur et l'isolation intérieure avec rupteurs de ponts thermiques. Un troisième type d'isolation est réservé aux travaux de réhabilitations lourdes ou de constructions neuves, qu'on appelle l'isolation répartie. Ces trois types d'isolation seront détaillés dans ce qui suit :

L'isolation des toitures :

L'isolation des toitures est très rentable car le potentiel d'économies d'énergie est important. Sachant que la toiture transmet jusqu'aux 2/3 des transferts de chaleur de l'enveloppe vers l'intérieur du bâtiment, la réflexivité et l'isolation de la toiture limitent ces apports thermiques.

L'isolation des planchers :

L'appréciation de la qualité thermique d'un plancher, pour aider à déterminer le choix en termes d'isolation, s'appuie sur les critères indissociables suivants :

- la constitution du plancher ;
- la nature des liaisons entre plancher et les parois verticales adjacentes ;
- la présence et la nature d'un éventuel volume d'air sous le plancher.

1. Les parois vitrées :

De tous les éléments de l'enveloppe du bâtiment, les fenêtres et les surfaces vitrées en général, sont les plus exposées aux transferts de chaleur non désirés. Ce sont donc des éléments constructifs à ne surtout pas négliger lors de la construction ou la réhabilitation de bâtiments, car outre le fait qu'ils constituent des surfaces de déperditions énergétiques importantes, ils représentent aussi une surface stratégique de captage de l'énergie solaire. Ils peuvent constituer un énorme gisement d'économies d'énergie, sachant que leur isolation représente 10% d'énergie non consommée.

2. La ventilation :

Le renouvellement de l'air intérieur est primordial pour la santé des habitants et pour la préservation du bâtiment. Mais l'évacuation de l'air peut aussi évacuer la chaleur. Il est donc important de distinguer les infiltrations, qui sont décrites par l'écoulement aléatoire de l'air extérieur à travers les fissures dans l'enveloppe du bâtiment du phénomène de

ventilation. L'optimisation du système de ventilation est nécessaire lorsque l'isolation est renforcée. La ventilation peut être naturelle ou assistée mécaniquement.

Il est d'une haute importance de maîtriser le renouvellement de l'air par un bon équipement de ventilation pour le confort des habitants et une bonne conservation du bâti. Et pour que les systèmes de ventilation fonctionnent correctement, une bonne étanchéité à l'air est essentielle, et ceci dans le but d'assurer une bonne qualité de l'air, la conservation du bâti, un bon confort acoustique et thermique, et éviter le gaspillage d'énergie.

3. Les équipements :

L'efficacité énergétique d'un logement est certes dépendante de l'isolation des parois vitrées et opaques mais les équipements de chauffage, de climatisation, d'éclairage et d'eau chaude sanitaire sont tout aussi importants dans le bilan énergétique d'un logement et demandent une attention particulière quant à leur choix et utilisation.

VII. Travaux scientifiques consacrée au sujet

La recherche bibliographique relative aux travaux qui ont été conduit par d'autres chercheurs et professionnels du domaine, a conduit à la sélection des contributions suivantes pour supporter notre approche et les solutions que nous avons proposées dans le cadre de notre étude.

L. Derradji, K. Imesaad et al, ont travaillé sur l'«Étude de l'efficacité énergétique d'une maison économique en Algérie ». Ils ont conduit une étude expérimentale et numérique d'une maison rurale à faible consommation d'énergie, réalisée par le Centre National d'Etude et de Recherche Intégré du Bâtiment (CNERIB) dans le cadre du projet MED-ENEC. Cette maison prototype possède certaines caractéristiques d'une maison solaire passive, à savoir une surface vitrée importante orientée sud, une isolation renforcée des parois et une grande masse thermique. Dans ce travail, des simulations avec le logiciel TRNSYS ont été effectuées pour comparer les performances énergétiques de la maison prototype en période d'été (consommation énergétique et confort thermique) avec celles d'une maison classique en Algérie. Pour ce faire, des instruments de mesures ont été mis en place afin de, quantifier l'environnement intérieur global et en particulier l'ambiance thermique qui est caractérisée par

trois grandeurs physiques : la température de l'air, la température des parois et l'humidité relative de l'air.

La comparaison des résultats de la température intérieure de la maison prototype avec celle de la maison classique en période d'été, montre que la température de l'ambiance intérieure de la maison prototype est comprise, la plus part du temps, entre 25,5 et 27,5 °C. Ceci est dû à l'effet de l'isolation thermique (9 cm de polystyrène expansé) et de la bonne inertie thermique des murs construits en brique de terre stabilisée (BTS). La température à l'intérieur du logement prototype dépasse rarement 27 °C. Cette température génère une ambiance thermique acceptable en période d'été sans le recours au système de climatisation.

La température de l'air intérieur de la maison classique montre une amplitude qui arrive jusqu'à 6 °C entre le jour et la nuit, variant de 26 à 32 °C, ce qui ne répond pas aux prescriptions du confort thermique en période d'été. Les résultats de cette étude montrent qu'il est possible de réaliser des économies d'énergie, en période d'été, qui peuvent atteindre 61 % en adoptant les mesures d'efficacité énergétique dans le domaine du bâtiment en Algérie.

K. Imessad, L. Derradji et al., ont publié une étude sur l'impact des techniques passives de refroidissement sur la demande énergétique des buildings résidentiels se trouvant dans un climat Méditerranéen. Cette étude présente l'analyse thermique d'un prototype de bâtiment, conçu et construit conformément aux mesures d'efficacité énergétique pour améliorer le confort thermique intérieur, en particulier en été.

Le prototype de construction est situé à Souidania (20 km au sud-ouest d'Alger, latitude 36° 7' N, Longitude 03° 2' E). L'emplacement se caractérise par un climat méditerranéen tempéré. Pour accomplir l'analyse, diverses activités sont menées, dont entre autres : une série de campagnes de suivi, des simulations dynamiques avec le logiciel TRNSYS, l'étalonnage du modèle avec des données expérimentales et une étude comparative avec d'autres bâtiments qui possèdent des constructions murales différentes. Sur la base d'un modèle thermique de bâtiment validé, l'analyse dynamique a été réalisée pour évaluer l'impact de la masse thermique et des avant-toits et la ventilation nocturne. Les résultats expérimentaux et ceux des simulations ont révélés :

- La demande d'énergie de refroidissement est plus affectée par les valeurs de la transmittance thermique que par la masse thermique de l'enveloppe ;
- L'inertie thermique a un effet positif sur les stratégies d'économie d'énergie à condition que l'enveloppe du bâtiment soit bien isolée thermiquement ;
- Dans les climats méditerranéens comme le nord de l'Algérie, l'utilisation de Techniques de climatisations passives, La ventilation naturelle et l'isolation offrent un potentiel important pour les économies d'énergie.

A. Bolattürk a réalisé un travail qui vise la détermination de l'épaisseur d'isolation optimale des murs de bâtiments en Turquie et ce en considérant différents agents de chauffages et zones climatiques. En effet, les pertes de chaleur provenant des bâtiments en Turquie, constituent l'une des principales sources de perte d'énergie, des économies d'énergie considérables peuvent être obtenues en utilisant des matériaux d'isolation appropriés dans les bâtiments.

Dans cette étude, l'utilisation de l'isolation sur les murs extérieurs des bâtiments est analysée. L'épaisseur d'isolation optimale, la quantité d'énergie économisée et la période de récupération pour diverses villes et différents types de carburant sont calculées à l'aide de l'analyse des coûts du cycle de vie sur une durée de vie de 10 ans. Les résultats montrent que les épaisseurs d'isolation optimales varient entre 2 et 17 cm, les économies d'énergie varient entre 22% et 79%, et les périodes de récupération varient entre 1, 3, 4 et 5 années selon la ville et le type de carburant.

L.F. Cabeza et al., ont effectué une étude expérimentale sur la performance des matériaux d'isolation dans les constructions méditerranéennes. Les auteurs ont comparé trois matériaux d'isolation, le polyuréthane, le polystyrène et la laine minérale. À cette fin, quatre cabines de type maison ont été construites (2,4 m de chaque côté) et leur performance thermique tout au long du temps a été mesurée.

La consommation d'énergie électrique, climatiseurs en été et radiateurs électriques à l'huile en hiver, a montré que l'utilisation de l'isolement est cruciale pour diminuer la consommation d'énergie dans les bâtiments et des émissions de CO₂ dans l'air. Des réductions d'énergie allant jusqu'à 64% en été et 37% en hiver, ont été mesurées expérimentalement. La

différence entre la performance de ces trois matériaux est de moins de 25% dans la plupart des cas. Les résultats ont montré aussi que la cabine isolée avec du polyuréthane consomme moins d'énergie par rapport aux autres cabines.

C.K. Cheung et al., ont travaillé sur les enveloppes à efficacité énergétique accrues pour les appartements surélevés. Pour cela les chercheurs ont adopté une approche de conception passive intégrée pour réduire l'exigence de refroidissement pour les appartements de grande hauteur grâce à une conception améliorée de l'enveloppe du bâtiment. Les résultats montrent qu'une économie de 31,4% en énergie de refroidissement annuelle requise et 36,8% dans la charge de refroidissement maximale pour l'appartement de référence, peut être réalisée avec cette approche. Cependant, toutes les stratégies passives ont un effet marginal sur la charge de refroidissement latente, souvent inférieure à 1%.

Cette étude a également suggéré que l'utilisation de la modélisation thermique dans la conception de bâtiments peut aider l'architecte à produire un design plus économe en énergie en évaluant l'efficacité de diverses alternatives. Les résultats de ce travail peuvent être intégrés à l'analyse coûts / énergie du cycle de vie, pour produire une image plus holistique des impacts et des coûts environnementaux.

S. Jaber, S. Ajib, ont publié une étude du design optimum sur le plan technique et énergétique d'un building résidentiel dans la région méditerranéenne. Le travail traite d'une évaluation de la meilleure orientation du bâtiment, de la taille des fenêtres, de l'épaisseur d'isolation thermique du point de vue énergétique, économique et environnemental, et ce pour un bâtiment résidentiel typique situé dans la région méditerranéenne. Les résultats montrent qu'environ 27,59% de la consommation annuelle d'énergie peuvent être sauvés en choisissant la meilleure orientation, la taille optimale des fenêtres et des dispositifs d'ombrage, et l'épaisseur optimale d'isolation. Le coût du cycle de vie (LCC) est réduit de 11,94%. La consommation spécifique d'énergie par mètre carré est de 64kWh / m² an.

Suresh B. Sadineni et al. ont examiné les composantes de l'enveloppe du bâtiment. Les différents types de murs énergétiques. Ils suggèrent que les stratégies d'efficacité énergétique passive sont très sensibles aux facteurs météorologiques. En effet, l'application de la masse thermique comme méthode d'économie d'énergie est plus efficace dans les endroits où les

différences de température de l'air atmosphérique entre les jours et les nuits sont élevées.

W. A. Friess et al., ont étudié les lois et réglementations relatives à la construction des murs et des toits de villas à Dubai, les ponts thermiques induits à l'enveloppe du bâtiment et l'impact de cet effet sur la consommation énergétique du bâtiment par modélisation (Design Builder / EnergyPlus). Les résultats de la simulation montrent qu'avec des stratégies appropriées d'isolation des murs extérieurs, des économies d'énergie allant jusqu'à 30% peuvent être réalisées.

A. Gagliano et al. ont réalisé une étude de cas de réhabilitation énergétique de logements sociaux. Pour ce faire, ils ont analysé l'isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment dans le cadre de la rénovation énergétique d'un ensemble de logements sociaux en Italie. Les chercheurs suggèrent que le réaménagement énergétique permettra d'obtenir une économie de la consommation d'énergie primaire pour le chauffage des locaux d'environ 9,5 MWh / an et une économie de consommation d'énergie primaire de l'eau chaude sanitaire d'environ 2,5 MWh / an.

J. V. Ferreira, I. Domingos, ont traité de la réglementation portugaise en matière de construction thermique en termes de performance énergétique et environnementale. A cet effet, différents scénarios d'une maison d'habitation située dans une zone climatique extrême avec quatre occupants et une surface nette de plancher de 150 m², ont été étudiés.

S. Sami-Mécheri , D. Semmar, A. Hamid, ont travaillé sur l'efficacité énergétique des logements à haute performance énergétique « HPE » - Application au site de Béchar. Le but de cette étude était de donner un exemple de simulation des logements « Haute Performance Énergétique » (HPE) de la ville de Béchar traitée dans le cadre du projet Eco-Bat. L'étude était basée sur les données météorologiques du site et l'application des principes de la conception bioclimatique avec la variation des paramètres d'étude suivants :

- L'orientation : afin de minimiser les pertes de chaleur et favoriser les apports solaires pendant la période hivernale ;
- L'isolation : une bonne isolation intérieure et même des planchers hauts afin d'avoir une maison passive. Il s'agit aussi du choix de l'isolant ainsi que l'épaisseur qui donne un

meilleur rendement au logement étudié ;

- Le vitrage : choix de fenêtres performantes ;
- Le choix des matériaux de construction.

R. Guechhati et al., ont effectué une Simulation sur l'effet de l'isolation thermique de bâtiments - cas du centre psychopédagogique SAFAA à Oujda. Le but de cette étude étant l'analyse thermique et énergétique du centre psychopédagogique « SAFAA » qui se situe dans la ville d'Oujda (Maroc). A ce propos, des simulations ont été effectuées à l'aide du logiciel de simulation du comportement thermique en régime dynamique « TRNSYS 16 » et le modèle numérique type 56. Ce projet vise l'introduction des matériaux isolants dans un bâtiment afin d'améliorer le confort thermique et de réduire l'énergie consommé. Les travaux ont débouché sur les résultats suivants :

- L'isolation de la toiture est nécessaire pour économiser les besoins de chauffage ;
- L'économie en énergie maximale a été obtenue en utilisant l'isolation complète du centre ;
- L'isolation de la toiture couplée à l'isolation externe des murs avec 6 cm de polystyrène expansé 035 a été retenue comme solution.

Fezzioui et al., ont analysé l'influence des caractéristiques dynamiques de l'enveloppe d'un bâtiment sur le confort thermique au sud Algérien. Le logiciel TRNSYS a été utilisé pour étudier l'influence de l'enveloppe du bâtiment sur sa demande énergétique en période de surchauffe. Ils ont introduit des éléments d'amélioration de l'habitat étudié, tels que l'augmentation de l'inertie thermique, l'isolation des murs extérieurs et de la toiture.

Les résultats présentés dans cette étude montrent que le choix de l'enveloppe du bâtiment a une incidence notable sur la consommation d'énergie. La mesure d'amélioration la plus justifiée économiquement est l'isolation de la toiture. L'isolation des murs est pertinente, mais pas trop rentable en cas d'un local conditionné. Une ventilation nocturne peut présenter une solution qui remplace les climatiseurs pour les jours des mois de Mai à Juin, et Septembre où la température nocturne peut descendre au-dessous de la température extérieure.

H. Necib et al., ont travaillé sur l'amélioration de l'isolation thermique des habitats dans les régions chaudes et arides. Cette étude propose un Diagnostic thermique d'une salle des

enseignants se situant à l'université d'Ouargla. L'étude a montré que la toiture, est responsable de 70.62% des gains thermiques globales, 27.11% de gain est reçu par les quatre murs et 2.27% par les fenêtres. L'isolation thermique de la toiture par le Liège ou le gravier ainsi que l'isolation des murs par le polystyrène pour plusieurs épaisseurs ont été étudiés. L'étude a montré aussi qu'une isolation combinée de toiture et des murs avec liège et polystyrène de 5cm d'épaisseur, peut réduire jusqu'à 59.09% le gain thermique globale et atteint une réduction jusqu'à 69.96% pour une épaisseur de 10cm.

Description du projet et de l'approche technique

I. Projet d'étude :

L'étude présentée dans le cadre du présent mémoire, consiste en la réhabilitation thermique d'un projet immobilier de 40 logements en R+2, implanté dans la wilaya de Mostaganem. La réhabilitation est réalisée en proposant des solutions techniques pour mettre la résidence modèle en conformité, au moins, avec la réglementation thermique algérienne (DTR C3-2 et DTR C3-4). L'impact économique de chaque solution est également analysé.

Les calculs et simulations réalisés dans le cadre du projet ont été effectués en utilisant le logiciel « RETA », développé par le Centre de Développement des Energies Renouvelables et une résidence modèle appartenant aux 40 logements. Les détails concernant la résidence et l'outil de simulation sont fournis dans les sections suivantes du présent document.

II. Résidence modèle :

La résidence étudiée est localisée à Tazgait (commune de Mostaganem), à une latitude de 36° 05' 00" Nord, et une longitude de 0° 33' 00" Est, cette région fait partie de la zone climatique A, caractérisée par un hiver frais et un été chaud et humide.

La résidence de type F3 est située au dernier étage d'un bâtiment R+2. Elle possède une surface habitable de 67.18 m², et les caractéristiques architecturales suivantes :

- Entrée est orientée vers l'Est ;
- Chambre 1 est positionnée vers le côté Nord-Est ;
- Chambre 2 est vers le côté Nord-Ouest ;
- Salle de séjour avec une fenêtre orientée vers le Sud ;
- Cuisine orientée vers le côté Sud ;
- Salle de bain et sanitaires sont dirigées vers le Nord.

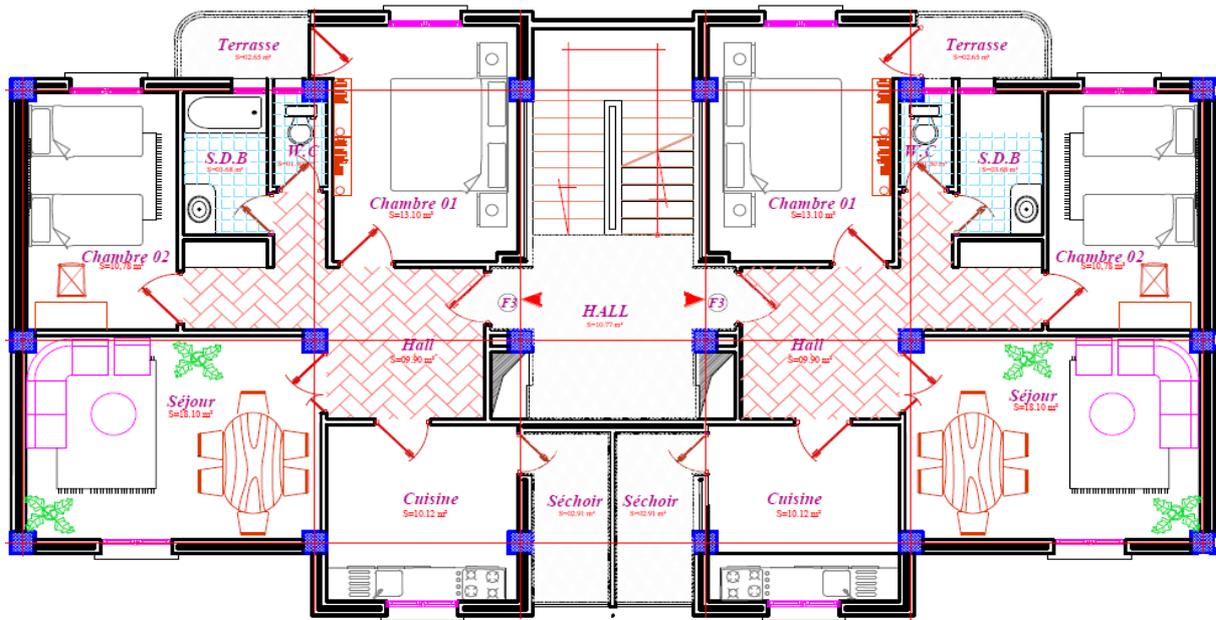


Figure 1 : Plan de l'étage

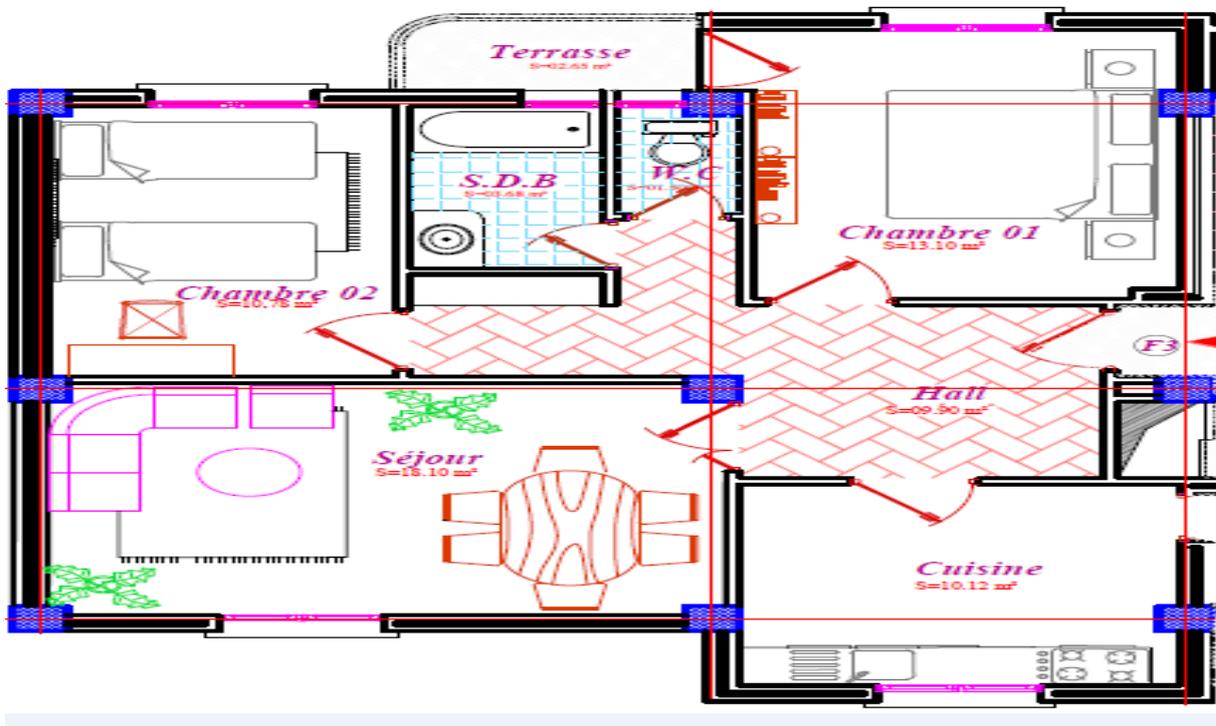


Figure 2 : Plan de la résidence

III. Outil de simulation :

L'application RETA que nous avons utilisé dans notre étude est un logiciel développé par l'équipe bioclimatique du Centre de Développement des Energies Renouvelables, libre d'accès qui se présente sous forme d'interface graphique accessible via l'adresse web (reta.cder.dz). L'application présente à l'utilisateur une interface ergonomique et facile d'utilisation lui permettant de décrire les différents composants d'un bâtiment et d'effectuer les calculs thermiques nécessaires afin de vérifier la conformité du projet vis-à-vis de la réglementation thermique (DTR C3-2 et DTR C3-4).

Vérification d'hiver (DTR C3-2)

Les déperditions calorifiques par transmission à Travers les parois calculées pour la période d'hiver doivent être inférieures à une limite appelée «Déperdition de Référence»;

$$DT \leq 1.05 D_{\text{réf}}$$

Vérification d'été (DTR C3-4)

Les apports calorifiques à travers les parois (opaques et vitrées) calculés pour la période d'été (15h TSV D'un mois de juillet) doivent être inférieurs à une limite appelée « Apport de Référence ».

$$APO (15 h) + AV (15 h) \leq 1.05. A_{\text{réf}} (15 h)$$

L'application offre aussi la possibilité de dimensionner un système de chauffage conformément aux exigences de confort thermique intérieur

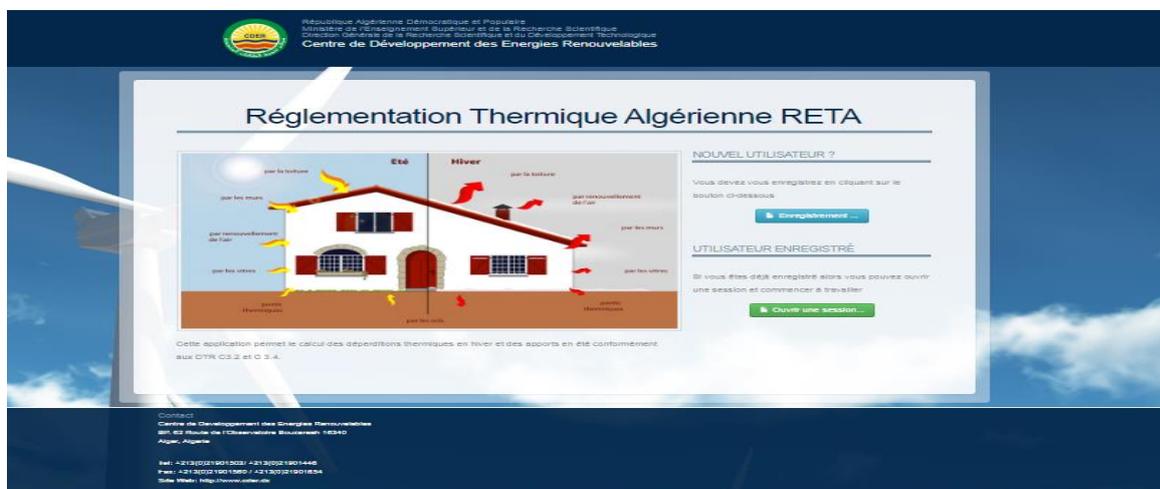


Figure 3 : Page d'accueil de l'application

1. Structure et étapes de calcul :

L'entité principale de RETA est le projet. Il détaille les données de base communes à toutes les autres entités. Il s'agit principalement des données géographiques : altitude, latitude, wilaya, commune.

Une fois le projet défini, la deuxième étape sera de créer les volumes thermiques conformément aux définitions du DTR. A chaque enveloppe ou volume thermique il faut alors définir les parois qui le composent de façon à créer un espace fermé.

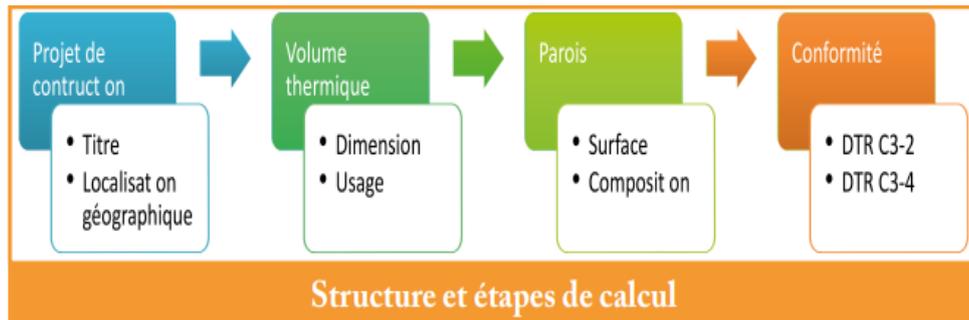


Figure 4 : Structure et étapes de calcul

2. Création du projet

Cette étape permet de définir les données de positionnement du projet. Il faut donner un titre au projet puis renseigner les champs des données géographiques : altitude, latitude, le type de site d'implantation et la commune d'implantation du projet.

Les champs 'site d'implantation' permet de définir le niveau d'exposition au vent du site où est implanté le projet.

Figure 5 : Création du projet

3. Création d'une enveloppe :

La première section offre de saisir le nom de l'enveloppe (qui sert à l'identifier) ainsi que les volumes d'air brut et net et enfin la surface des planchers intermédiaires qui interviendra dans le calcul du coefficient d'amortissement.

La deuxième section permet de spécifier l'usage de l'enveloppe, les conditions intérieures de confort, et le temps de fonctionnement du système de climatisation.

La durée de fonctionnement du système de climatisation doit être choisie parmi ces trois valeurs : 12h, 16 h et 24 h.

Nouvelle enveloppe

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

Ajouter Annuler

Figure 6 : Création d'une nouvelle enveloppe

4. Création d'une paroi :

Cette fenêtre recueille les informations nécessaires à la description de la paroi.

Nouvelle paroi

Nom de la paroi : Saisissez le nom de la paroi ...

Surface (m²) : Saisissez la surface de la paroi ..

Inclinaison : Choisissez une valeur :

Orientation : Choisissez une valeur : ✓

Type : Choisissez une valeur :

Contact : Choisissez une valeur :

Ajouter Annuler

Figure 7 : Création d'une nouvelle paroi

5. Création d'une Paroi Opaque :

La paroi opaque est un type de parois. Elle est caractérisée par sa composition en couches de matériaux.

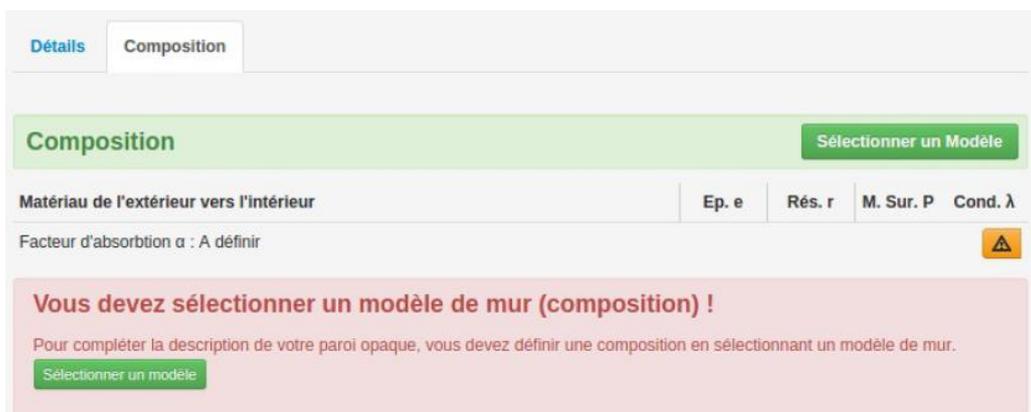


Figure 8 : Composition d'une paroi opaque

Lors du premier accès, aucune information n'est disponible pour la paroi. Il faut alors définir le facteur d'absorption α puis associer la paroi à un modèle de composition.

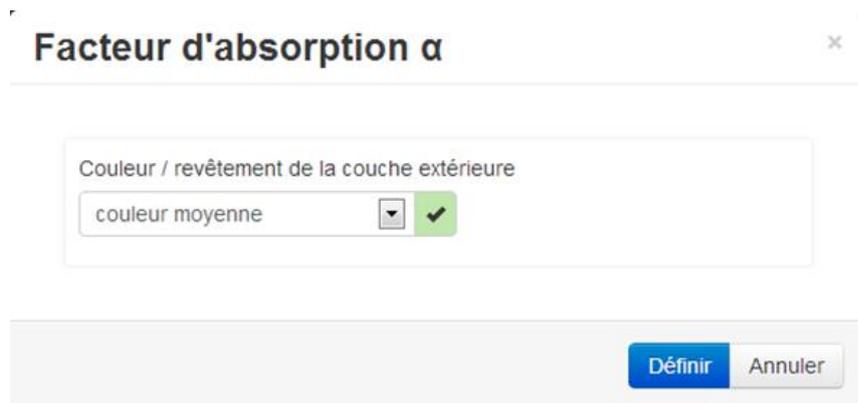


Figure 9 : Facteur d'absorption

6. Création d'une paroi vitrée :



Figure 10 : Composition du vitrage

7. Création d'une porte :

Nature et la composition de la porte

Nature : Choisissez une valeur : [dropdown] [warning icon]

Composition : Choisissez une valeur : [dropdown] [check icon]

Isolation : Avec seuil et joint d'étanchéité [info icon]

Hauteur moyenne du sol (m) : 0.0 [check icon]

[Définir] [Fermer]

Figure 11 : Nature et la composition de la porte

8. Création d'une paroi en contact avec un locale non chauffé et non conditionné :

Définir le local adjacent non chauffé et non climatisé

Définition pour calcul été

Cas : Cas 3 [check icon] Locaux non conditionnés d'un logement, les locaux à usage d'enseignement, d'hébergement, de bureaux et de réunion

Masse rapportée < 150 Kg/m³ [info icon]

Définition pour calcul hiver

Cas : Circulation ouverte sur l'extérieur [check icon]

Détails : Tout type [check icon]

Toute circulation commune ou dépendance dont le rapport de la section totale de ses ouvertures permanentes sur l'extérieur à son volume est supérieur ou égal à 0.005 m²/m³.

[Définir] [Fermer]

Figure 12 : Création d'une paroi

9. Création des modèles de paroi :

L'application offre à l'utilisateur un outil de création et de modifications des modèles de parois. Un modèle de paroi est une composition de plusieurs matériaux de construction en différentes couches. Cet outil permet une gestion centralisée des compositions et offre la possibilité de réutiliser une composition pour plusieurs parois sans avoir à la redéfinir.

Ainsi, il est possible de définir toutes les compositions qui interviennent dans la construction des enveloppes thermiques d'un projet au sein de cet outil et de les attacher aux parois correspondantes.



Ajouter un Modèle

Nom du modèle

Saisissez le nom du modèle ...

Inclure automatiquement dans les futurs projets

Ajouter Annuler

Figure 13 : Création modèle de paroi

10. Renouvellement d'air :

Le calcul des échanges dus au renouvellement et la circulation d'air est relatif aux volumes et non pas aux parois.

Une fois ces données saisies, l'application calculera automatiquement les échanges thermiques dus au renouvellement et à la circulation d'air conformément aux indications des DTR C3-2 et C3-4.



Renouvellement d'air

| | | | | | |
|-------------------------------|-------|---|-------------------------------|---|---|
| Volume de l'enveloppe | 300.0 | ✓ | Nombre de "Pièce principale" | 3 | ✓ |
| Nombre de "Cuisine" | 1 | ✓ | Nombre de "Salle de bains" | 1 | ✓ |
| Nombre de "Cabinet d'aisance" | 1 | ✓ | Nombre de "Autre salle d'eau" | 0 | ✓ |

Définir Annuler

Figure 14 : Renouvellement d'air

11. Chauffage :

Vous pouvez définir les paramètres C_{in} (Coefficient de surpuissance) et C_r (Coefficient des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauterie éventuel) permettant de calculer la puissance nécessaire pour chauffer l'enveloppe sélectionnée.

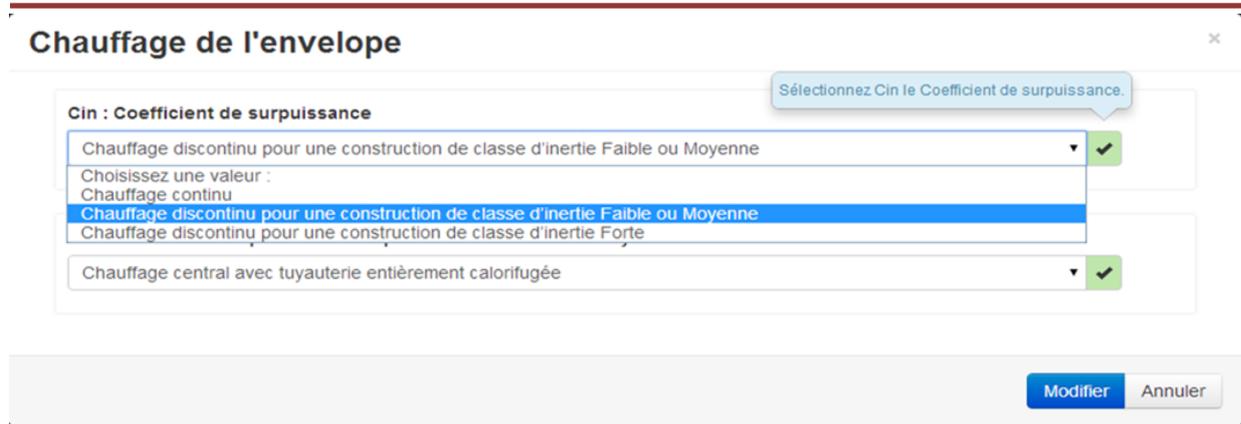


Figure 15 : Chauffage de l'enveloppe

Remarque : Dans chaque opération l'application offre la possibilité de modification, duplication et de suppression

12. Calculs :

Les calculs unitaires relatifs aux parois et autres composantes sont fait au fur et à mesure des changements apportés. Toutefois, pour sommer les déperditions et les apports et pour vérifier la conformité réglementaire il faut lancer manuellement les calculs.

Pour lancer le calcul sur les échanges thermiques superficiels de toutes les enveloppes du projet et déterminer la conformité du projet dans le cadre des DTR il suffit de cliquer sur le menu « Outils » puis sur « Conformité DTR ». L'application lance les calculs de sommes et de vérification puis affiche une fenêtre de synthèse globale. La fenêtre présente 2 onglets :

- Synthèse: avec les sommes des déperditions, des déperditions de référence, des apports et des apports de référence ainsi que les résultats des vérifications réglementaires suivant les DTR C3-2 et C3-4.
- Échanges thermiques par transmissions : pour détailler les sommes des déperditions et des apports, incluant les valeurs non prises en compte pour la vérification comme les apports des parois non aériennes.

Pour le Renouvellement d'air et Chauffage, l'application lance les calculs nécessaires puis affiche une fenêtre qui présente 2 onglets :

- Renouvellement et infiltration d'air : pour détailler les sommes des débits et des échanges thermiques dues au renouvellement et à l'infiltration d'air ;
- Dimensionnement : pour afficher la puissance nécessaire pour chauffer l'enveloppe

Etude Technique :

L'approche que nous avons adoptée dans la réalisation de notre étude sur les mesures et les techniques de mise en conformité de la résidence modèle que nous avons choisi, est basée sur l'examen de deux cas, à savoir l'analyse de la résidence en question, sans et avec une isolation. Ce travail a été conduit suivant les deux étapes suivantes :

- **1^{ère} étape :**

La démarche initiale consiste à vérifier la conformité avec la réglementation thermique algérienne (DTR C3-2 et DTR C3-4), de l'appartement dans le cas que nous appelons « classique », c'est-à-dire (sans isolation).

- **2^{ème} étape :**

L'étape subséquente comporte la proposition de solutions à même de permettre la mise en conformité de l'appartement avec ladite réglementation (DTR C3-2 et DTR C3-4).

I. Base de calcul et hypothèses de simulation

Les travaux et les simulations conduits dans le cadre de cette étude ont été effectués sur la base des données techniques et des conditions externes présentées ci-après :

1. Données techniques

Les données techniques utilisées dans cette étude sont récapitulées dans les tableaux suivants :

Tableau 1 : les données techniques

| Localisation | Altitude | Latitude | Zone Thermique Hiver | Zone Thermique Eté |
|--------------|----------|----------|----------------------|--------------------|
| | 419,00 m | 36,08 ° | A | A |

| Volume Brut | Volume Net | Usage | | |
|-----------------------|-----------------------|------------|---------------------|----------------|
| 209,49 m ³ | 201,54 m ³ | Habitation | Logement individuel | Confort Normal |

| Temps de fonctionnement (climatisation) | Temp. interne Hiver | Temp. interne Eté |
|---|---------------------|-------------------|
| 16 H | 21° | 27° |

2. Conditions externes :

Les conditions externes arrêtées pour les calculs et les simulations sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau 2 : conditions externes

| Temp. externe en hiver | Temp. externe en été | Humidité spécifique | Ecart diurne |
|------------------------|----------------------|---------------------|--------------|
| 3,00° | 34,00 ° | 14,50 | 9,00 |

II. Cas classique

Les résultats de la simulation sur l'application RETA, des échanges thermiques en considérant les flux de l'air et les puissances de chauffage et de climatisation, dans le cas classique, sont rapportés sur les tableaux suivants :

1. Synthèse des échanges thermique en hiver :

Tableau 3 : Synthèse des échanges thermique en hiver

| DT | Dréf | Vérification C-3.2 | |
|-------------|-------------|--------------------|--------------|
| 439,62 W/°C | 311,35 W/°C | 1,41 | Non conforme |

2. Synthèse des échanges thermique en été :

Tableau 4 : Synthèse des échanges thermique en été

| APO non Aériennes | APO Aériennes | APOréf | AV | AVréf | Vérification C-3.4 | |
|-------------------|---------------|------------|----------|----------|--------------------|--------------|
| 0,00 W | 3 020,72 W | 2 384,33 W | 886,25 W | 269,31 W | 1,47 | Non conforme |

3. Renouveaulement et infiltration d'air en hiver :

Tableau 5 : Renouveaulement et infiltration d'air en hiver

| QS | QV | DR | QVinf |
|------------|-------------|------------|-----------------------------|
| 50,28 m3/h | 120,92 m3/h | 58,21 W/°C | 43,40 m3/h - Orientation: O |

4. Renouveaulement et infiltration d'air en été :

Tableau 6 : Renouveaulement et infiltration d'air en été

| QVan | ARENs | AINFs | ARENI | AINFI | Renouveaulement d'air total |
|-------------|----------|---------|----------|----------|-----------------------------|
| 120,92 m3/h | 270,87 W | 97,22 W | 323,82 W | 116,22 W | 808,13 W |

5. Puissance de chauffage :*Tableau 7 : Puissance de chauffage*

| Cin : Coefficient de surpuissance | Cr : Coefficient des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries éventuel | Puissance de chauffage |
|-----------------------------------|---|------------------------|
| 0,10 | 0,00 | 9,8 kW |

6. Puissance de climatisation :*Tableau 8 : Puissance de climatisation*

| Nombre d'occupants | Puissance d'éclairage | Autres puissances dégagées | Puissance de Climatisation |
|--------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|
| 5,00 | 300,00 | 0,00 | 5,0 kW |

7. Synthèse de l'enveloppe :*Tableau 9 : Synthèse de l'enveloppe*

| Nom de l'enveloppe | Usage | Conformité Hiver C-3.2 | Conformité Été C-3.4 |
|--------------------|------------|------------------------|----------------------|
| logement | habitation | Non conforme | Non conforme |

Interprétation des résultats :

Les données collectées de la simulation du cas classique, montrent que les valeurs obtenues de la Déperdition Thermique sont supérieures à 1.05 fois la Déperdition de référence ($DT > 1.05 \times D_{réf}$) et que celles de la somme des apports calorifiques des parois opaques à 15h d'un mois de juillet (considéré comme le mois le plus chaud) et des parois vitrées pour la même période sont supérieures à 1.05 x les apports de référence ($APO (15 h) + AV (15 h) > 1.05 \cdot A_{réf} (15 h)$), contrairement à ce qui est prescrit par la réglementation algérienne. En effet, les résultats obtenus selon la période de l'année sont comme suit :

Tableau 10 : Les résultats obtenus de la simulation (cas classique)

| Résultats de la simulation | Vérification de la prescription de la réglementation Algérienne | Conformité |
|---|---|--|
| $DT = 439.62 \text{ (W/°C)}$ | $D_{réf} = 311.35 \text{ (W/°C)}$ $1.05 \times D_{réf} = 326.92 \text{ (W/°C)}$ | Non conforme $DT > 1.05 \times D_{réf}$ |
| $APO (15 h) = 3020.72 + 886.25 = 3906.97 \text{ (W)}$ | $A_{réf} (15 h) = 2384.33 + 269.31 = 2653.64 \text{ (W)}$ $1.05 \times A_{réf} (15 h) = 2786.32 \text{ (W)}$ | Non conforme $APO (15 h) + AV (15 h) > 1.05 \cdot A_{réf} (15 h)$ |

A ce titre, nous pouvons conclure que l'appartement modèle utilisé dans notre étude n'est pas conforme à la réglementation thermique Algérienne édictée par les DTR C3-2 et DTR C3-4.

III. Première solution : Isolation de la toiture

La première solution que nous proposons pour mettre en conformité la résidence étudiée, avec la réglementation thermique Algérienne, consiste à rajouter une isolation de polystyrène de 10 cm au niveau de la toiture, et ce afin de réduire les pertes thermiques et les infiltrations à partir de la toiture. Les résultats de la simulation de l'application de cette solution sont rapportés sur les tableaux suivants :

1. Synthèse des échanges thermique en hiver :

Tableau 11 : Synthèse des échanges thermique en hiver

| DT | Dréf | Vérification C-3.2 | |
|-------------|-------------|--------------------|----------|
| 256,26 W/°C | 311,35 W/°C | 0,82 | Conforme |

2. Synthèse des échanges thermique en été :

Tableau 12 : Synthèse des échanges thermique en été

| APO non Aériennes | APO Aériennes | APOréf | AV | AVréf | Vérification C-3.4 | |
|-------------------|---------------|------------|----------|----------|--------------------|--------------|
| 0,00 W | 1 910,06 W | 2 384,33 W | 886,25 W | 269,31 W | 1,05 | Non conforme |

3. Renouvellement et infiltration d'air en hiver :

Tableau 13 : Renouvellement et infiltration d'air en hiver

| QS | QV | DR | QVinf |
|------------|-------------|------------|-----------------------------|
| 50,28 m3/h | 120,92 m3/h | 58,21 W/°C | 43,40 m3/h - Orientation: O |

4. Renouvellement et infiltration d'air en été :

Tableau 14 : Renouvellement et infiltration d'air en été

| QVan | ARENs | AINFs | ARENI | AINFI | Renouvellement d'air total |
|-------------|----------|---------|----------|----------|----------------------------|
| 120,92 m3/h | 270,87 W | 97,22 W | 323,82 W | 116,22 W | 808,13 W |

5. Puissance de chauffage :

Tableau 15 : Puissance de chauffage

| Cin : Coefficient de surpuissance | Cr : Coefficient des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries éventuel | Puissance de chauffage |
|-----------------------------------|---|------------------------|
| 0,10 | 0,00 | 6,1 kW |

6. Puissance de climatisation :

Tableau 16 : Puissance de climatisation

| Nombre d'occupants | Puissance d'éclairage | Autres puissances dégagées | Puissance de Climatisation |
|--------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|
| 5,00 | 300,00 | 0,00 | 3,9 kW |

7. Synthèse de l'appartement :

Tableau 17 : Synthèse de l'appartement

| Nom de l'enveloppe | Usage | Conformité Hiver C-3.2 | Conformité Eté C-3.4 |
|--------------------|------------|------------------------|----------------------|
| logement | habitation | Conforme | Non conforme |

Interprétation des résultats :

Les données collectées de la simulation de la première solution, montrent que les valeurs obtenues de la Déperdition Thermique sont inférieures à 1.05 fois la Déperdition de référence ($DT > 1.05 \times D_{réf}$) et que celles de la somme des apports calorifiques des parois opaques sur 15 heures de temps et des parois vitrées pour la même période sont supérieures à 1.05 x les apports de référence ($APO (15 h) + AV (15 h) > 1.05 \cdot A_{réf} (15 h)$). Les résultats obtenus selon la période de l'année sont comme suit :

Tableau 18 : Les résultats obtenus de la simulation (première solution)

| Résultats de la simulation | Vérification de la prescription de la réglementation Algérienne | Conformité |
|---|---|--|
| $DT = 256.26 (W/°C)$ | $D_{réf} = 311.35 (W/°C)$ $1.05 \times D_{réf} = 326.92 (W/°C)$ | Conforme $DT < 1.05 \times D_{réf}$ |
| $APO (15 h) = 1910.06 + 886.25 = 2796.31 (W)$ | $A_{réf} (15 h) = 2384.33 + 269.31 = 2653.64 (W)$ $1.05 \times A_{réf} (15 h) = 2786.32 (W)$ | Non conforme $APO(15 h) + AV(15 h) > 1.05 \cdot A_{réf} (15 h)$ |

A la lumière de ces résultats, nous pouvons conclure que l'appartement modèle utilisé dans notre étude est conforme avec la réglementation thermique Algérienne édictée par les DTR C3-2 et non conforme avec celle prescrite par la DTR C3-4.

IV. Deuxième solution : Isolation de la toiture et des parois

La deuxième solution que nous proposons pour mettre en conformité la résidence étudiée, avec la réglementation thermique Algérienne, porte sur l'isolation de la toiture avec une couche de 10 cm de polystyrène. Et des parois avec 5 cm et cet isolant, La simulation effectuée sur RETA, dans ce cas de figure a donné les résultats présentés dans les tableaux suivants :

1. Synthèse des échanges thermique en hiver :

Tableau 19 : Synthèse des échanges thermique en hiver

| DT | Dréf | Vérification C-3.2 | |
|------------|------------|--------------------|----------|
| 158,97 W°C | 311,35 W°C | 0,51 | Conforme |

2. Synthèse des échanges thermique en été :

Tableau 20 : Synthèse des échanges thermique en été

| APO non Aériennes | APO Aériennes | APOréf | AV | AVréf | Vérification C-3.4 | |
|-------------------|---------------|------------|----------|----------|--------------------|----------|
| 0,00 W | 1 081,62 W | 2 384,33 W | 886,25 W | 269,31 W | 0,74 | Conforme |

3. Renouvellement et infiltration d'air en hiver :

Tableau 21 : Renouvellement et infiltration d'air en hiver

| QS | QV | DR | QVinf |
|------------|-------------|-----------|-----------------------------|
| 50,28 m3/h | 120,92 m3/h | 58,21 W°C | 43,40 m3/h - Orientation: O |

4. Renouvellement et infiltration d'air en été :

Tableau 22 : Renouvellement et infiltration d'air en été

| QVan | ARENs | AINFs | ARENI | AINFI | Renouvellement d'air total |
|-------------|----------|---------|----------|----------|----------------------------|
| 120,92 m3/h | 270,87 W | 97,22 W | 323,82 W | 116,22 W | 808,13 W |

5. Puissance de chauffage :

Tableau 23 : Puissance de chauffage

| Cin : Coefficient de surpuissance | Cr : Coefficient des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries éventuel | Puissance de chauffage |
|-----------------------------------|---|------------------------|
| 0,10 | 0,00 | 4,2 kW |

6. Puissance de climatisation :

Tableau 24 : Puissance de climatisation

| Nombre d'occupants | Puissance d'éclairage | Autres puissances dégagées | Puissance de Climatisation |
|--------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|
| 5,00 | 300,00 | 0,00 | 3,1 kW |

7. Synthèse de l'appartement :

Tableau 25 : Synthèse de l'appartement

| Nom de l'enveloppe | Usage | Conformité Hiver C-3.2 | Conformité Été C-3.4 |
|--------------------|------------|------------------------|----------------------|
| logement | habitation | Conforme | Conforme |

Interprétation des résultats :

Les données collectées de la simulation de la première solution, montrent que les valeurs obtenues de la Déperdition Thermique sont inférieures à 1.05 fois la Déperdition de référence ($DT > 1.05 \times D_{réf}$) et que celles de la somme des apports calorifiques des parois opaques sur 15 heures de temps et des parois vitrées pour la même période sont également inférieures à 1.05 x les apports de référence ($APO(15\text{ h}) + AV(15\text{ h}) > 1.05 \cdot A_{réf}(15\text{ h})$). Les résultats obtenus selon la période de l'année sont comme suit :

Tableau 26 : Les résultats obtenus de la simulation (deuxième solution)

| Résultats de la simulation | Vérification de la prescription de la réglementation Algérienne | Conformité |
|---|---|--|
| $DT = 158.91 \text{ (W/°C)}$ | $D_{réf} = 311.35 \text{ (W/°C)}$ $1.05 \times D_{réf} = 326.92 \text{ (W/°C)}$ | Conforme $DT < 1.05 \times D_{réf}$ |
| $APO(15\text{ h}) = 1081.62 + 886.25 = 1967.87 \text{ (W)}$ | $A_{réf}(15\text{ h}) = 2384.33 + 269.31 = 2653.64 \text{ (W)}$ $1.05 \times A_{réf}(15\text{ h}) = 2786.32 \text{ (W)}$ | conforme $APO(15\text{ h}) + AV(15\text{ h}) < 1.05 \cdot A_{réf}(15\text{ h})$ |

En conclusion, nous pouvons déduire que l'appartement modèle utilisé dans notre étude est conforme avec la réglementation thermique Algérienne prescrite dans les Documents Techniques Règlementaire DTR C3-2 et DTR C3-4.

V. Analyse et discussion des résultats des simulations

Les résultats obtenus à partir de la simulation sur l'application RETA des trois cas de figures, à savoir le cas classique et les deux solutions proposées, ont été reproduits sur une feuille Excel pour servir à tracer les graphes présentées ci-après, et ce afin de juger de l'efficacité des solutions et de la distribution des pertes thermiques (DT) et des apports calorifiques (APO), au niveau de chaque élément de la résidence considéré dans notre étude.

1. Efficacité des solutions proposées

Dans le cadre de notre étude et afin de juger de l'efficacité des solutions proposées, nous avons calculé les pertes thermiques (DT) et les apports calorifiques (APO), pour chacune des deux solutions, en prenant comme référence le cas classique. Les résultats sont rapportés sur le tableau suivant et les données sont utilisées pour tracer des histogrammes qui nous permettent de faire ressortir l'impact de l'implémentation des solutions d'isolation des éléments de construction de la résidence étudiée.

| | DT | APO |
|---------------------------------------|--------|---------|
| Cas classique | 439,62 | 3020,72 |
| Isolation de la toiture | 256,26 | 1910,06 |
| Isolation de la toiture et des parois | 158,97 | 1081,62 |

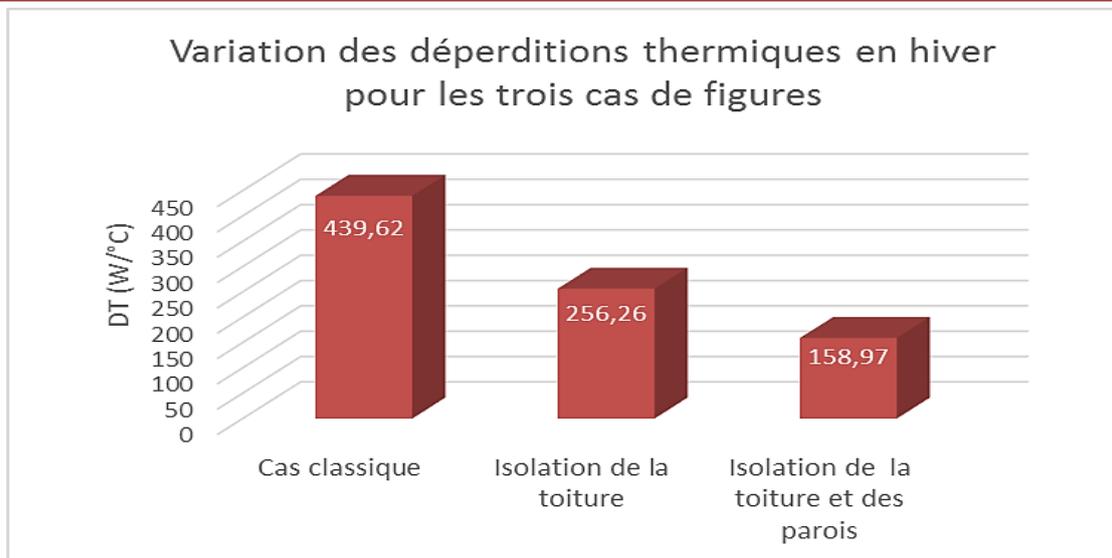


Figure 16 : Distribution pour chaque cas de figure, de la déperdition thermique (DT) en hiver

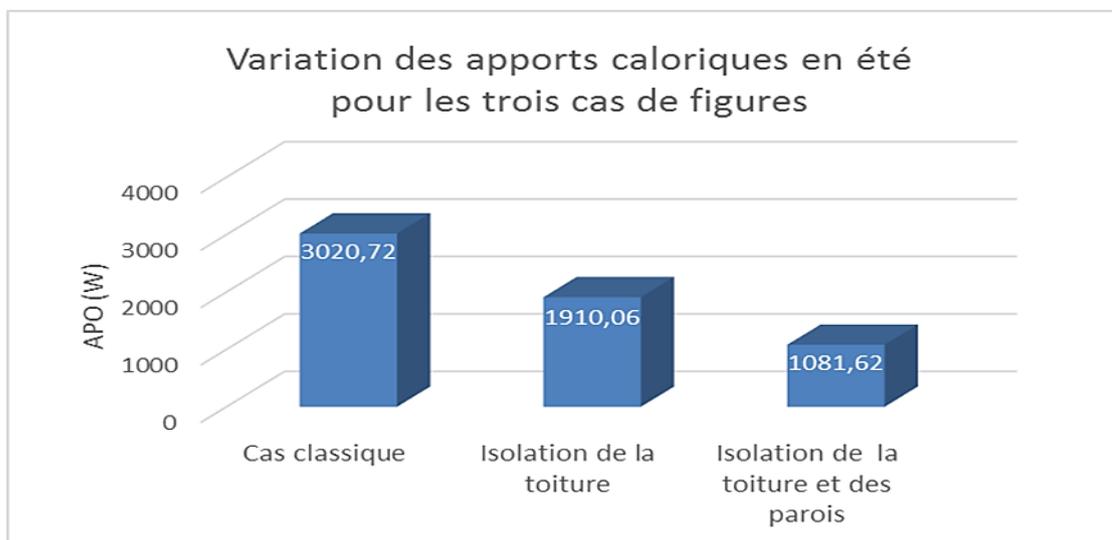


Figure 17 : Distribution pour chaque cas de figure, des apports calorifiques (APO) en été

Discussion des résultats :

Les graphes ci-dessus, représentent sous forme d'histogrammes les distributions des déperditions thermiques et des apports calorifiques de la résidence étudiée, et ce pour les trois cas de figures considérés. Il en ressort les faits suivants :

- L'isolation des éléments de construction de la résidence entraîne une réduction remarquable des déperditions thermiques et des apports calorifiques, c'est notamment le cas de la solution 2 ;
- La solution 2 qui consiste à isoler la toiture et les parois de la résidence a pour effet de réduire respectivement les déperditions thermiques en période d'hiver et les apports

calorique total en été, de 280.64 (W/°C) et 1939.1 (W) par rapport au cas classique et de 97.29 (W/°C) et 828.44 (W) par rapport à la solution 1 qui comprend seulement l'isolation de la toiture.

2. Distribution au niveau des éléments de construction des DT et des APO :

Dans cette partie nous avons rapporté sur le tableau ci-après, pour les trois cas de figure, les résultats des calculs des pertes thermiques (DT) et des apports calorifiques (APO), pour chaque élément de construction de la résidence. Les données ont servi à tracer des graphes qui nous permettent d'apprécier l'impact des solutions à travers l'évolution des pertes et des apports au niveau des éléments individuels de construction de la résidence étudiée.

Tableau 27 : les résultats des calculs des pertes thermiques et des apports calorifique

| Éléments de construction de la résidence | Cas classique aucune isolation | | Première solution Isolation de la toiture | | Deuxième solution Isolation des parois et de la toiture | |
|--|-----------------------------------|--------|---|--------|---|--------|
| | DT | APO | DT | APO | DT | APO |
| Paroi SUD 1 | 13,07 | 133,61 | 13,07 | 133,61 | 5,87 | 58,8 |
| Paroi OUEST 1 | 57,65 | 533,91 | 57,65 | 533,91 | 25,9 | 234,95 |
| Paroi SUD 2 | 19,45 | 198,85 | 19,45 | 198,85 | 8,74 | 87,5 |
| Paroi OUEST 2 | 35,64 | 330,13 | 35,63 | 330,13 | 16,01 | 145,28 |
| Paroi NORD | 22,31 | 94,95 | 22,31 | 94,95 | 10,02 | 41,79 |
| Paroi SDB/WC | 7,7 | 32,78 | 7,7 | 32,78 | 3,46 | 14,42 |
| Paroi NORD 2 | 13,07 | 55,62 | 13,07 | 55,62 | 5,87 | 24,48 |
| Paroi EST 1 | 8,34 | 56,21 | 8,34 | 55,21 | 4,06 | 27,21 |
| Paroi EST 2 | 0 | 51,98 | 0 | 51,98 | 0 | 25,17 |
| TOITURE | 214,99 | 1332,9 | 31,63 | 222,23 | 31,63 | 222,23 |

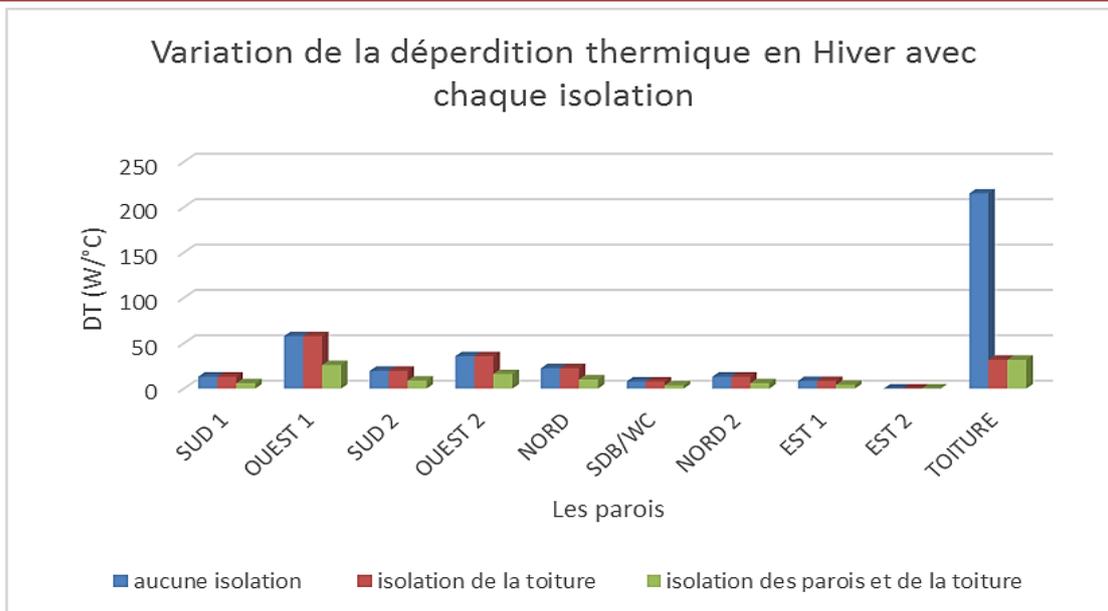


Figure 18 : Distribution pour chaque cas de figure, de la déperdition thermique (DT) en hiver en fonction des éléments de la construction de la résidence.

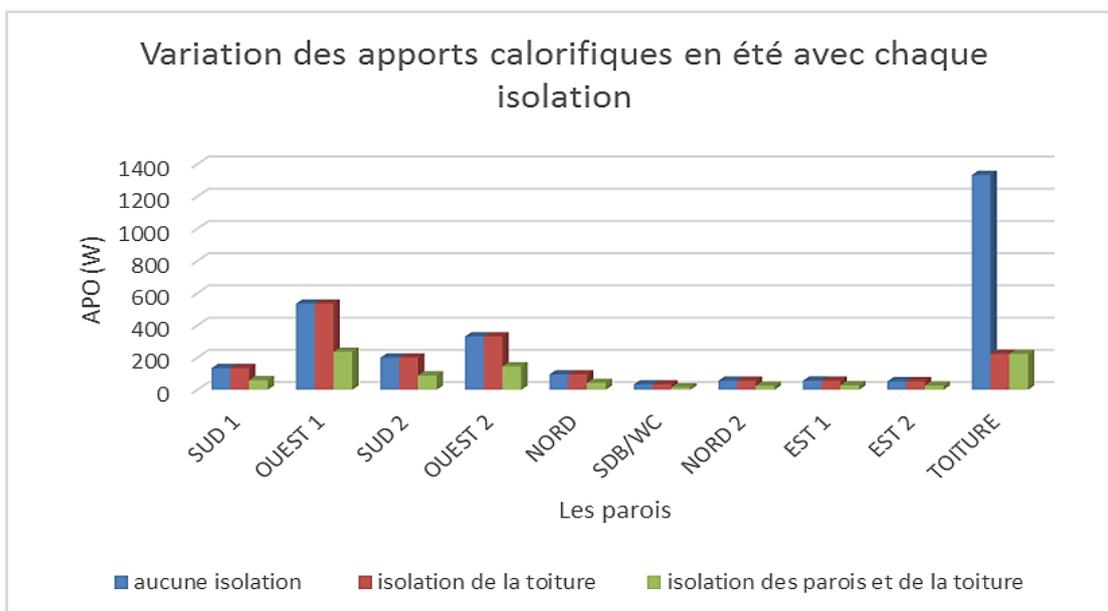


Figure 19 : Distribution pour chaque cas de figure, des apports calorifiques (APO) en été en fonction des éléments de la construction de la résidence.

Discussion des résultats :

Les graphes ci-dessus, représentent sous forme d’histogrammes respectivement la distribution de la déperdition thermique et de l’apport calorifique en fonction au niveau des différents éléments de construction de la résidence étudiée, et ce pour les trois cas de figures considérés, à savoir : le cas classique, la solution d’isolation de la toiture et l’option isolation de la toiture et des parois de la résidence.

Les principaux constats et informations qui se dégagent de la représentation graphique des résultats de la simulation sont les suivantes :

- En hiver comme en été, l'impact de l'isolation des éléments de construction de la résidence, nommant la toiture, sur les déperditions thermiques et les apports calorifiques, est important ;
- L'isolation de la toiture seule n'a aucun effet sur les déperditions thermiques et les apports calorifiques au niveau des parois de la résidence ;
- L'isolation des parois de la résidence en plus de la toiture, produit un gain significative ;
- En hiver comme en été, la toiture et les parois orientée ouest (1 et 2), sont les deux éléments de construction de la résidence qui ont la plus faible résistance aux pertes thermique en hiver et aux apports calorique en été ;
- L'isolation de la toiture a engendré une diminution significative des déperditions thermique en hiver et des apports calorifiques en été, d'une quantité respective de 183.36 (W/°C) et de 1110.67 (W) ;
- L'isolation de la paroi orientée ouest 1 a occasionné des baisses respectives de 31.75 (W/°C) et de 298.96 (W), relatives aux déperditions thermique en hiver et aux apports calorique en été.

3. Evaluation des besoins énergétiques :

L'objective de cette partie de l'étude technique est d'analyser les conséquences de l'application des deux solutions sur la besoins énergétique de la résidence étudiée, et ce dans les trois cas de figure considérés. Les données de la puissance de chauffage et de climatisation calculées sont présentées ans le tableau et les graphes suivants :

| | Puissance de chauffage [kW] | Puissance de climatisation [kW] |
|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Cas classique | 9,80 | 5,00 |
| Isolation de la toiture | 6,10 | 3,89 |
| Isolation de la toiture et des parois | 4,20 | 3,06 |

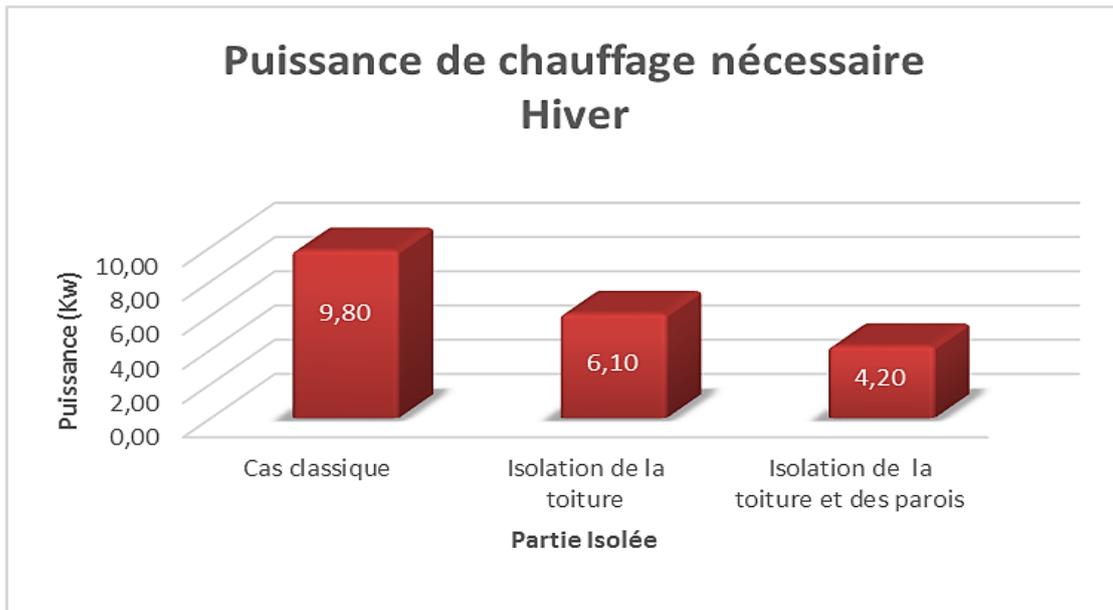


Figure 20 : Puissance de chauffage nécessaire en Hiver

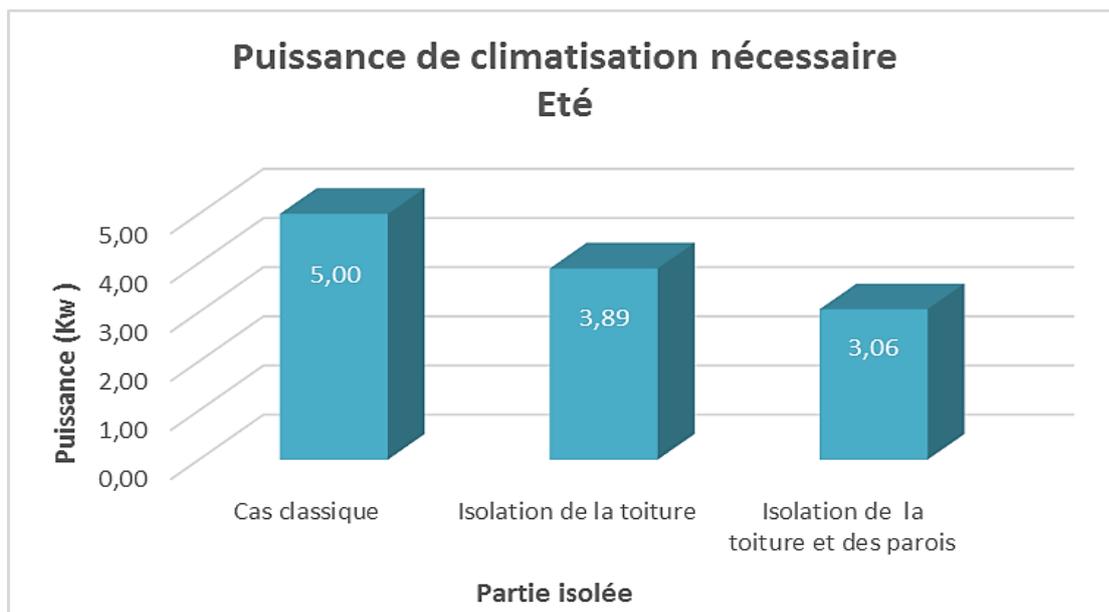


Figure 21 : Puissance de climatisation en Eté

Discussion des résultats :

Les graphes ci-dessus, fournissent une image comparative des besoins énergétiques, selon le cas de figure, de la résidence étudiée, pour le chauffage en hiver et la climatisation en été de la résidence étudiée. Les données obtenues des simulations ont révélé ce qui suit :

- L'application de la solution 2, qui consiste à isoler tous les éléments de construction de la résidence, induit une diminution de 1.6 KW et de 5.6 KW de la puissance de chauffage nécessaire en hiver, et ce par rapport respectivement à la solution 1 (isolation de la toiture seulement) et au cas classique. Cela correspond à une réduction de 31% et de 57% des besoins énergétiques pour le chauffage de la résidence en hiver ;
- L'application de la solution 2, qui consiste à isoler tous les éléments de construction de la résidence, engendre une diminution de 0.83 KW et de 1.94 kW de la puissance de climatisation nécessaire en été, et ce par rapport respectivement à la solution 1 (isolation de la toiture seulement) et au cas classique. Cela correspond à une réduction de 21% et de 39% des besoins énergétiques pour la climatisation de la résidence en été.

VI. Conclusion

L'étude technique conduite dans le cadre du projet de mise en conformité avec la Réglementation Thermique Algérienne de la résidence modèle choisie, a été réalisée sur la base de la proposition de deux solutions, à savoir l'isolation de la toiture seule et l'isolation de tous les éléments de construction de la résidence. L'analyse des résultats obtenus à partir des simulations effectuées sur l'application RETA et des données des calculs effectuées ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- En hiver comme en été, l'impact de l'isolation des éléments de construction de la résidence, nommant la toiture, sur les déperditions thermiques et les apports calorifiques, est important ;
- L'application de la solution 2 qui consiste à isoler tous les éléments de construction de la résidence choisie, est à même de mettre en conformité la résidence avec la Réglementation Thermique Algérienne ;
- L'application de la solution 2 a pour effet de réduire respectivement les déperditions thermiques en période d'hiver et les apports calorique total en été, de 280.64 (W/°C) et 1939.1 (W) par rapport au cas classique et de 97.29 (W/°C) et 828.44 (W) par rapport à la solution 1 qui comprend seulement l'isolation de la toiture.
- L'isolation de la toiture engendre une diminution significative des déperditions thermique en hiver et des apports calorifiques en été, d'une quantité respective de 183.36 (W/°C) et de 1110.67 (W) ;

- L'isolation de la paroi orientée ouest 1 occasionne des baisses respectives de 31.75 (W/°C) et de 298.96 (W), relatives aux déperditions thermique en hiver et aux apports calorique en été.
- L'application de la solution 2 induit une diminution de 5.6 kW de la puissance de chauffage nécessaire en hiver et de 1.94 kW de la puissance de climatisation nécessaire en été, et ce par rapport au cas classique. Cela correspond à une réduction de 57% et de 39% des besoins énergétiques pour assurer respectivement le chauffage en hiver et la climatisation en été de la résidence considérée.

Impact économique

L'aspect économique afférent à l'énergie est devenu un paramètre important et un critère incontournable dans le choix des technologies et/ou la mise en œuvre d'actions, visant à rationaliser le déploiement de sources de génération d'énergie et sa consommation. Il devient de ce fait important de calculer et de tenir compte des coûts occasionnés et aux gains générés par les projets, pour servir de moyen de prise de décision et de gestion des budgets alloués, et ce pour les états comme pour les simples consommateurs ménagers en passant par les secteurs industriels qui peuvent jouer le rôle de producteurs et/ou de consommateurs de cette énergie.

A ce titre, nous avons considéré dans notre travail, les aspects financiers relatifs aux solutions techniques que nous avons proposées dans la section précédente. En effet, nous avons calculé pour les deux solutions les coûts d'implémentation, les gains énergétiques et financiers, la durée d'amortissement de l'investissement pour leur mise en œuvre et enfin la viabilité financière des solutions. Pour ce faire nous avons arrêté les hypothèses et les choix présentés ci-après, afin de faciliter les calculs tout en s'assurant de la rigueur de l'approche adoptée.

I. Hypothèses et base de calcul

Les calculs et les simulations conduits dans le cadre de cette étude ont été effectués sur la base des données techniques et des hypothèses présentées ci-après :

1. Unités et facteurs de conversions

Les unités et facteurs de conversion utilisés dans nos calculs sont les suivantes :

- 1 Kilowatt heures = 0.859845 Thermie ;
- Facteur de conversion kWh en thermies : 1,1630.

2. Données techniques et hypothèses

Les données techniques utilisées dans cette étude sont récapitulées dans les tableaux suivants :

- La simulation effectuée sur 15 jours (hiver et été) en utilisant l'application RETA est extrapolée sur une durée de 3 mois pour chaque saison ;
- La saison d'été est considérée s'étendre du 1^{er} juin au 31 août, totalisant 90 jours ;
- La saison d'hiver est considérée s'étendre du 1^{er} décembre au 28 février, totalisant 90 jours ;
- La durée de climatisation en été de la résidence est de 16 h / jour ;
- Le chauffage en hiver de la résidence est continu, 24 h / jour ;
- Les températures durant les saisons printemps et hiver sont considérées proches des températures confortables, il n'y a donc pas nécessité de chauffer ou de climatiser la résidence ;
- Les puissances de chauffage et de climatisation, calculées avec l'application RETA, prennent en considération la totalité des déperditions thermiques et des apports thermiques ;
- Le type, les spécifications techniques et le dimensionnement des systèmes de chauffage et de climatisation ne sont pas considérés dans les calculs ;
- Les dimensions des parois et de la toiture ont été extraites du plan de masse de la résidence, ces données ont servi au calcul des surfaces correspondantes ;
- La durée de vie utile de l'isolation appliquée dans le cadre de l'implémentation des solutions proposées 1 et 2 varie de 25 à 30 ans. Ces périodes sont utilisées dans les simulations des Valeurs Actuelles nettes (VAN) des projets en fonction des taux d'actualisation appliqués.

1. Outils de calcul et de simulation

Les outils en ligne suivant ont été utilisés pour l'évaluation des coûts relatifs à la mise en œuvre des solutions proposées et de la consommation énergétique correspondante :

- Le logiciel pour l'Architecture et l'Ingénierie de la Construction de CYPE Ingenieros, S.A., et plus particulièrement le module « Générateur de Prix. Réhabilitation. Algérie », pour

évaluer les coûts de l'implémentation des solutions, à travers le lien :

<http://www.cype.fr> ;

- Le simulateur de facture de la Commission de Régulation de l'Electricité et du Gaz (CREG) accessible à travers le lien : <http://www.creg.dz/facture/form.php> , pour calculer le coût de l'énergie électrique utilisée pour la climatisation en été et celui du gaz utilisé pour le chauffage en hiver.

II. Calcul des coûts d'implémentation des solutions proposées

Les coûts d'implémentation de chaque solution ont été estimés en utilisant les données en ligne de CYPE Ingenieros, S.A., dont un modèle est présenté sur le graphe et les tableaux suivants :

Code système

| Code système | Désignation | Quantité | Unité | Prix unitaire | Prix total |
|--------------|---|----------|----------------|---------------|------------|
| mt16a0110 | Panneau rigide en polystyrène extrudé, selon NF EN 13164, à surface lisse et usinage latéral à demi-bois, de 50 mm d'épaisseur, résistance à la compression >= 300 kPa, résistance thermique 1,5 m ² K/W, conductivité thermique 0,034 W/(m.K), Euroclass E de réaction au feu, avec code de désignation XPS-EN 13164-T1-CS10-4-300-DL7,2,5-D35-TH-VL, T 0 7...PT2 | 1,952 | m ² | 722,63 | 1,410 |
| mt16a040 | Régénération d'adhésif-ciment pour la fixation, par bouillottes, des panneaux isolants sur les parois verticales | 0,330 | m | 195,00 | 64,35 |
| mt16a0100 | Profilé en tôle courbe en acier peint, de 0,8 mm d'épaisseur et 15 mm de largeur, pour ancrer et protéger des bords des panneaux d'isolation thermique | 0,147 | m | 404,10 | 59,40 |
| m0154 | Campagne professionnelle (MCP) poseur d'isolants rigides ou feibles | 0,147 | h | 207,87 | 30,37 |
| m0101 | Ouvrier professionnel (OOP) poseur d'isolants rigides ou feibles | 2,000 | % | 951,39 | 19,03 |

Coût d'entretien prévisionnel: 50,00€ les 10 premières années.

Montant total HT: 1,601,02€

UNITÉ D'OUVRAGE EIM010: ISOLATION PAR L'EXTÉRIEUR DES MURS EN CONTACT AVEC LE TERRAIN, AVEC DU POLYSTYRÈNE EXTRUDÉ.

CLAUSES TECHNIQUES
Fourniture et mise en place d'une isolation thermique à l'extérieur des murs en contact avec le terrain, constituée de panneau rigide en polystyrène extrudé, à surface lisse et usinage latéral à demi-bois, de 50 mm d'épaisseur, résistance à la compression >= 300 kPa, résistance thermique 1,5 m²K/W, conductivité thermique 0,034 W/(m.K), lisse avec un adhésif-ciment sur l'anneau du mur, préparée pour recevoir le remplissage avec un matériau de drainage (non compris dans ce prix). Comprend la préparation de la surface support, les découpes et l'exécution de l'arrêt géométrique de protection via un profilé métallique en tôle d'acier galvanisé installé en tête des panneaux isolants.

CRITÈRE POUR LE MÈTRE
Surface mesurée selon documentation graphique du Projet.

Figure 22 : Devis des travaux d'isolation par feuilles de polystyrène extrudées - Site web de CYPE Ingenieros, S.A. – Algérie

Le tableau suivant présente le devis matériaux et main d'œuvre par m² de panneau polystyrène 10 cm, pour l'isolation de la toiture :

Tableau 28 : le devis matériaux et main d'œuvre par m² de panneau polystyrène 10 cm

| Désignation | Matériaux (DA/m ²) | Main d'œuvre (DA/h) | Total |
|--|--------------------------------|---------------------|----------------|
| Panneau rigide en polystyrène extrudé, selon NF EN 13164, à surface lisse et usinage latéral à demi-bois, de 100 mm d'épaisseur, résistance à la compression \geq 300 kPa, résistance thermique 2,8 m ² K/W, conductivité thermique 0,036 W/(mK), Euroclasse E de réaction au feu, avec code de désignation XPS-EN 13164-T1-CS(10/4)300-DLT(2)5-DS(TH)-WL(T)0,7--FT2. | 1445,86 | | 1445,86 |
| Répercussion d'adhésif cimenteux pour la fixation, par truellées, des panneaux isolants sur les parements verticaux. | 56,35 | | 56,35 |
| Profilé en tôle courbe en acier prélaqué, de 0,6 mm d'épaisseur et 15 mm de largeur, pour arrêt et protection des bords des panneaux d'isolation thermique. | 64,56 | | 64,56 |
| Compagnon professionnel III/CP2 poseur d'isolants rigides ou flexibles. | | 59,40 | 59,40 |
| Ouvrier professionnel II/OP poseur d'isolants rigides ou flexibles. | | 42,32 | 42,32 |
| Coûts directs complémentaires | 33,37 | | 33,37 |
| Totaux | 1600,14 | 101,72 | 1701,86 |

Le tableau suivant présente le devis matériaux et main d'œuvre par m² de panneau polystyrène 5 cm, pour l'isolation des parois de la résidence :

Tableau 29 : le devis matériaux et main d'œuvre par m² de panneau polystyrène 5 cm

| Désignation | Matériaux (DA/m ²) | Main d'œuvre (DA/h) | Total |
|---|--------------------------------|---------------------|---------------|
| Panneau rigide en polystyrène extrudé, selon NF EN 13164, à surface lisse et usinage latéral à demi-bois, de 50 mm d'épaisseur, résistance à la compression ≥ 300 kPa, résistance thermique 1,5 m ² K/W, conductivité thermique 0,034 W/(mK), Euroclasse E de réaction au feu, avec code de désignation XPS-EN 13164-T1-CS(10/4)300-DLT(2)5-DS(TH)-WL(T)0,7--FT2. | 722,63 | | 722,63 |
| Répercussion d'adhésif cimenteux pour la fixation, par truellées, des panneaux isolants sur les parements verticaux. | 56,35 | | 56,35 |
| Profilé en tôle courbe en acier prélaqué, de 0,6 mm d'épaisseur et 15 mm de largeur, pour arrêt et protection des bords des panneaux d'isolation thermique. | 0,33 | | 0,33 |
| Compagnon professionnel III/CP2 poseur d'isolants rigides ou flexibles. | | 59,40 | 59,40 |
| Ouvrier professionnel II/OP poseur d'isolants rigides ou flexibles. | | 42,32 | 42,32 |
| Coûts directs complémentaires | 17,62 | | 17,62 |
| Totaux | 796,93 | 101,72 | 898,65 |

Le calcul des coûts d'implémentation des solutions proposées, à savoir la solution 1 qui consiste à isoler seulement la toiture et la solution 2 qui comprend l'isolation de la toiture et des parois de la résidence, a été effectué en appliquant les coûts unitaires (par m² de panneau d'isolation) présentés ci-dessus, aux surfaces à isoler de la résidence. Les données utilisées et calculées sont rapportées sur le tableau suivant :

Tableau 30 : Calcul des coûts d'implémentation des solutions proposées

| | Surface à isoler (m ²) | Epaisseur panneau (cm) | Coût unitaire matériaux (DA) | Coût unitaire main d'œuvre (DA/m ²) | Coût isolation surface (DA/m ²) |
|---------------|------------------------------------|------------------------|------------------------------|---|---|
| Paroi SUD 1 | 8,91 | 5 | 796,93 | 101,72 | 8 006,98 |
| Paroi OUEST 1 | 39,3 | 5 | 796,93 | 101,72 | 35 316,97 |
| Paroi SUD 2 | 13,26 | 5 | 796,93 | 101,72 | 11 916,11 |
| Paroi OUEST 2 | 24,3 | 5 | 796,93 | 101,72 | 21 837,21 |
| Paroi NORD | 15,21 | 5 | 796,93 | 101,72 | 13 668,48 |
| Paroi SDB/WC | 5,25 | 5 | 796,93 | 101,72 | 4 717,92 |
| Paroi NORD 2 | 8,91 | 5 | 796,93 | 101,72 | 8 006,98 |
| Paroi EST 1 | 12,66 | 5 | 796,93 | 101,72 | 11 376,92 |
| Paroi EST 2 | 6,69 | 5 | 796,93 | 101,72 | 6 011,97 |
| TOITURE | 67,18 | 10 | 1 600,14 | 101,72 | 114 330,94 |

| | |
|--------------------------|-------------------|
| Total Solution 1: | 114 330,94 |
|--------------------------|-------------------|

| | |
|--------------------------|-------------------|
| Total Solution 2: | 235 190,46 |
|--------------------------|-------------------|

L'investissement initial pour l'implémentation des solutions proposées est de 114 330,94 DA pour la solution 1 et de 235 190,46 DA pour la solution 2. Ces données sont utilisées dans les calculs de l'amortissement et dans l'évaluation de la viabilité financière des solutions.

III. Coûts et gains énergétiques

Dans cette section nous avons calculé la consommation d'énergie pour couvrir les puissances de climatisation et de chauffage de la résidence, obtenues à travers les simulations conduites sur l'application RETA, et ce dans les différents cas de figures (classique et avec isolation).

1. Climatisation :

Le tableau suivant résume les paramètres d'intérêt calculés avec l'application RETA et décrit l'approche adoptée pour calculer la consommation d'énergie de la résidence selon les

L’outil en ligne de la CREG affiche les coûts relatifs à la consommation d’énergie calculée pour chaque tranche de consommation énergétique, et ce conformément à la décision de la Commission de Régulation de l’Electricité et du Gaz, n° D/22-15 du 19 décembre 2015, portant fixation des tarifs de l’électricité et du gaz. Le coût total hors taxes et autres frais relatifs à la consommation d’énergie de la résidence pour chaque cas de figure est calculé par l’application (voir graphe suivant) et rapporté par nos soins sur le tableau présenté plus haut, et ce afin de comparer les couts et les gains réalisés à travers l’implémentation des différentes solutions.

Estimer votre facture 

Calcul de votre facture :

Calcul réalisé le 26-09-2017 selon les tarifs d'électricité et du gaz applicables à compter du 01 janvier 2016 (voir décision D-22-15/CD du 19 DEC. 2015)

Type d'énergie : Electricité
 Consommation d'électricité : 7200 kWh
 Wilaya : MOSTAGANEM
 Commune : TAZGAIT
 PABD : 6 kW
 Périodicité : Trimestrielle

| Code tarif | 1er tranche | | 2eme tranche | | 3eme tranche | | 4eme tranche | | Prime Fixe (DA) | |
|-------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------|-----------------|------|
| | Consommation (kWh) | Prix Unitaire (c/DA) | | |
| Electricité | 54 M | 125 | 177,87 | 125 | 417,89 | 750 | 481,20 | 6200 | 547,96 | 78,7 |

| | Montant Hors taxe (DA) | TVA (*) | | Montant TTC (DA) |
|--|------------------------|----------|-----------------|---------------------|
| | | Taux (%) | Montant (DA) | |
| Montant 1ere Tranche Electricité | 222,36 | 9 % | 20,01 | 242,37 |
| Montant 2eme Tranche Electricité | 522,28 | 9 % | 47,01 | 569,28 |
| Montant 3eme Tranche Electricité | 3 609,00 | 19 % | 685,73 | 4 294,71 |
| Montant 4eme Tranche Electricité | 33 973,52 | 19 % | 6 454,97 | 40 428,49 |
| Montant Electricité hors prime fixe | 38 327,15 | | 7 207,70 | 45 534,85 |
| Prime Fixe Electricité | 78,7 | 9 % | 7,08 | 85,74 |
| Montant total Electricité + Prime Fixe | 38 405,81 | | 7 214,78 | 45 620,59 |
| Droit Fixe (*) | 100 | | | 100 |
| Taxe d'habitation (*) | 75 | | | 75 |
| Montant TTC | 38 580,81 | | 7 214,78 | 45 795,59 |
| Droit de Timbre (*) | 458 | | | 458 |
| Montant Total à payer pour ce trimestre selon la nouvelle tarification en vigueur depuis le 01/01/2016: | | | | 46 253,59 DA |

Figure 24 : Page de résultats des calculs du coût de la consommation (facture client) de l’outil en ligne de pour le cas classique

2. Chauffage :

Les mêmes approches et outils de calcul ont été utilisés, pour chaque cas de figure, et ce afin de calculer les coûts relatifs à la consommation d’énergie pour le chauffage de la résidence en hiver, avec la seule différence que la consommation d’énergie, pour simuler la facture client est convertie en Thermies (facteur de conversion 0,859845).

Tableau 32 : calcul des coûts relatifs à la consommation d'énergie pour le chauffage

| | Puissance Chauffage (kW) | Utilisation 3 mois 24h/jour (h) | Consommation énergie (kWh) | Consommation énergie (Thermies) | *Coût énergie HT (DA) | Gains sur coûts de l'énergie (DA) | Gains sur coûts de l'énergie (%) |
|---------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| | | | | | **0,859845 | | |
| Cas classique | 9,8 | 2160 | 21 168 | 18 201,20 | 7 655 | 0 | 0% |
| Isolation de la toiture | 6,1 | 2160 | 13 176 | 11 329,32 | 4 494 | 3 160 | 41% |
| Isolation de la toiture et des parois | 4,2 | 2160 | 9 072 | 7 800,51 | 2 872 | 4 783 | 62% |

*Calculé avec le simulateur de facture client de la Commission de Régulation de l'Electricité et du Gaz (CREG)

**Facteur de conversion kWh – Thermies

Figure 25 : Page de calcul de l'outil en ligne de simulation de la facture du consommateur

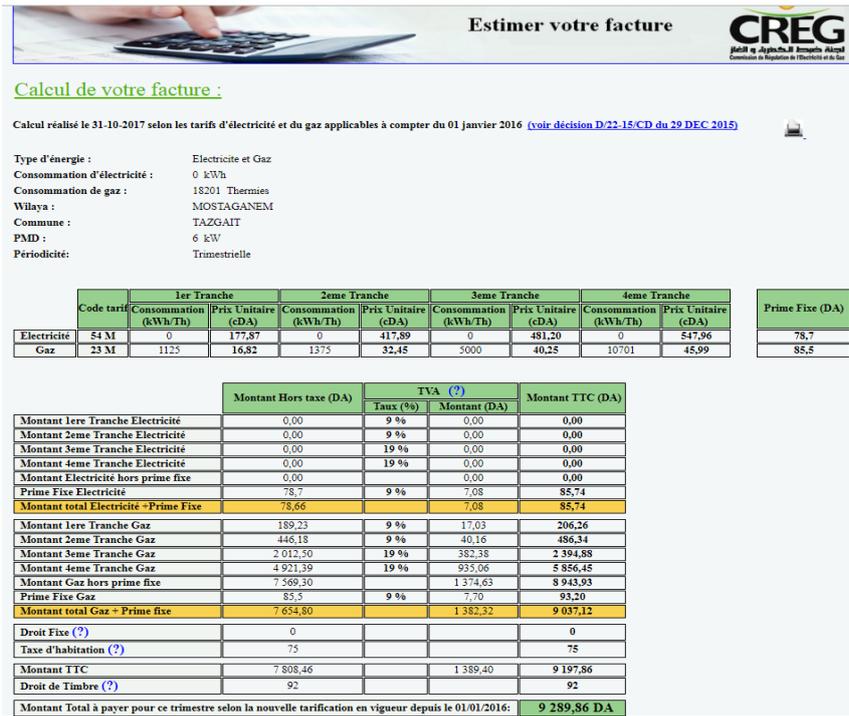


Figure 26 : Page de résultats des calculs du coût de la consommation (facture client) de l'outil en ligne de pour le cas classique

IV. Viabilité financière des solutions

La viabilité financière d'un projet qui implique un investissement en capital est évaluée à travers de multiples indicateurs financiers. Nous avons choisi pour les fins de notre étude d'utiliser la période d'amortissement de l'investissement et la Valeur Actuelle Net (VAN), pour juger de la viabilité financière des deux solutions proposées.

1. Amortissement de l'investissement :

Le calcul du nombre d'années nécessaires pour l'amortissement de l'investissement engagé pour l'implémentation de chaque solution est le résultat du rapport de. Il est calculé pour chaque solution selon la formule suivante :

$$A_{\text{Solution}} = \frac{\text{Investissement requis pour chaque solution}}{\sum \text{Total gains sur coûts de l'énergie}}$$

Tableau 33 : calcul du nombre d'années nécessaires pour l'amortissement de l'investissement

| | Investissement requis pour chaque solution (DA) | Climatisation | | Chauffage | | **Total Gains sur coûts de l'énergie (DA) | Période Amortissement (Années) |
|---------------------------------------|---|------------------------|-----------------------------------|------------------------|-----------------------------------|---|--------------------------------|
| | | *Coûts énergie HT (DA) | Gains sur coûts de l'énergie (DA) | *Coûts énergie HT (DA) | Gains sur coûts de l'énergie (DA) | | |
| Cas classique | 0 | 38 405,81 | 0 | 7 655 | 0 | 0 | 0 |
| Isolation de la toiture | 114 330,94 | 29 649,41 | 8 756 | 4 494 | 3 160 | 11 917 | 9,59 |
| Isolation de la toiture et des parois | 235 190,46 | 23 095,81 | 15 310 | 2 872 | 4 783 | 20 093 | 11,71 |

* Calculé avec le simulateur de facture client de la Commission de Régulation de l'Electricité et du Gaz (CREG).

**Représente la somme des gains réalisés avec l'implémentation de chaque solution (somme des gains sur coûts de l'énergie).

Les résultats des calculs rapportés sur le tableau ci-dessus, montrent que pour la mise en œuvre des solutions 1 et 2, il est nécessaire de déboursier 11 917 et 20 093, qui seront amortis respectivement sur des périodes de 9,6 années et 11,7 années.

2. Valeur Actuelle Nette et scenarios de taux d'actualisation :

La « Valeur Actuelle Nette » (VAN) des montants investis et gagnés sous forme d'économies sur la facture de l'énergie utilisée pour la climatisation et le chauffage de la résidence, sont calculés dans la réalité en tenant compte de la « Valeur Temporelle de l'Argent ». Cette dernière permet de donner à chaque montant (investissement ou gain) sa valeur réelle au moment présent (t0), en divisant chaque montant sur le taux d'actualisation à la puissance de la période (année) d'occurrence. La (VAN) est calculée pour chaque solution selon la formule suivante :

$$VAN_{Solution} = -Investissement\ de\ mise\ en\ oeuvre + \sum_{t=1}^t \frac{Total\ Gains\ sur\ coûts\ de\ l'énergie_{Solution}}{(1+r)^t}$$

VAN_{Solution} = Valeur Actuelle Nette du projet d'implémentation de la solution, en (DA) ;

r = Taux d'actualisation appliqué en (%), ce taux varie de 6% - 10% dans les scenarios simulés dans notre étude ;

t = Période d'occurrence du flux monétaire (gains réalisés en économie d'énergie), en (Année) ;

Les données et les résultats des calculs rapportés sur les tableaux et les graphes suivants, ont été effectués en utilisant les investissements et les flux monétaires issus des gains en couts de l'énergie actualisés à leurs périodes d'occurrence, propres à chaque solution, en faisant varier de 6% à 10% les taux d'actualisation des montants et la durée de vie utile du produit de l'investissement (isolation des parois de la résidence et/ou sa toiture).

Solution 1 :

Tableau 34 : Calcul de la Valeur Actuelle Nette du projet d'implémentation de la solution 1

| Durée de vie (Années) \ Taux | $VAN_{\text{Solution 1 - 10\%}}$ (DA) | $VAN_{\text{Solution 1 - 8\%}}$ (DA) | $VAN_{\text{Solution 1 - 7\%}}$ (DA) | $VAN_{\text{Solution 1 - 6\%}}$ (DA) |
|---------------------------------|--|---|---|---|
| 10 | -41 105,95 | -34 366,70 | -36 688,72 | -40 328,64 |
| 15 | -23 689,06 | -12 327,38 | -10 110,94 | -8 833,25 |
| 20 | -12 874,55 | 2 672,22 | 8 838,66 | 14 701,93 |
| 25 | -6 159,58 | 12 880,69 | 22 349,46 | 32 288,80 |
| 30 | -1 990,12 | 19 828,40 | 31 982,47 | 45 430,72 |
| 35 | 598,79 | 24 556,90 | 38 850,67 | 55 251,13 |
| 40 | 2 206,30 | 27 775,03 | 43 747,61 | 62 589,51 |
| 45 | 3 204,44 | 29 965,24 | 47 239,06 | 68 073,18 |
| 50 | 3 824,20 | 31 455,86 | 49 728,41 | 72 170,90 |

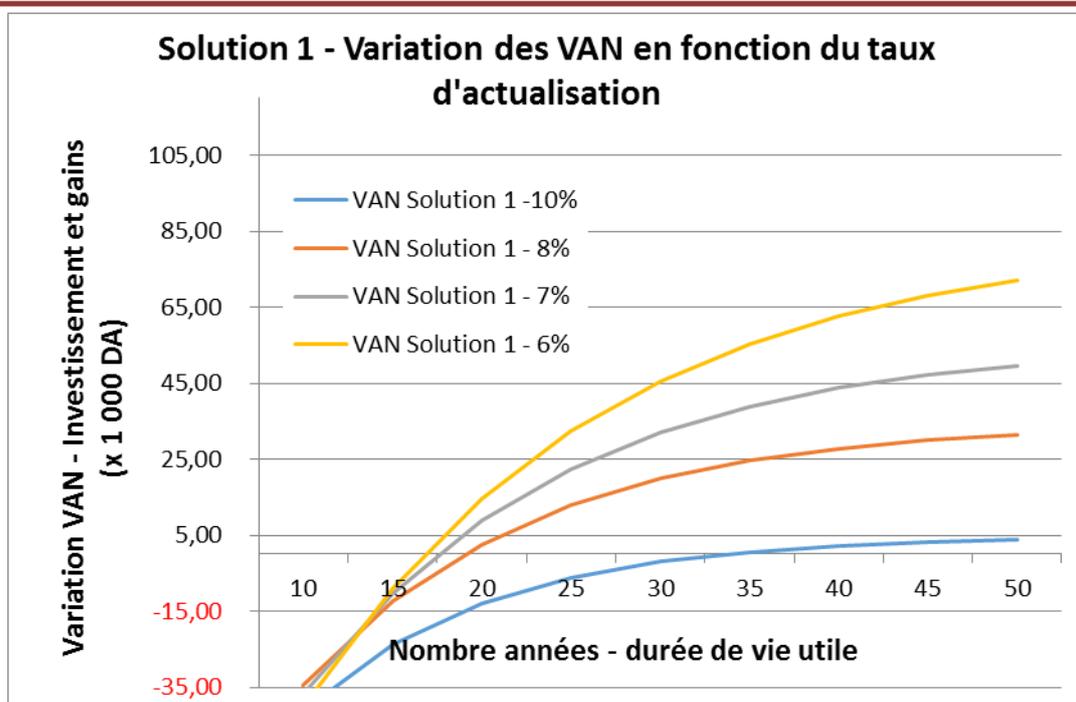


Figure 27 : VAN calculées pour la Solution 1

*VAN calculées pour la Solution 1, selon différents scénarios de durée de vie utile de L'investissement (en abscisse) et de taux d'actualisation appliqués (courbes)

Solution 2 :

Tableau 35 : Calcul de la Valeur Actuelle Nette du projet d'implémentation de la solution 2

| Durée de vie (Années) \ Taux | VAN _{Solution 1 - 10%} (DA) | VAN _{Solution 1 - 8%} (DA) | VAN _{Solution 1 - 7%} (DA) | VAN _{Solution 1 - 6%} (DA) |
|------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | VAN _{Solution 2 - 10%} | VAN _{Solution 2 - 8%} | VAN _{Solution 2 - 7%} | VAN _{Solution 2 - 6%} |
| 10 | -111 726,69 | -100 363,72 | -104 278,86 | -110 416,08 |
| 15 | -82 360,29 | -63 203,49 | -59 466,37 | -57 312,09 |
| 20 | -64 126,06 | -37 912,85 | -27 515,69 | -17 629,69 |
| 25 | -52 804,04 | -20 700,47 | -4 735,30 | 12 023,30 |
| 30 | -45 773,96 | -8 986,02 | 11 506,81 | 34 181,74 |
| 35 | -41 408,83 | -1 013,36 | 23 087,21 | 50 739,82 |
| 40 | -38 698,43 | 4 412,70 | 31 343,87 | 63 112,98 |
| 45 | -37 015,48 | 8 105,59 | 37 230,76 | 72 358,92 |
| 50 | -35 970,51 | 10 618,90 | 41 428,03 | 79 268,03 |

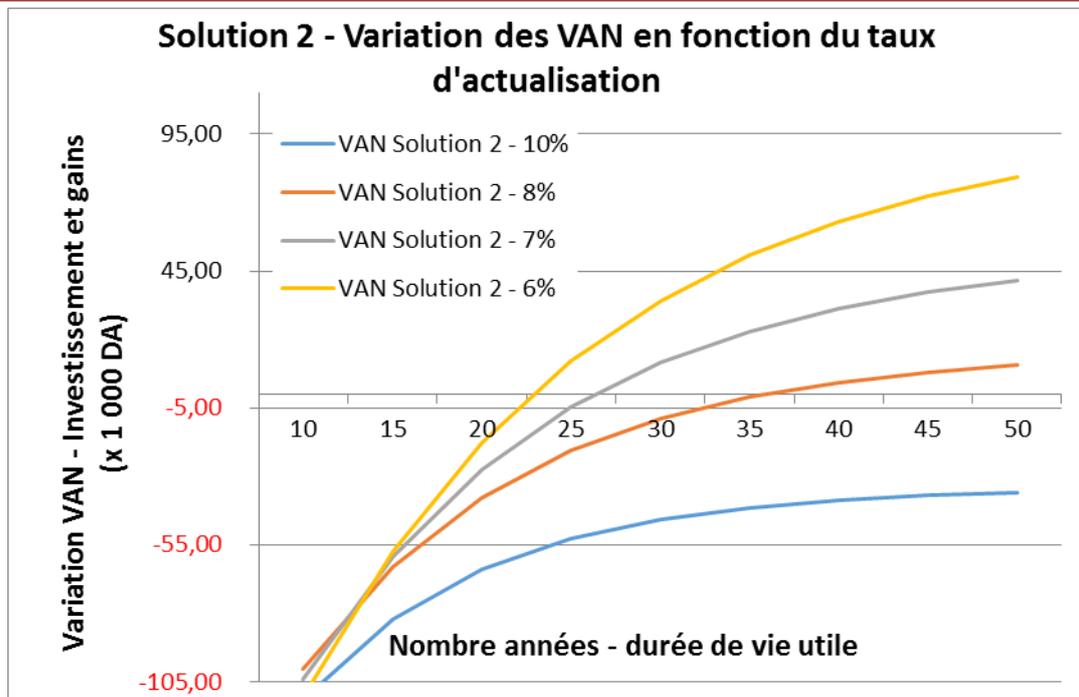


Figure 28 : VAN calculées pour la Solution 2

*VAN calculées pour la Solution 2, selon différents scénarios de durée de vie utile de l'investissement (en abscisse) et de taux d'actualisation appliqués (courbes)

Commentaire des résultats :

Les valeurs de la VAN en rouge dans les tableaux sont des valeurs négatives qui signifient qu'à la période correspondante (nombre d'années considérées) la somme des montants collectés chaque année durant cette même période est inférieure à l'investissement initial qui sert à l'implémentation de la solution. Aussi, cette situation indique que pour ces périodes l'investissement initial n'est toujours pas amorti.

V. Analyse et interprétation des résultats

L'analyse financière des projets d'implémentation des solutions proposées a révélé les faits suivants :

- La « Valeur Actuelle Nette » (VAN) du projet d'implémentation des solutions proposée augmente avec la diminution du taux d'actualisation appliqué ;
- La période d'amortissement de l'investissement initial pour l'implémentation des solutions proposée est proportionnel à l'augmentation du taux d'actualisation appliqué ;

- La période d'amortissement de l'investissement initial est de loin supérieure à la durée calculée sans tenir compte de la « Valeur Temporelle de l'Argent » qui tient compte du taux d'actualisation appliqué. En effet, l'amortissement de l'investissement initial pour l'implémentation des solutions 1 et 2 a été estimé respectivement à 9,6 années et 11,7 années. Cependant en considérant la valeur réelle de l'argent (Valeur Temporelle de l'Argent), la période d'amortissement de l'investissement pour la réalisation de la solution 1 est supérieure à 15 ans pour un taux d'actualisation de 6% et dépasse les 30 ans pour un taux de 10%. Pour la solution 2 la période d'amortissement de l'investissement initial est supérieure à 20 ans pour un taux d'actualisation de 6% et dépasse de loin les 50 ans pour un taux de 10% ;
- Le meilleur scénario d'implémentation des solutions proposées 1 et 2 est dicté sur le plan financier, par la VAN du projet la plus élevée et le taux d'actualisation le plus faible. Selon ces critères, le meilleur scénario d'implémentation des deux solutions reste l'application d'un taux d'actualisation de 6% pour arriver à amortir l'investissement initial dans un intervalle de temps variant de 15 ans à 20 ans.

VI. Conclusion

L'analyse de l'impact financier de l'implémentation des solutions techniques proposées dans le cadre de notre travail de mise en conformité de la résidence modèle considérée avec la Règlementation thermique Algérienne, a permis de juger de la viabilité financière de chacune des solutions. Cependant, il serait capital de noter que les gains économiques considérés dans le cadre de cette étude sont plus importants que les montants calculés, en raison de la surestimation des coûts d'implémentation (investissement initial), de la consommation d'énergie et des taux d'actualisation appliqués. En effet, d'autres gains économiques peuvent être extraits de la généralisation de ce type de projets, dont notamment :

- Augmentation de la quantité exportable de gaz, issu de la réduction de la consommation destinée au chauffage et à la climatisation des locaux ;
- Réduction des émissions de CO₂ issu de la génération d'électricités par les centrales à gaz ou à cycle combiné ;

- Développement d'un tissu d'entreprises spécialisées dans le domaine de l'isolation et de l'entretien des locaux, avec tout ce que cela implique comme contribution à créer de la richesse ;

Par ailleurs, l'analyse de l'impact économique des solutions proposées a permis aussi d'entrevoir la nécessité de mesures d'accompagnement que l'état à travers ses institutions compétentes, doivent mettre en œuvre pour généraliser la mise en conformité des bâtisses et des locaux Algériens avec la réglementation. Dans ce contexte, et afin de concrétiser un projet d'envergure qui vise la réhabilitation des résidences et des locaux, l'état Algérien peut actionner différents leviers pour venir en aide à ce secteur, dont l'octroi de subventions et de crédits à 0% ou à faible taux d'intérêt, aux particuliers et aux entreprises investissant dans ce type d'actions pour réduire leurs factures énergétiques. Les retombées économique et sociales d'un plan global seront sans doute et de loin plus attractives que ce qui a été exposé dans la présente étude et méritent, par conséquent, une étude plus approfondie des coûts occasionnés et des gains engendrés par un projet inclusive et global piloté, par les institutions compétentes de l'état et mis en œuvre en partenariat avec les groupes financiers et les entrepreneurs.

Conclusions et recommandations

I. Conclusion

L'étude technique et l'évaluation de viabilité économique conduites dans le cadre du présent projet a porté sur la mise en conformité avec la Règlementation Thermique Algérienne, notamment les DTR C3-2 et DTR C3-4, d'une résidence localisée dans la commune de Tazgait, Wilaya de Mostaganem. Dans ce contexte, nous avons proposé deux solutions d'isolation, la première concerne la toiture seulement et la deuxième couvre la toiture et les parois de la résidence. L'étude technique, réalisée en utilisant l'application RETA développée au Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER), sis à Bouzaréah (Alger), pour effectuer les différentes simulations de cas de figures, nous a permis de mettre en évidence les faits suivants :

- L'application de la solution 2 qui consiste à isoler tous les éléments de construction de la résidence choisie, contrairement à la solution 1 (isolation de la toiture uniquement), est à même de mettre en conformité la résidence avec la Règlementation Thermique Algérienne ;
- L'application de la solution 2 a pour effet de réduire respectivement les déperditions thermiques en période d'hiver et les apports calorique total en été, de 280.64 (W/°C) et 1939.1 (W) par rapport au cas classique et de 97.29 (W/°C) et 828.44 (W) par rapport à la solution 1 qui comprend seulement l'isolation de la toiture.
- L'application de la solution 2 a pour conséquence la réduction de 57% et de 39% des besoins énergétiques, pour assurer respectivement le chauffage en hiver et la climatisation en été de la résidence considérée, et ce par rapport au cas classique.
- La solution 2 se présente, du point de vue technique, comme la meilleure option pour remplir les exigences techniques de la règlementation Thermique Algérienne.

Par ailleurs, l'analyse des aspects économiques de l'implémentation des solutions proposées a révélé ce qui suit :

- La « Valeur Actuelle Nette » (VAN) du projet d'implémentation des solutions proposées augmente avec la diminution du taux d'actualisation appliqué. Aussi, plus ces taux sont

faibles, plus les périodes d'amortissement de l'investissement initial pour l'implémentation des solutions proposées se contracte ;

- L'amortissement de l'investissement initial pour l'implémentation des solutions 1 et 2, calculé avec le plus faible taux d'actualisation (6%) et en tenant compte de la « Valeur Temporelle de l'Argent », est achevé sur une période de temps allant de 17 ans pour la solution 1 plus de 23 ans pour la solution 2 ;
- La solution la plus favorable à l'implémentation sur le plan financier est la solution 1 avec un taux d'actualisation de 6% ;

Enfin, et compte tenu des résultats des analyses techniques et économiques, la solution 2 qui consiste à isoler la toiture et les parois de la résidence est l'option idéale à adopter, nonobstant du cout de réalisation et de la période d'amortissement de l'investissement initial d'implémentation, plus élevés par rapport à la solution 1 qui consiste à isoler seulement la toiture.

II. Recommandations

A l'issue des résultats de notre étude technique et de l'évaluation de l'impact financier de l'implémentation des solutions techniques proposées, dans le cadre de notre travail de mise en conformité de la résidence modèle considérée avec la Règlementation thermique Algérienne, nous considérons qu'il serait capital de poursuivre le travail sur ce projet, en explorant d'autres solutions techniques moins coûteuses et qui permettent de remplir les exigences règlementaires Algériennes, tout en focalisant l'intérêt sur les gains économiques potentiels qui n'ont pas été considérés dans le cadre de la présente contribution, dont notamment :

- Economie de quantités exportable de gaz, engendrée par la réduction de la consommation destinée au chauffage et à la climatisation des locaux ;
- Réduction des émissions de CO₂ issu de la génération d'électricités par les centrales à gaz ou à cycle combiné ;
- Développement d'un tissu d'entreprises spécialisées dans le domaine de l'isolation et de l'entretien des locaux, avec tout ce que cela implique comme contribution à créer de la richesse ;

Par ailleurs, les subséquent travaux sur ce sujet, pourraient ajouter une valeur considérables en explorant les mesures d'accompagnement que l'état à travers ses institutions compétentes, doivent mettre en œuvre pour généraliser la mise en conformité des bâtisses et des locaux Algériens avec la réglementation. En effet, l'état doit suivre, avec les moyens dont elle dispose, l'exemple des pays développés en Europe, aux Etats Unis et en Amérique, dans leur savoir-faire pour concrétiser des projets d'envergure du même type. Dans ce contexte les contributions future sur ce sujet, devraient proposer des leviers et des mesures incitatives que l'état Algérien pourrait mettre en œuvre pour venir en aide à ce secteur, dont l'octroi de subventions et de crédits à 0% ou à faible taux d'intérêt, aux particuliers et aux entreprises investissant dans ce type d'actions pour réduire leurs factures énergétiques.

Enfin, les retombées économique et sociales des projets de réhabilitation et de mise en conformité avec la Réglementation Thermique Algérienne, des résidences et des locaux à vocations commerciales ou industrielles, méritent une étude approfondie des coûts occasionnés et des gains engendrés par un projet inclusive et global piloté, par les institutions compétentes de l'état et mis en œuvre en partenariat avec les groupes financiers et les entrepreneurs.

Références

- C.K. Cheung et al , Energy-efficient envelope design for high-rise apartments, *Energy and Buildings* 37 ,37–48,2005
- Ali Bolatturk , Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey, *Applied Thermal Engineering* 26 1301–1309,2006
- Caroline Flory-Celini, Modélisation et positionnement de solutions bioclimatiques dans le bâtiment résidentiel existant, thèse de doctorat, 2008
- FOURA SMIR, Simulation des paramètres du confort thermique d'hiver en Algérie, thèse de doctorat,2008
- Fezzioui et al, Influence des caractéristiques dynamiques de l'enveloppe d'un bâtiment sur le confort thermique au sud Algérien, *Revue Des Energies Renouvelables* Vol .11 N°1,2008
- R. Guechhati1 et al. , Simulation de l'effet de l'isolation thermique des bâtiments :Cas du centre psychopédagogique SAFAA à Oujda ,*Revue Des Energies Renouvelables* Vol .13 N°2,2010
- L.F. Cabeza et al, Experimental study on the performance of insulation materials in Mediterranean construction, *Energy and Buildings* 42 , 630–636,2010
- Wilhelm Alexander Friess et al , Wall insulation measures for residential villas in Dubai: A case study in energy efficiency, *Energy and Buildings* ,2011
- Samar Jaber , Salman Ajib , Optimum technical and energy efficiency design of residential building in Mediterranean region, *Energy and Buildings* 43 ,1829–1834,2011
- Suresh B. Sadineni et al , Passive building energy savings: A review of building envelope components,*Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 ,3617–3631,2011
- Nait Nadia, La Réhabilitation Energétique dans les logements collectifs existants mémoire de magister, 2011
- José V. Ferreira et Idalina Domingos ,Assessment of Portuguese thermal building legislation in an energetic and environmental perspective , *Energy and Buildings*, 43 , 3729–3735.2011

- S. Sami-Mécheri , D.Semmar et A.Hamid , Efficacité énergétique des logements à haute performance énergétique, 'HPE': Application au site de Béchar , Energies Renouvelables Vol 15 N°2,2012
- Lotfi Derradji, Khaled Imessad et al, étude de l'efficacité énergétique d'une maison économique en Algérie, 2eme Congres de l'Association Marocaine de Thermique, Casablanca(Maroc) 18-19 Avril 2012.
- A.Gagliano et al , A case study of Energy Efficiency Retrofit in social housing units , Energy Procedia 42, 289 – 298,2013
- R.Kharchi, L'efficacité énergétique dans le bâtiment, Revue Des Energies Renouvelables .N° 28, 2013
- W.Bouamama, Au sujet de la politique d'efficacité énergétique en Algérie : une approche systématique pour un développement durable, mémoire de magister, 2013
- K. Imessad, L. Derradji, et al, Impact of passive cooling techniques on energy demand for residential buildings in a Mediterranean climate, Renewable Energy 71 589e597.2014
- Guide pour une construction Eco-énergétique en Algérie, Ministère de l'Aménagement du Territoire de l'Environnement et de la ville, GIZ, 2014
- H.Necib et al, amélioration de l'isolation thermique des habitats dans les régions chauds et arides, ICEMAEP, 2016