

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DE BLIDA-1
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES



Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme master en :

Énergies renouvelables

Option : énergies renouvelables et habitat bioclimatique

THEME :

L'impact de l'intégration des briques mono-murs sur l'efficacité énergétique des bâtiments.

Réalisé par :

Chikhaoui Malika

Aissou Yousra

Soutenu devant le jury composé par

MonsieurUSDB

Président USDB

Encadrant Monsieur Examineur

Juillet 2023

ملخص

الغرض من هذا المشروع هو دراسة تأثير دمج الطوب أحادي الجدار العازل ذاتيًا على تحسين الأداء الحراري لمبنى من نوع السكن الجماعي في الجزائر، وتحديدًا في الجزائر -سيدي عبد الله. في هذه الدراسة، نستخدم الطوب أحادي الجدار والزجاج المزدوج مع تكامل عزل داخلي على الجدران الخرسانية: البولسترين والصوف الزجاجي والصوف الصخري. سيتم إجراء توازن حراري على المباني خلال فترة الصيف والشتاء، وحاولنا دراسة مدى تعقيد الراحة الحرارية للأنظمة الجزائرية وتقييم تأثير التجديدات المقترحة على احتياجات الطاقة في التدفئة وتكييف الهواء في هذا المبنى. تم إجراء هذه الدراسة داخل مركز الأبحاث «CNERIB» باستخدام DTR وتطبيق LOGRT

النتائج والتوازن الحراري الذي يسمح بدراسة تأثير هذه الأنواع من التجديدات على تقليل استهلاك الطاقة من التدفئة وتبريد المبنى.

ويستند أحد جوانب عملنا إلى الدراسة التقنية الاقتصادية التي تأخذ في الاعتبار النفقات المتصلة بالتكلفة الحقيقية لمختلف أنواع التجديد المقترحة في الجزائر.

الكلمات الرئيسية: أحادية الجدار، الإسكان الجماعي، كفاءة الطاقة، التوازن الحراري، الراحة، التجديد، استهلاك الطاقة، العزل.

Résumé

Ce projet a pour le but d'étudier l'impact de l'intégration de la brique mono-mur auto isolant sur l'amélioration des performances thermiques d'un bâtiment de type habitat collectif en Algérie, spécifiquement à Alger-sidi Abdallah.

Dans cette étude on utilisant la brique mono-mur, double vitrage avec une intégration d'isolation intérieure sur les murs du béton : le polystyrène, la laine de verre et laine de roche.

Un bilan thermique sera effectuer sur les bâtiments en période d'été et on période d'hiver nous avons essayé d'étudier la complexité du confort thermique à la réglementation algérienne et évaluer l'impact des rénovations proposées sur les besoins énergétiques en chauffage et en climatisation de ce bâtiment. Cette étude a été faite au sein du centre de recherche « CNERIB » à l'aide du DTR et l'application LOGRT.

Des résultats et bilan thermique permettant d'étudier l'influence de ces types de rénovations sur la réduction de la consommation d'énergie du chauffage et de climatisation du bâtiment.

Un aspect de notre travail repose sur l'étude technico-économique qui tient compte des dépenses liées au coût réel en Algérie des différents types de rénovations proposés.

Mots clés : mono-mur, habitat collectif, efficacité énergétique, bilan thermique, confort, rénovation, consommation d'énergie, isolation.

Abstract

The purpose of this project is to study the impact of the integration of the single-wall self-insulating brick on the improvement of the thermal performance of a building of collective housing type in Algeria, specifically in Algiers-sidi Abdallah. In this study we use single-wall brick, double glazing with an interior insulation integration on the concrete walls: polystyrene, glass wool and rock wool. A thermal balance will be carried out on the buildings during the summer and winter period we tried to study the complexity of thermal comfort to the Algerian regulations and to evaluate the impact of the proposed renovations on the energy needs in heating and air conditioning in this building. This study was carried out within the research centre "CNERIB" using DTR and the LOGRT application.

Results and thermal balance allowed to study the influence of these types of renovations on the reduction of energy consumption of heating and cooling of the building.

One aspect of our work is based on the technico-economic study which takes into account the expenses related to the real cost in Algeria of the different types of renovation proposed.

Keywords: mono-wall, collective housing, energy efficiency, thermal balance, comfort, renovation, energy consumption, insulation.

Remerciements

Nous voulons en premier à remercier Dieu qui nous a donné volonté, force patience courage et santé pour réaliser ce travail.

Nous tenons à remercier notre encadrant Mr. Lotfi Derradji d'avoir accepté de diriger ce travail, ainsi que pour l'orientation, sa patience, sa disponibilité et ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.

Nous exprimons notre reconnaissance aux personnes suivantes : Melles. MAJDA et AMINA pour leur aide dans la réalisation de ce mémoire

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Dédicace

Avec gratitude, je dédie humblement ce travail à ceux que je ne pourrais jamais exprimer mon amour sincère, peu importe les termes embrassés.

Je dédie ce travail à mon cher père, Mr. Hacen, qui est mon précieux cadeau de Dieu, et à ma mère Mme. Fatima, qui souffert sans me laisser souffrir et qui n'a jamais dit non à mes exigences.

Je le dédie également à mes chers frères et sœur : Sabrina, Faten, Amina, Madiha et mes frères : Mohamed, Ahmed.

Je dédie ce travail à ma chère amie, sœur et binôme CHIKHAOUI Malika, avec qui j'ai l'honneur de travailler.

Enfin, je dédie ce travail à tous mes amis et collègues, en particulier Maya, Karim et Oussama, ainsi qu'à tous ceux qui me connaissent de près ou de loin.

« *Yousra* »

Dédicace

Je dédie cette mémoire à toutes les personnes qui m'ont soutenu et encouragé
tout au long de ce parcours.

À mes chers parents, Mme. Fadhila, Mr. Mahfoud pour leur amour
inconditionnel et leur soutien constant et encouragements précieux.

À mes sœurs et frères, pour leurs expertises et leur guidances.

Je remercie également ma chère binôme AISSOU YOUSRA pour

Pour sa contribution inestimable.

À tous mes amis, toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la
réalisation de ce projet, je vous exprime ma profonde gratitude.

Ce mémoire est le fruit de notre collaboration et de votre soutien indéfectible.

Merci infiniment.

« Malika Elham »

Table des matières

Résumé.....	3
Remerciements	5
Table des matières.....	8
Liste des figures	10
Liste des tableaux.....	13
Introduction générale.....	1
Chapitre 1: Etat de l’art sur les solutions d’efficacité énergétique	3
Introduction.....	3
L’efficacité énergétique.....	3
I.1.1 Définition	3
I.1.2 Classification des bâtiments à efficacités énergétiques.....	4
I.1.3 L’efficacité énergétique dans le bâtiment.....	5
Bénéfices de l’efficacité énergétique	6
Les solutions d’efficacité énergétique.....	7
I.1.4 Les solutions passives.....	7
I.1.5 Les solutions actives	17
L’état de l’art	20
Conclusion	23
Chapitre 02 : Matériaux d’isolation thermique et matériaux de construction innovants.....	25
Introduction.....	25
Matériaux de construction innovants	25
I.1.6 Briques mono-mur	26
I.1.7 L’IPAC.....	29
I.1.8 La toile de béton.....	29
I.1.9 Le béton auto cicatrisant.....	30
I.1.10 Briques d’argile creuses.....	30
I.1.11 Le béton de lin	31
I.1.12 Le bois transparent.....	31
I.1.13 Ciment générateur de lumière	32
Matériaux d’isolation thermique.....	32
I.1.14 Les Fibragglos	32
I.1.15 La laine de roche.....	33
I.1.16 Béton cellulaire.....	34

I.1.17	Argile expansée	35
I.1.18	Laine de verre	36
I.1.19	Polystyrène expansé.....	38
	Conclusion	40
Chapitre 03 : Calcul réglementaire des déperditions thermiques et des apports calorifiques		41
	Partie 1 : Le DTR	41
I.1.20	Introduction.....	41
I.1.21	Déperditions calorifiques « Fascicule 1 » DTR C 3.2/4	41
I.1.22	Bases de calcul.....	42
I.1.23	Expressions générales des déperditions	42
I.1.24	Calcul de la puissance de chauffage	43
I.1.25	Apports calorifiques «Fascicule1» DTRC3-4	47
I.1.26	Parois vitrées	50
	Partie 02 : Présentation de l'application et du projet, la discussion des résultats d'étude	54
I.1.27	Présentation des caractéristiques climatique	55
	L'étude de la conformité du logement en hiver.....	60
I.1.28	Résultats et discussions	76
	L'étude de la conformité du logement en été	80
I.1.29	Résultats et discussion	92
	Conclusion	95
Chapitre 04 : Etude technico-économique		96
	Introduction :	96
	Calcul des surcoûts :	96
I.1.30	Le budget ajouté pour le double vitrage :	96
I.1.31	Le budget ajouté pour la brique mono-mur :	97
I.1.32	Le budget ajouté pour l'utilisation de brique mono-mur + l'isolation (3cm) :	97
	Calcul du temps d'amortissement :	100
I.1.33	Economies d'énergie de chauffage	100
I.1.34	Economies d'énergie de climatisation.....	101
	Estimation des temps de retour (amortissement) de chauffage et climatisation	103
	Conclusion	104
Conclusion générale		105
Références bibliographiques.....		106

Liste des figures

Figure I. 1: Une orientation Sud/Nord.....	8
Figure I. 2: Compacité de différentes formes géométriques.	8
Figure I. 3: La compacité de l'enveloppe thermique de votre bâtiment [11].	9
Figure I. 4: L'éclairage par les fenêtres.	9
Figure I. 5: L'éclairage par le plafond.....	10
Figure I. 6: Surfaces vitrées.....	11
Figure I. 7: Protections solaires dans bâtiment.....	11
Figure I. 8: Les trois types de menuiseries.	12
Figure I. 9: Exemple d'un toit vert et façades vitrées.....	12
Figure I. 11: Schéma d'une ventilation d'un seul côté [16].	13
Figure I. 12: Schéma d'une ventilation mono-exposée ouverture double [16].	13
Figure I. 13: Schéma d'une ventilation transversale [16].	13
Figure I. 14: Schéma d'une ventilation par cheminées.	14
Figure I. 15: Schéma d'une ventilation par atrium [16].	14
Figure I. 16: Schéma d'une ventilation par capteur a vent-Natural [16].	14
Figure I. 17: La ventilation par puits dépressionnaire.	15
Figure I. 19: Schéma du principe du mur Trombe.	15
Figure I. 20: Différents types d'isolations thermiques.	16
Figure I. 21: Étanchéité à l'air.....	17
Figure II. 1: La brique mono-mur.....	26
Figure II. 2 : brique monomur classique.....	27
Figure II. 3 : brique monomur a isolation intégrée.....	28
Figure II. 4 : Isolant porteur alvéolaire cellulosé.....	29
Figure II. 5: Béton auto-cicatrisant.....	30
Figure II. 6: Brique d'argile creuse.	31
Figure II. 7: Le béton de lin.....	31
Figure II. 8: Le bois transparent.	32
Figure II. 9: Ciment générateur de lumière.	32
Figure II. 10: Panneau fibragglos.	33
Figure II. 11: La laine de roche.....	34
Figure II. 12: Isolation en béton cellulaire.	35
Figure II. 13: Argile expansée.....	36
Figure II. 14: Isolation en laine de verre.	37
Figure II. 15: Polystyrène expansé.....	38
Figure II. 16: Polyuréthane.....	39
Figure III. 1:La température annuelle à Sidi Abdallah.....	55
Figure III. 2:Le rayonnement global à Sidi Abdallah.....	56
Figure III. 3:L'ensoleillement annuel à Sidi Abdallah.....	56
Figure III. 4: Le rayonnement annuel à sidi Abdallah.....	57
Figure III. 5:Plan intérieur RDC du bloc R+9.....	58
Figure III. 6: Plan intérieur de l'appartement F3.....	59
Figure III. 7: La vérification réglementaire du bloc R+9 (SV) sans isolation.....	61
Figure III. 8: La vérification réglementaire de l'appartement F3 (dernier étage) SV sans isolation.....	61

Figure III. 9: La vérification réglementaire du bloc R+9 (DV) sans isolation.	62
Figure III. 10: La vérification réglementaire de l'appartement F3 DV sans isolation.....	63
Figure III. 11: La vérification réglementaire du bloc R+9 avec briques mono-mur (SV).....	65
Figure III. 12: La vérification réglementaire de l'appartement F3 avec briques mono-mur (SV).	66
Figure III. 13: La vérification réglementaire du bloc R+9 avec briques mono-mur et DV.....	67
Figure III. 14: La vérification réglementaire de l'appartement F3 avec briques mono-mur +DV	68
Figure III. 15: La vérification réglementaire du bloc R+9 en fonction des différentes épaisseurs de polystyrène.	69
Figure III. 16: La vérification réglementaire de l'appartement F3 en fonction des différentes épaisseurs de polystyrène.....	70
Figure III. 17: La puissance de l'appartement F3 en fonction des différentes épaisseurs de polystyrène.	70
Figure III. 18: La vérification réglementaire du bloc R+9 en fonction des différentes épaisseurs de la laine de roche.....	71
Figure III. 19: La vérification réglementaire de l'appartement F3 en fonction des différentes épaisseurs de la laine de roche.....	72
Figure III. 20: La puissance de l'appartement F3 en fonction des différentes épaisseurs de la laine de roche.	72
Figure III. 21: La vérification réglementaire du bloc R+9 en fonction des différentes épaisseurs de la laine de verre.	73
Figure III. 22: La vérification réglementaire de l'appartement F3 en fonction des différentes épaisseurs de la laine de verre.....	74
Figure III. 23: La puissance de l'appartement F3 en fonction des différentes épaisseurs de la laine de verre.....	74
Figure III. 24: La puissance Q nécessaire pour l'appartement F3 avec les différents types de rénovations.	75
Figure III. 25: Le pourcentage de l'effet des différents types de rénovations sur la réduction de la puissance de chauffage Q nécessaire pour l'appartement F3.	76
Figure III. 26: La vérification réglementaire de l'appartement F3 du dernier étage.	81
Figure III. 27: La vérification réglementaire du bloc R+9 avant rénovation.....	82
Figure III. 28 :La comparaison entre l'influence de chaque type de vitrage.	82
Figure III. 29:Les résultats de comparaison entre l'influence de chaque type de vitrage.	83
Figure III. 30: La vérification réglementaire de l'appartement F3 de dernier étage avec mono-mur et simple vitrage.	84
Figure III. 31 : La vérification réglementaire du bloc R+9 avec mono-mur et simple vitrage.....	84
Figure III. 32:La comparaison entre l'appartement avec simple vitrage avant rénovation et avec la brique mono-mur.....	85
Figure III. 33:La comparaison entre le bloc avec simple vitrage avant rénovation et avec la brique mono-mur.	86
Figure III. 34: La vérification réglementaire de l'appartement F3 avec mono-mur et double vitrage..	86
Figure III. 35: La vérification réglementaire du bloc R+9 avec mono-mur et double vitrage.	87
Figure III. 36 :La vérification réglementaire du bloc R+9 avec différents épaisseurs le polystyrène... ..	88
Figure III. 37 :La vérification réglementaire du bloc R+9 avec différents épaisseurs de la laine de verre.....	89
Figure III. 38 : La vérification réglementaire du bloc R+9 du bloc R+9 avec la laine de roche.....	89
Figure III. 39 : La comparaison entre les types de rénovation de l'appartement F3.....	90
Figure III. 40 : La comparaison entre les types de rénovation de l'appartement F3.	90
Figure III. 41: Tableau de comparaison entre les types de rénovation dans l'appartement F3.	91

Figure III. 42 : Le pourcentage de l'effet des différents types de rénovations sur la réduction de la puissance de climatisation pour le bloc R+9.	92
Figure IV. 1: Pourcentage des différents coûts de rénovation.....	98
Figure IV. 2: Le budget de rénovation par rapport au prix initial de l'appartement.	99
Figure IV. 3: L'économie d'énergie de chauffage du bloc R+9.....	101
Figure IV. 4: L'économie d'énergie de chauffage du bloc R+9.....	102

Liste des tableaux

Tableau III. 1: Composition des parois du logement.....	60
Tableau III. 2: Les déperditions thermiques du bloc R+9 avant rénovation.	60
Tableau III. 3 : Le bilan thermique de F3 (dernier étage) avant rénovation.....	61
Tableau III. 4: Les déperditions thermiques du bloc R+9 avec double vitrage sans isolation.	62
Tableau III. 5:Le bilan thermique de l'appartement F3 (dernier étage) + double vitrage sans isolation.	63
Tableau III. 6 : Composition des parois du logement avec briques mono-mur.....	64
Tableau III. 7: Le bilan thermique du bloc R+9 avec briques mono-mur (SV).	64
Tableau III. 8 : le bilan thermique de l'appartement F3 avec la brique mono-mur et SV.	65
Tableau III. 9: Le bilan thermique du bloc R+9 avec brique mono-mur et DV.....	66
Tableau III. 10: Le bilan thermique de l'appartement F3 avec briques mono-mur + DV.....	67
Tableau III. 11: Composition des parois du logement avec briques mono-mur et isolation.	68
Tableau III. 12: Le bilan thermique du bloc R+9 avec briques mono-mur et avec différentes épaisseurs de polystyrène.....	69
Tableau III. 13: Le bilan thermique de l'appartement F3 avec brique mono-mur+ différentes épaisseurs de polystyrène.....	69
Tableau III. 14: Le bilan thermique du bloc R+9 avec briques mono-mur et avec différentes épaisseurs de la laine de roche.	71
Tableau III. 15: Le bilan thermique de l'appartement F3 avec brique mono-mur+ différentes épaisseurs de la laine de roche.....	71
Tableau III. 16: Le bilan thermique du bloc R+9 avec briques mono-mur et avec différentes épaisseurs de la laine de verre.....	73
Tableau III. 17: Le bilan thermique de l'appartement F3 avec brique mono-mur+ différentes épaisseurs de la laine de verre.....	73
Tableau III. 18: La puissance Q nécessaire pour l'appartement F3 avec les différents types de rénovation.....	75
Tableau III. 19 :Le bilan thermique de l'appartement F3 dernier étage avant rénovation en été.....	81
Tableau III. 20 : Le bilan thermique du bloc R+9 avant rénovation en été avant rénovation.	81
Tableau III. 21 : La comparaison entre l'influence de chaque type de vitrage.	82
Tableau III. 22: La comparaison entre l'influence de chaque type de vitrage.	83
Tableau III. 23 :Le bilan thermique de l'appartement F3 dernier étage avec mono-mur et simple vitrage.....	83
Tableau III. 24:Le bilan thermique du bloc R+9 avec mono-mur et simple vitrage.	84
Tableau III. 25 : La comparaison entre l'appartement avec simple vitrage avant rénovation et avec la brique mono mur.	85
Tableau III. 26: La comparaison entre le bloc avec simple vitrage avant rénovation et avec la brique mono-mur.	85
Tableau III. 27: Le bilan thermique de l'appartement F3 avec mono-mur et double vitrage.....	86
Tableau III. 28:le bilan thermique du bloc R+9 avec mono-mur et double vitrage.	87
Tableau III. 30: Le bilan thermique du bloc R+9 avec différents épaisseurs de la laine de verre.....	88
Tableau III. 31: Le bilan thermique du bloc R+9 avec différents épaisseurs de la laine de roche.	89
➤ Tableau III. 32: Tableau de comparaison entre les types de rénovation dans l'appartement F3... ..	89
Tableau III. 33: Tableau de comparaison entre les types de rénovation dans l'appartement F3.....	91

Tableau IV. 1:Analyse des coûts pour la rénovation a double vitrage des appartements F3 et F4, ainsi que du bloc R+9.	97
Tableau IV. 2: Etude de budget pour l'utilisation de brique mono-mur pour les appartements F3, F4 et le bloc R+9.	97
Tableau IV. 3: Budget de rénovation avec briques mono-mur + isolation (3cm) pour F3, F4 et le bloc R+9.	98
Tableau IV. 4: Estimation des coûts pour différents rénovation énergétique pour un bloc R+9.....	98
Tableau IV. 5: L'économie d'énergie de chauffage du bloc R+9	100
Tableau IV. 6 : L'économie d'énergie de climatisation du bloc R+9.	102
Tableau IV. 8: La comparaison entre l'économie et le temps d'amortissement de chauffage et climatisation pour le bloc R+9.	103

Introduction générale

Le bâtiment vise à protéger les usagers des influences climatiques (chaleur, froid) en créant un microclimat intérieur satisfaisant pour l'exercice de diverses activités, tout en assurant une gestion efficace de l'énergie. Le secteur de la construction est considéré comme un grand consommateur d'énergie (représentant près de la moitié de la consommation mondiale) et est également responsable de 25 % des émissions de gaz à effet de serre.

La nécessité d'améliorer l'ensemble des composants du bâtiment et de réduire sa consommation énergétique est de plus en plus cruciale, en Algérie et comme partout dans le monde.

En Algérie, la consommation finale d'énergie n'a cessé de croître ces dernières années en raison de l'augmentation de la demande énergétique principalement liée au développement économique et à l'amélioration du niveau de vie des Algériens. Au cours des dix dernières années, l'industrie de la construction de l'Algérie s'est développée rapidement et continuellement, qu'il s'agisse de grands projets nationaux (1 million de logements sociaux, d'équipements socio-éducatifs et administratifs, etc.) ou de grands projets immobiliers (logement, enseignement supérieur) et touristiques initiés par des promoteurs privés et publics. Les exigences et normes internationales en matière de performance énergétique et environnementale des bâtiments ne sont pas encore pleinement intégrées dans le processus de conception et de construction, ce qui incite à juste titre les pouvoirs publics à rechercher l'efficacité optimale des bâtiments à travers plusieurs projets visant à améliorer le confort thermique des logements et à réduire le chauffage et la coûts de climatisation consommation d'énergie.

La réglementation actuelle prend en compte 3 exigences : une bonne efficacité énergétique du bâtiment, une faible consommation énergétique et un confort thermique d'été sans climatisation. Cependant, ces valeurs sont calculées sur des bâtiments sans prendre en compte l'occupant et son usage du bâtiment et pour des températures intérieures allant de 19 °C à 28 °C.

Malgré les études en collaboration avec les recherches effectuées par les bureaux d'études nationaux et internationaux pour l'amélioration du confort de conception, nous constatons qu'au niveau de l'isolation thermique aucune solution efficace et définitive n'a été appliquée à ce jour aux logements collectifs dans notre pays.

A travers cette recherche, nous allons essayer de répondre au problème suivant :

Quel est l'impact de l'intégration des briques mono-murs sur l'efficacité énergétique des bâtiments ?

Et dans ce sens, vient l'objectif de cette étude nous allons étudier l'impact de brique mono-mur auto isolante sur l'amélioration des performance thermique qui disposent de nombreuses qualités pour la réalisation du bâtiment confortables et sains en été comme en hiver.

Un bilan thermique sera effectué sue les bâtiments en périodes d'été et d'hiver en utilisant différents matériaux de construction.

Adopter des stratégies d'efficacité énergétique dans les bâtiments, proposer des composants d'enveloppe plus efficaces ou apporter des améliorations énergétiques correspondantes en termes d'efficacité peuvent réduire considérablement la consommation d'énergie. En ce sens, notre tâche est d'aborder ce point sensible, et notre projet est divisé en quatre chapitres :

- Chapitre I : Etat de l'art sur les solutions d'efficacité énergétique.
- Chapitre II : Matériaux de construction innovant, et matériaux d'isolation thermique
- Chapitre III : Calcul de bilan thermique en hiver et en été sur les bâtiments.
- Chapitre IV : Etude technico économique du bloc R+9.

Chapitre 1: Etat de l'art sur les solutions d'efficacité énergétique

Introduction

Au niveau mondial, le secteur du bâtiment représente 28% de la consommation d'énergie finale. Le bâtiment est le second secteur économique consommateur d'énergie après le transport. Cette consommation énergétique est appelée à augmenter rapidement dans le futur suite à l'évolution du parc d'habitation induit par les grands chantiers programmés.

L'efficacité énergétique est l'utilisation rationnelle des ressources énergétiques : elle consiste à réduire au maximum la consommation d'énergie pour fournir un même service. Maîtriser la consommation en énergie consiste à mettre en place de bonnes pratiques pour aboutir à une diminution de la facture énergétique.

L'objectif principal de ce chapitre est d'apprendre comment l'efficacité énergétique des bâtiments peut être améliorée, de manière passive et active, et de classer les mesures qui s'appliquent à chaque type de conception. Il existe de nombreux travaux de recherche sur l'amélioration de l'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel. Nous donnerons, par la suite, quelques exemples à travers le monde y compris l'Algérie.

Le secteur résidentiel, on à donner quelques exemples à travers le monde y compris l'Algérie.

L'efficacité énergétique

I.1.1 Définition

La notion d'efficacité (ou efficience) énergétique d'un système, en physique, se définit par le rapport entre le niveau d'énergie utile qu'il délivre et celui de l'énergie consommée, nécessaire à son fonctionnement.

Plus largement, le concept désigne un ensemble de solutions techniques et/ou logistiques permettant de réduire la consommation énergétique d'un système pour un service rendu identique voire supérieur, ainsi que leurs procédures d'évaluation [1].

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

- Soit à augmenter le niveau de service rendu, à consommation d'énergie constante ;
- Soit à économiser l'énergie à service rendu égal ;
- Soit à réaliser les deux simultanément.

Les solutions d'efficacité énergétique consistent le plus souvent à économiser l'énergie à service rendu égal ou à augmenter le niveau de service rendu, à consommation d'énergie constante. Elles visent donc à améliorer la performance délivrée avec une moindre consommation d'énergie [2].

I.1.2 Classification des bâtiments à efficacités énergétiques

Les bâtiments énergétiquement efficaces sont classés en quatre catégories : bâtiments basse consommation, bâtiments passifs, bâtiments à consommation nulle et bâtiments à énergie positive [3].

Bâtiments passifs

Un bâtiment appelé passif a une l'ambiance intérieure confortable tant en hiver qu'en été, sans devoir faire appel ni à un système conventionnel de chauffage ou de refroidissement. Les apports passifs solaires et internes et les systèmes de ventilation suffisent à maintenir une ambiance intérieure confortable toute l'année. Ce concept inclut également une réduction des besoins en électricité spécifique et éventuellement une production d'électricité à base de sources d'énergie renouvelables. En pratique, un petit système d'appoint est nécessaire au maintien du confort thermique durant les jours les plus froids, il est le plus souvent associé à la ventilation [3].

Bâtiment à Basse Consommation Energétique

Le concept de bâtiment à Basse consommation énergétique est l'une des solutions adaptées économiquement rationnelle pour le bâtiment. Il se caractérise principalement par une conception architecturale, bioclimatique, une bonne isolation thermique, des fenêtres performantes, un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait, parfois associé à un puits climatique, un système de génération performant (pompe à chaleur, chaudière bois, chaudière à condensation...) et une attention particulière est portée à la perméabilité de l'air et aux ponts thermiques. On a également recours à des sources d'énergies renouvelables pour la production d'énergie, comme le solaire, l'air, la géothermie ou le bois [3].

Bâtiments autonomes

Un bâtiment dit autonome lorsque sa fourniture énergétique ne dépend d'aucune ressource distante. Ainsi la totalité de l'énergie consommée par le bâtiment est produite sur place à partir de ressources locales. En pratique, le bilan net d'énergie de ce bâtiment est nul à tout instant. Un tel bâtiment se passe des avantages apportés par les réseaux d'approvisionnement (foisonnement, sécurité d'approvisionnement), ce qui impose l'usage de moyens de stockage d'énergie (batteries d'accumulateurs, inertie thermique, etc.) [3].

Bâtiments à énergie positive

Le bâtiment à énergie positive est défini comme étant un bâtiment qui produit autant ou plus d'énergie qu'il n'en consomme. Ce bâtiment est raccordé à un réseau de distribution d'électricité vers lequel il peut exporter le surplus de sa production électrique. De nombreux programmes d'opérations concernant les bâtiments zéro énergie ou à énergie positive sont en cours à l'étranger, comme au Japon, Etats-Unis, Canada, Allemagne et Nouvelle Zélande. A l'exception du Japon, ces opérations sont basées sur le même concept de et thermiques pour produire autant voire plus d'énergie que leurs besoins annuels [3].

I.1.3 L'efficacité énergétique dans le bâtiment

Trois types d'actions d'efficacité énergétique sont traditionnellement distingués dans le bâtiment :

Efficacité énergétique « passive »

L'efficacité énergétique passive résulte d'une part de l'isolation du logement et sa perméabilité à l'air, en utilisant par exemple des matériaux performants d'isolation thermique ou des menuiseries à triple vitrage, d'autre part, du choix d'équipements les plus performants c'est à dire des produits qui rendront le même service en consommant moins [4].

Efficacité énergétique « active »

Basée sur une offre de produits performants et de systèmes intelligents de régulation, d'automatismes et de mesure, l'efficacité énergétique active permet de :

- Réduire la facture énergétique.
- Réduire les consommations d'énergie.
- Améliorer la qualité et la disponibilité de l'énergie en consommant l'énergie juste nécessaire.

Disponibles aujourd'hui, ces solutions peuvent être mises en place rapidement et présentent des temps de retour sur investissement particulièrement courts, alors que les solutions relatives au bâti, dites "passives", s'inscrivent dans des stratégies à plus long terme, impliquant des investissements qui concernent le gros œuvre [5].

Les normes

Elles concernent les consommations d'électricité spécifique. La réglementation (Directive Ecoconception, exigences de normes prévues dans le Grenelle...) exige une performance élevée des équipements et vise l'efficacité énergétique des équipements électroménagers ou bureautiques [6].

Bénéfices de l'efficacité énergétique

L'efficacité énergétique a plusieurs avantages sur différents domaines dans la vie humaine tel qu'expliqué dans les prochaines sections.

- Protège les réserves d'énergie :

En raison de leur utilisation massive dans la vie quotidienne des gens, les réserves d'énergie diminuent progressivement. La consommation d'énergie non efficace affecte de plus en plus les réserves d'énergie. Face à cette augmentation, l'efficacité énergétique est le meilleur choix pour que les gens vivent mieux, préservent leurs ressources et dépensent moins. Une étude a été menée sur la consommation d'énergie de 1990 à 2016 et les résultats ont montré l'impact des mesures d'efficacité énergétique sur le nombre de la consommation d'énergie enregistrée. D'importantes économies d'énergie ont été enregistrées en seulement 26 ans, entraînant une réduction de 2 Pétajoules (PJ) d'énergie d'une valeur de 45 milliards de dollars [7].

- Soutient la compétitivité et l'investissement :

Réduire la consommation d'énergie d'une entreprise veut dire améliorer sa rentabilité. Dans le monde des affaires, les entreprises ayant une consommation énergétique moindre ont un avantage compétitif. Les entreprises qui mettent en œuvre des politiques d'efficacité énergétique ont réduit leurs dépenses énergétiques, rétablissant ainsi la confiance des investisseurs dans la création de nouvelles opportunités. Ces frais économisés peuvent être destinés à augmenter différents aspects relatifs au fonctionnement interne de l'entreprise tel que l'acquisition du matériel de production [7].

- Préserve l'environnement :

Le pétrole, le charbon et le gaz sont des combustibles fossiles qui émettent de la chaleur et des gaz à effet de serre, ils ont un impact énorme sur l'environnement de notre planète. L'efficacité énergétique permet de diminuer la consommation d'énergie et d'éviter des émissions de GES qui nuisent à notre environnement [7].

- Réduit le besoin de nouvelles capacités de production :

La transition des pays vers des sources d'énergie qui n'émettent pas de GES fera augmenter la demande pour la création de nouvelles capacités. L'économie d'énergie diminue maintenant le besoin de construire des installations de production additionnelles à l'avenir. Cela réduira les coûts de production d'énergie à long terme et les répercussions sociales et environnementales liées à certains projets de production. L'efficacité énergétique allège aussi la charge sur l'infrastructure existante en réduisant les coûts d'entretien récurrents [7].

Les solutions d'efficacité énergétique

Comment l'efficacité énergétique des bâtiments peut être améliorée, de manière passive et active ?

I.1.4 Les solutions passives

Climatologie :(Situation - Lieu - Caractéristiques météorologiques)

- Il est important de connaître les conditions d'humidité et de température de l'environnement, les précipitations et les vents dominants.
- Les données météorologiques de chaque site sont obtenues par le biais de sites web et de programmes spécifiques tels que : Ecotect, Métronome ou PHPP [8].

Orientation

L'orientation reste un facteur très important à considérer surtout pour la répartition des ouvertures et des pièces d'un bâtiment. La maison doit être orientée de façon à éviter les surchauffes estivales et limiter les déperditions hivernales. Les pièces à vivre seront de préférence au sud. Les ouvertures doivent également être orientées vers le sud avec une conception qui facilite le captage solaire passif en hiver et fournit une protection solaire adaptée pour l'été (pare-soleil). Orienter le logement au sud améliore l'éclairage naturel et diminue le besoin en éclairage artificiel [9].

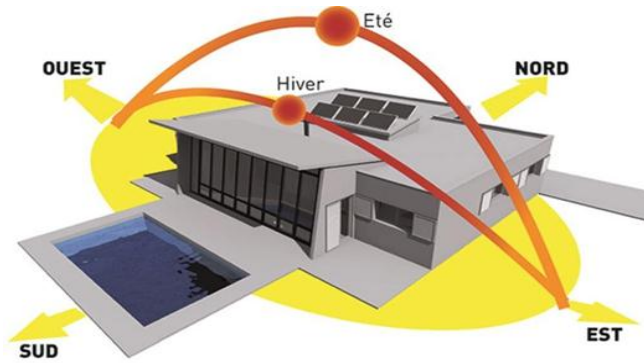


Figure I. 1: Une orientation Sud/Nord.

Compacité du bâtiment

- La compacité est définie comme le rapport entre la surface de l'enveloppe extérieure et le volume qu'elle renferme.
- Les grands bâtiments ont tendance à être plus compacts (0,2- 0,5m) et, dans les climats froids, ils ont tendance à avoir une demande énergétique plus faible [8].

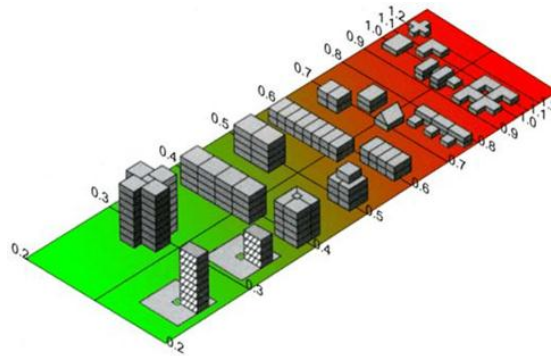


Figure I. 2: Compacité de différentes formes géométriques.

Un bâtiment compact est un bâtiment qui a un rapport faible entre la surface des parois extérieures et la surface habitable. Sans brider la conception architecturale, il est plus économique et bénéfique pour l'efficacité thermique de retenir des formes plutôt compactes. Les pertes sont donc d'autant plus réduites que ces surfaces sont optimisées par rapport au volume habitable [10].

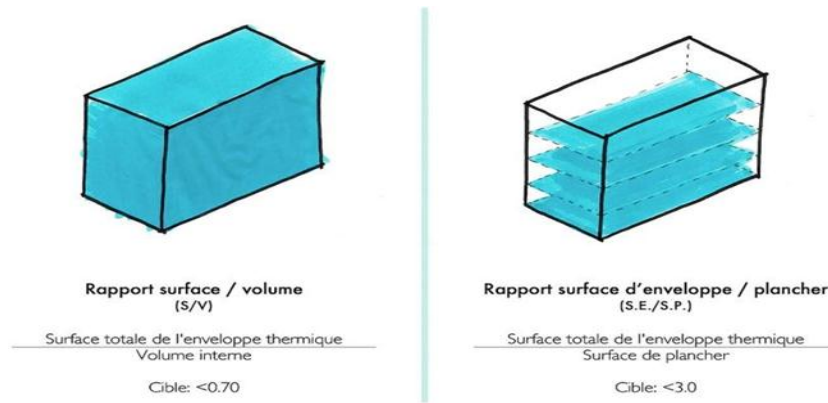


Figure I. 3: La compacité de l'enveloppe thermique de votre bâtiment [11].

Solaire passif

Le solaire passif permet d'utiliser les gains solaires reçus pour les besoins de chauffage instantané et de stocker le reste sous forme de masse thermique ou de dispositifs de stockage . Il fait appel à trois principes : le captage, le stockage et la distribution de l'énergie du soleil.

Exploiter le rayonnement solaire pour l'éclairage naturel, ce qui requiert une distribution efficace dans les pièces ou sur les plans de travail ,tout en évitant l'effet d'éblouissement [11].

➤ L'éclairage naturel :

L'importance de l'éclairage naturel s'impose du fait qu'il permet une réduction significative de la consommation de l'énergie dans le bâtiment. L'éclairage naturel amène deux à trois fois moins de chaleur au local que l'éclairage artificiel. Ceci est particulièrement important lorsque l'éclairage artificiel représente (par ses pertes thermiques) une des principales charges de climatisation [11].

- ✓ L'éclairage par les fenêtres : garantit le contact visuel indispensable avec l'extérieur et présente peu de risques d'infiltrations d'eau par pluie battante.



Figure I. 4: L'éclairage par les fenêtres.

- ✓ L'éclairage par le plafond :A une efficacité bien supérieure à l'éclairage par les fenêtres
- ✓ L'éclairage est alors plus uniforme durant toute la journée, et donne une lumière diffuse sans zones d'ombres.



Figure I. 5: L'éclairage par le plafond.

➤ Les surfaces vitrées :

La vitre ne laisse pas passer 100% du rayonnement solaire reçu, il est aisé de comprendre que plus une fenêtre comportera de couches vitrées, plus elle bloquera le rayonnement. En pratique, cette constatation peut être utile pour bien choisir ses vitres :

- Le simple vitrage est le moins performant thermiquement mais laisse passer quasiment toutes les calories solaires.
- Le double vitrage est moins performant thermiquement que le triple vitrage mais laissera davantage passer les calories solaires.
- Le triple vitrage est encore plus performant qu'une vitre double vitrage car il possède deux lames d'air et trois vitres, ce qui empêche encore plus aux calories de fuir vers l'extérieur.

Généralement pour une bonne maîtrise des apports solaires Il est conseillé de respecter un ratio de surface vitrée d'environ 20 % de la surface habitable, répartie comme suit : 50 % au sud, 20 à 30 % à l'Est, 20% à l'ouest et 0 à 10% au nord. En appliquant cette règle 15 à 20 % de consommations énergétiques sera réduites [11].



Figure I. 6: Surfaces vitrées

➤ Protections solaires :

Le rayonnement solaire, qui est utilisé comme source d'énergie passive pour les bâtiments, est un avantage qui devient un inconvénient en été.

Ces protections sont utilisées afin d'obtenir une collecte solaire maximale en hiver et de minimiser la surchauffe en été [8].

De nombreux types de protections solaires existent fixes (auvents, Vitrages solaires ou films autocollants sur les vitrages) et mobiles (Stores extérieurs, claustras, panneaux coulissants). Le choix d'une protection solaire doit se faire en fonction de l'orientation de la fenêtre. Si possible, elle maintiendra la possibilité de bénéficier d'une lumière naturelle suffisante [11].



Figure I. 7: Protections solaires dans bâtiment.

Les menuiseries

Elles doivent de la même façon que les vitres, permettre d'éviter les déperditions thermiques. Les matériaux utilisés pour les menuiseries sont les principaux garants de l'efficacité de celles-ci. On distingue trois types de menuiseries :

- ✓ Les menuiseries en bois présentant de très bonnes qualités thermiques mais nécessitant

un entretien régulier.

- ✓ Les menuiseries en PVC assurant également de bonnes performances thermiques mais présentant un bilan énergétique et environnemental très mitigé.
- ✓ Les menuiseries en aluminium ont l'avantage d'avoir une excellente tenue dans le temps et peuvent être associées au bois pour constituer des menuiseries mixtes.

Avec le choix de nouvelles technologies disponibles, les fenêtres sont devenues un instrument très utile pour la conception de refroidissement passif, de chauffage et d'éclairage [17].

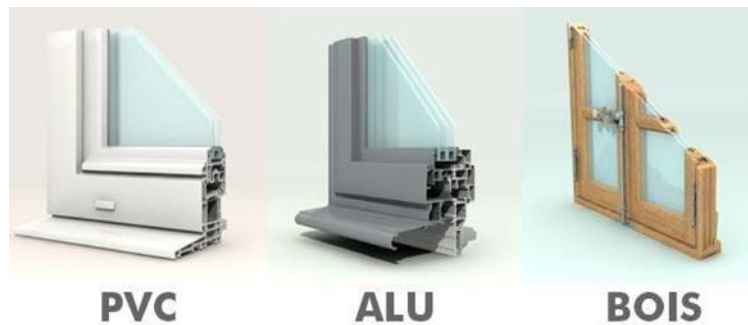


Figure I. 8: Les trois types de menuiseries.

Toit vert et façades vitrées

La végétation offre une protection contre le vent, une humidification naturelle des espaces et un contrôle solaire, entre autres.

Ces solutions contribuent à augmenter l'inertie thermique du toit et des murs, ce qui permet d'obtenir un meilleur rendement bioclimatique du bâtiment. De plus, elles permettent de récupérer une partie de la végétation qui a été perdue lors de la construction du bâtiment [8].



Figure I. 9: Exemple d'un toit vert et façades vitrées.

Ventilation

La ventilation est la stratégie pour les climats chauds et humides. L'air intérieur surchauffé est remplacé par de l'air extérieur plus frais. En augmentant la vitesse de l'air à travers la ventilation, la sensation de chaleur intérieure est réduite [8].

Les types de ventilation naturelle :

- Ventilation d'un seul côté : mono exposé Elle n'est pas adaptée si la façade donne sur une rue bruyante, ou une source de pollution. Il est recommandé que l'ouvrant ait une hauteur d'au moins 1,5m.

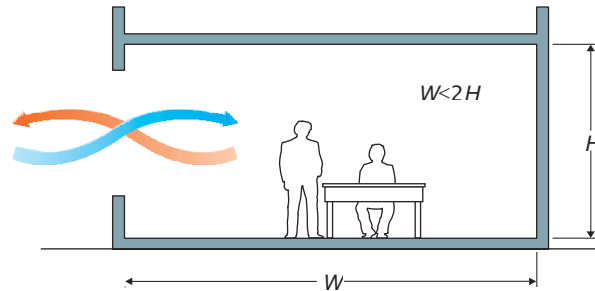


Figure I. 10: Schéma d'une ventilation d'un seul côté [16].

- Ventilation mono-exposée ouverture double :

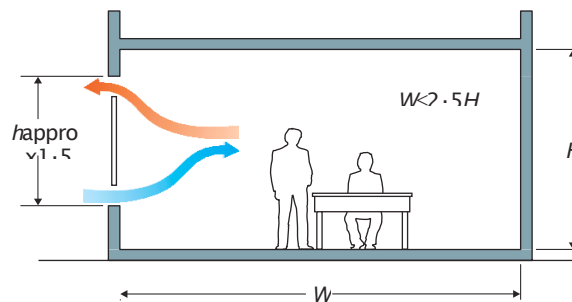


Figure I. 11: Schéma d'une ventilation mono-exposée ouverture double [16].

- Ventilation transversale : Intégrer des dispositifs facilitant le passage de l'air, tels que des grilles de transfert.

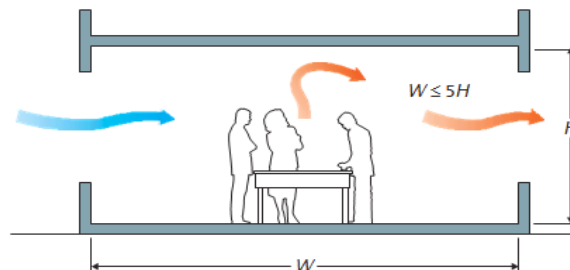


Figure I. 12: Schéma d'une ventilation transversale [16].

- Ventilation par cheminées : C'est un cas de ventilation transversale, donc la règle de moins de 5 fois la hauteur sous plafond pour la longueur de la zone ventilée s'applique. Le point essentiel à respecter est que l'air dans la cheminée soit plus chaud

que l'air ambiant. Les cheminées solaires sont une bonne solution à cette problématique.

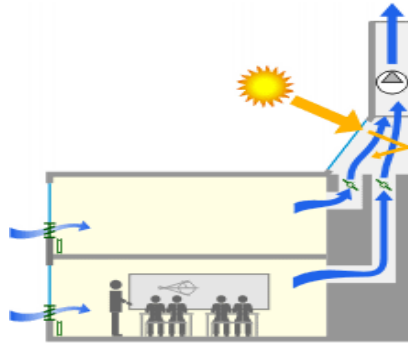


Figure I. 13: Schéma d'une ventilation par cheminées.

- Ventilation par atrium : L'intérêt de l'atrium est que le volume de bâtiment que l'on peut ventiler naturellement est doublé par rapport au cas précédent de la cheminée placée sur un côté, puisque l'entrée d'air se fait des deux côtés du bâtiment, tandis que l'extraction se fait au milieu [14].

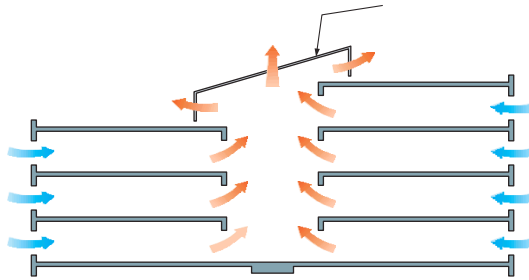


Figure I. 14: Schéma d'une ventilation par atrium [16].

- La ventilation par capteur à vent permet d'assurer le renouvellement hygiénique de l'air et de rafraîchir le bâtiment par déstockage. Le vent est ici le moteur de la circulation de l'air celui-ci s'engouffre au niveau du capteur, créant une suppression localisée ressort en façade.

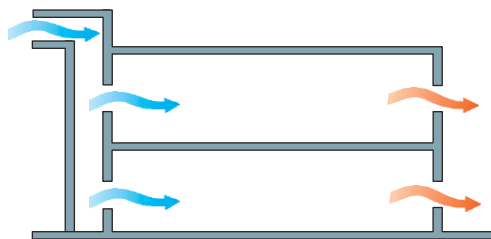


Figure I. 15: Schéma d'une ventilation par capteur a vent-Natural [16].

- La ventilation par puits dépressionnaire : permet de rafraichir un bâtiment par déstockage et de créer une vitesse d'air. Ce concept aéraulique, contrairement à la ventilation traversant de façade a façade, utilise un patio ou un puits de désenfumage ou autre, prolongé par une émergence en toiture en forme de cheminée pour créer une forte dépression [15].

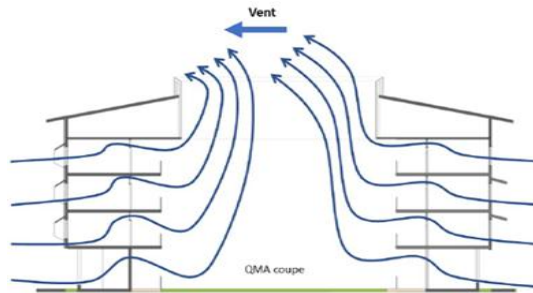


Figure I. 16: La ventilation par puits dépressionnaire.

Murs Trombe

C'est un mur vierge orienté, selon l'hémisphère, vers la position la plus favorable au soleil. Pour sa construction, les matériaux utilisés sont ceux qui permettent d'absorber la chaleur sous forme de masse thermique, tels que : le béton, la pierre ou l'adobe [8].

Son principe est des plus simples : un vitrage extérieur placé devant un mur en béton, pour provoquer un effet de serre. Entre les deux, la lame d'air est réchauffée. Des ouvertures sont pratiquées dans les parties basses et hautes du mur de manière à créer une circulation d'air par thermosiphon entre la lame d'air et les locaux à chauffer. L'air chauffé dans la lame d'air pénètre ainsi par les ouvertures supérieures dans les locaux. En chauffant la pièce, il se refroidit au contact de l'air du local et une fois rafraichi, revient par les ouvertures inférieures dans la lame d'air pour se réchauffer à nouveau [13].

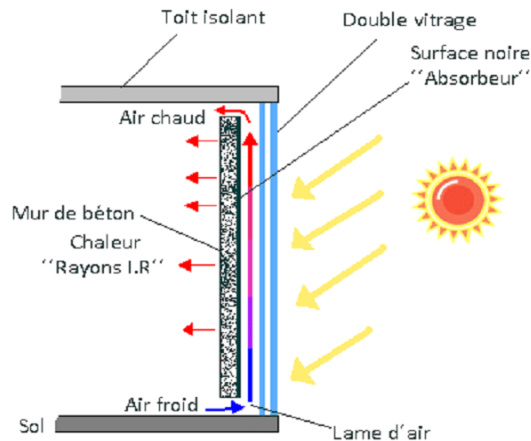


Figure I. 17: Schéma du principe du mur Trombe.

Isolation thermique

Pour améliorer l'efficacité énergétique de la maison et diminuer la consommation d'énergie l'isolation thermique est un passage obligatoire.

Une bonne isolation permet de limiter la consommation d'énergie, et donc de réduire l'émission de gaz à effet de serre. Cela permet ainsi de lutter contre le changement climatique.

La qualité thermique d'un isolant peut-être exprimée par différents critères et unités physiques on cite les plus nécessaires.

- La conductivité thermique λ : c'est la propriété qu'ont les corps de transmettre la chaleur par conduction, convection et rayonnement. Plus le λ est petit, plus le matériau est isolant. Exprimée en watt par mètre Kelvin (en $W/m \cdot ^\circ C$).
- La résistance thermique (R) : C'est la résistance du matériau au passage de la chaleur. Exprimée en m^2 Kelvin par Watt, $R = e/\lambda$ ($m^2 \cdot ^\circ C/W$).
- Le coefficient de transmission thermique U : Exprimé en watt par m^2 Kelvin, $U = 1/R$ ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) Plus U est faible, plus la paroi est performante
- L'inertie : c'est la capacité de stockage thermique des matériaux, les matériaux lourds comme la pierre et le béton ont beaucoup d'inertie [11]
- Pertes de chaleur : Elles se produisent naturellement entre la maison et l'extérieur. Il convient d'utiliser une quantité suffisante d'isolant et de surveiller les ponts thermiques, la ventilation et l'étanchéité du bâtiment.
- Transmission thermique U : Propriété physique des matériaux qui mesure la quantité d'énergie qui traverse un élément dans une unité de temps. Unités du système international $W/m^2 \cdot K$. Plus la valeur U est faible, plus le logement sera de bonne qualité [8].



Figure I. 18: Différents types d'isolations thermiques.

L'isolation doit être appliquée à toutes les parois de la construction en utilisant des isolants dont les caractéristiques thermiques (coefficient de transfert thermique, taux des baies

vitrées,...) respectent au minimum les exigences du Règlement Thermique de Construction. Le produit isolant doit être choisi en fonction de son application dans le bâtiment [9].

Étanchéité à l'air

Assurer un bon niveau d'étanchéité à l'air dans un bâtiment consiste à maîtriser les flux d'air qui circulent à travers les orifices volontaires (bouches de ventilation et entrées d'air) et à limiter les flux incontrôlés pouvant causer inconfort, et gaspillage d'énergie. Les principaux enjeux liés à l'étanchéité à l'air sont :

- Le confort thermique.
- La facture énergétique,
- La conservation du bâti.
- Maintenir la performance des isolants thermiques tout au long de la vie du bâtiment.

Traiter le problème de l'étanchéité à l'air du bâtiment revient à s'attaquer à tous les points sensibles de manière transversale sur l'ensemble des lots techniques et non techniques [14].

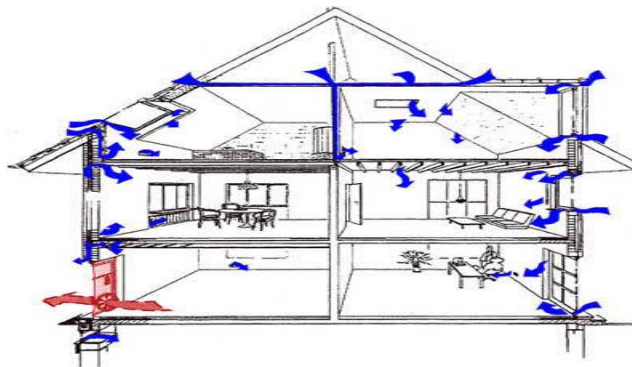


Figure I. 19: Étanchéité à l'air.

I.1.5 Les solutions actives

La conception active se concentre directement sur le choix et la conception des systèmes de production et de consommation d'énergie. La réduction de la consommation d'énergie des systèmes énergétiques d'un bâtiment peut être obtenue essentiellement de deux façons :

- ✓ Réduire la consommation, mettre en place une consommation plus efficace avec des pertes moindres.
- ✓ Introduire des machines ou des systèmes de production plus efficaces, et profiter de l'énergie "gratuite" provenant des énergies renouvelables [8].

La mesure des consommations

La mesure constitue un élément-clé de la définition, de la réussite et de la pérennité d'une démarche par son usage important et croissant, l'électricité joue un rôle-clé dans ce processus car elle offre de nombreuses solutions d'efficacité énergétique active, c'est-à-dire d'utilisation de l'énergie juste nécessaire par les :

- Automatismes et la régulation des usages,
- Fonctions de mesure et de télé service des usages élémentaires.

La mise en place de systèmes électriques et de services associés peut générer directement jusqu'à 30 % d'économies d'énergie grâce à :

- Des systèmes de pilotage et d'automatisation des unités de production thermique (chaude et froide)
- Une régulation de l'éclairage, des entraînements à vitesse variable appliquées aux pompes et ventilateurs.
- Des Contrats de Performance Energétique (CPE) [14].

L'affichage des consommations

Un afficheur permet une visualisation pour les différents usages de la consommation ou des coûts instantanés, horaires, journaliers, l'historique des consommations voire les économies réalisées.

Pour un impact optimum, les consommations doivent être affichées en temps réel et l'afficheur positionné dans le lieu de vie pour que l'utilisateur soit sensibilisé « en permanence ». Cet affichage permet à l'utilisateur, par effet pédagogique, d'adapter son comportement, de prévoir des travaux ou des investissements en équipements ou en solutions d'efficacité énergétique, de remarquer toutes dérives de consommation que ce soit à court terme ou à long terme.

Cette solution est simple à installer tant en neuf qu'en rénovation, elle ne nécessite pas de travaux lourds sur le bâti. En moyenne, une information claire et simple du consommateur ou des usagers, par poste dans le lieu de vie en temps réel permet des économies d'énergie de l'ordre de 10% [4].

Les systèmes intelligents de régulation et gestion

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

Dans le milieu tertiaire, nous arrivons à des systèmes complexes de GTB (Gestion Technique du Bâtiment).

Dans l'habitat individuel, un simple thermostat d'ambiance constitue le premier système de régulation.

Ces systèmes s'installent sur des sites neufs, mais également sur des sites existants. Ils permettent ainsi de :

- Consommer ce qui est nécessaire pour maintenir ou améliorer la qualité de vie dans le bâtiment (notion de confort), tout en contribuant à économiser l'énergie. En effet, la notion de confort et la notion d'économies d'énergie sont des indicateurs clefs de la qualité de la régulation. Ils contribuent efficacement à la performance de l'installation ;
- Fournir un outil de pilotage de l'installation à l'utilisateur ;
- Aider à modifier le comportement humain, afin d'adopter de bons réflexes (comme par exemple, éteindre le chauffage lorsqu'une fenêtre est ouverte).

C'est notamment le cas des systèmes de régulation pour les équipements de chauffage, de ventilation ou d'éclairage (systèmes centralisés ou embarqués) qui permettent d'adapter la consommation aux conditions extérieures et en fonction de la présence des utilisateurs (capteurs) [4].

L'utilisation de produits performants

Pour réduire les consommations d'énergie, il est indispensable de choisir des équipements possédant le meilleur rendement énergétique possible, c'est-à-dire le meilleur rapport entre l'énergie consommée et le service rendu [4].

- Les équipements électroménagers :
 - ✓ Le réfrigérateur et le congélateur représentent plus de 35% de la consommation totale d'électricité d'un ménage ;
 - ✓ Choisir des appareils électroménagers de classe A++ ;
 - ✓ Éviter d'installer un appareil de production de froid dans une pièce chaude ou à proximité d'une source de chaleur (four, cuisinière,...) ;
 - ✓ Installer le réfrigérateur dans un endroit qui n'est pas exposé au soleil [9].
- Lave-linge :
 - ✓ Choisir de préférence un modèle de classe d'Efficacité Énergétique A++ ;
 - ✓ Adapter la capacité du lave-linge à vos besoins ;
 - ✓ Remplir le lave-linge au maximum pour diminuer le nombre de lessives hebdomadaires ;
 - ✓ Laver à la température la plus basse possible. Un cycle à basse température (30 à 40 °C) consomme trois fois moins d'énergie qu'un cycle à 90 °C [9].

L'intégration des énergies renouvelables (EnR)

Le recours aux énergies renouvelables dans une démarche d'amélioration énergétique permet d'obtenir une partie de l'énergie nécessaire au bâtiment (électricité, chauffage, eau chaude sanitaire) de façon renouvelable et donc de diminuer voire supprimer l'apport d'énergie extérieur, comme l'énergie solaire thermique, photovoltaïque et la biomasse.... [4].

L'état de l'art

➤ En 2012 :

Le travail de **Mr. Céline Varenio**, dont le thème « L'efficacité énergétique dans les bâtiments existants : déficit d'investissement, incitations et accompagnement » a pour objectif d'évaluer l'efficacité des dispositifs publics qui visent à inciter les agents à rénover leur logement afin d'en réduire la consommation énergétique, et d'analyser le déficit d'efficacité énergétique en comparant les prescriptions qui peuvent être issues des calculs utilisés en économie publique concernant les investissements à réaliser.

Résultats : Une grande partie de ses objectifs de réduction de GES fixés à 60 % d'ici 2025 par le London Climate Change Action Plan. Les technologies identifiées permettent de parvenir à une réduction de 44 %, passant de 44 Mt de CO₂ en 1990 à 26 Mt en 2025, le coût

moyen de réduction pourrait être nul. Dans le secteur du bâtiment, le potentiel d'économies d'énergie a été estimé à 10,6 Mt de CO₂ (soit 24% du potentiel total de réduction sur l'ensemble des secteurs). Environ trois-quarts de ces changements sont contrôlés par les consommateurs et la plupart des mesures dépendent donc des choix privés des individus [18].

➤ **En 2013 :**

Le travail de **MR. BOURSAS ABDERRAHMANE**, dont le thème « étude de l'efficacité énergétique d'un bâtiment d'habitation à l'aide d'un logiciel de simulation » a étudié l'impact des mesures d'efficacité énergétique passives sur les besoins énergétiques thermiques d'un bâtiment résidentiel de la ville de Constantine.

Résultat: Le résultat a montré que l'emploi des mesures d'efficacité énergétique passives, à savoir : la compacité du bâtiment, la répartition des pièces intérieures et l'emploi des fenêtres performantes bien réparties dotées d'une protection solaire permanente bien dimensionnée et l'isolation thermique pour le double mur en brique creuse améliore la performance énergétique de près de 2/3; par ailleurs, l'utilisation de la botte de paille comme matériau de construction est la meilleure solution pour permettre un bénéfice énergétique au niveau du chauffage, alors que la pierre permet d'obtenir le meilleur profit au niveau de la climatisation [14].

➤ **En 2020 :**

Le travail de **Mr. SOFIANE RAHMOUNI**, dont le thème « Evaluation et amélioration énergétique de bâtiment dans le cadre du programme national d'efficacité énergétique », a évalué l'impact des mesures proposées sur la consommation énergétique d'un bureau standard construit, selon la réglementation algérienne (l'orientation, isolation, les vitrages, protection solaire) L'étude est menée sur trois villes algériennes (Ouargla, Batna et Alger).

Résultats : La consommation d'énergie finale ainsi que les émissions de CO₂ pouvaient être réduites d'environ 41% ,31% et 26% respectivement pour Ouargla, Batna et Alger. En outre, il pourra réduire le coût de l'énergie jusqu'à 22% pour Alger, 28% pour Batna, et 39% pour Ouargla [19].

➤ **En 2021 :**

Le travail de **BRAGDI HARKAT**, dont le thème est intitulé «Contribution des techniques passives et actives sur les performances énergétiques dans le bâtiment collectif »,

étudie la contribution des techniques passives (l'isolation thermique, toit réfléchissant et, les vitrages performants) et active (des collecteurs photo-thermiques et PV) sur les performances énergétiques dans le bâtiment collectif.

Résultats : après l'analyse de la réduction des besoins en chauffage et climatisation, les solutions passives appliquées permettent d'obtenir une maison passive, et qu'il est possible de couvrir une grande partie des besoins en ECS et les besoins électrique. Une maison à zéro énergie et obtenue sous le climat de la ville de Constantine [20].

Le travail de **BENBOUABDELLAH Daouia, ZERARI Fadia**, dont le thème « Evaluation des performances énergétiques d'un bâtiment intelligent ». Une étude a été faite au sein du centre de recherche «CNERIB» sur un bâtiment, qui est en cours de construction, par le logiciel TRNSYS pour évaluer les performances énergétiques (consommation du chauffage et climatisation) de ce bâtiment, et remplacer les énergies fossiles par des énergies renouvelables pour la production d'électricité en utilisant le logiciel PVSYST pour le dimensionnement de l'installation des panneaux solaires.

Résultats : l'utilisation des matériaux innovant pour l'isolation thermique et le type de vitrage (triple) sont parmi les solutions les plus efficaces qui permettent une réduction notable des besoins énergétiques, dans leur cas, par un rapport de 3% entre le bâtiment classique avec une isolation (lame d'air) et un bâtiment intelligent avec occultation variable. Ainsi que l'intégration d'une occultation variable comme une solution intelligente permet d'assurer un confort thermique plus fiable et diminuer les besoins de chauffage et climatisation avec un rapport de 1% entre l'occultation constante et variable pour le bâtiment intelligent [21].

AMIOUR Yahia, BOUBEDNIKH Oussama, dont le thème «L'effet de la nature des matériaux isolants sur L'efficacité énergétique des bâtiments», ont étudié la nature des matériaux isolants et son impact sur la diminution de l'énergie consommée dans les bâtiments soit l'énergie de chauffage ou de climatisation.

Résultats : L'isolation thermique est un investissement efficace pour l'économie d'énergie dans les bâtiments, les fenêtres en tant que partie sensible dans les bâtiments doivent être isolées au moins par un double vitrage, les matériaux synthétiques comme le polystyrène sont plus efficaces par rapport aux matériaux naturels, la lame d'air n'est pas efficace pour l'isolation thermique dans les climats chauds, et les matériaux isolants d'origines métalliques ou les fibres végétales sont efficaces pour diminuer la consommation d'énergies de chauffage et de climatisation [22].

Le but du travail de **REZZIK Sahbi, KIRAD Mohammed Abdelbass et**, dont le thème «Contribution à l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments en panneaux sandwichs préfabriqués» est de calculer la consommation énergétique des trois blocs (bloc A, bloc B et bloc VIP) au sud de l'Algérie (Hassi Messaoud), et comparer celle des blocs réalisés en PSCP avec celles du béton armé et de la brique creuse, et comparer les performances thermiques de ces derniers, et aussi l'impact économique que les PSCP apporteront dans le secteur du bâtiment concernant les factures énergétiques (chauffage et climatisation).

Résultats : les panneaux sandwichs sont plus performants en termes de performances thermique comparés au béton armé et à la brique creuse, arrivant à une différence moyenne dépassant les 40000 kWh en consommation énergétique annuelle comparé au béton armé, soit un rapport de 52% par rapport au béton armé (Bloc A), 61% pour le bloc B et 70% pour le bloc VIP. L'importance de l'orientation des bâtiments, faisant en sorte de changer les directions des diverses façades de chacun des blocs, pour arriver à favoriser l'orientation au sud/est, suivie de l'orientation sud/Ouest, sud, et Est. Avec une différence de presque 2000 kWh par rapport au cas le plus défavorable (orientation est), et les fenêtres en PVC (simple vitrage) sont plus déprédatives par rapport à celles en aluminium (double vitrage), avec une légère différence de quelques centaines de kilowatts [23].

En 2022 :

Rim Slimane Zitoune, Douaa Mazouza, dans leur étude ayant pour thème «La conformité des bâtiments à la réglementation algérienne en hiver et en été», ont étudié la complexité du confort thermique dans un bloc R+9 et appartements F3 et évalué l'impact des rénovations proposées : les deux types d'isolation thermique extérieure (mortier isolant), intérieure (polystyrène) et le double vitrage dans les fenêtres, sur les besoins énergétiques en chauffage et en climatisation de ce bâtiment.

Résultats : l'utilisation des matériaux innovants pour l'isolation thermique (polystyrène et le mortier isolant) et le type de vitrage (Double) sont parmi les solutions les plus efficaces qui permettent une réduction notable des besoins énergétiques. Un rapport de 4% est trouvé entre le simple vitrage avec un double vitrage [24].

Conclusion

Afin de réussir à optimiser la performance énergétique des bâtiments en Algérie, il est recommandé aux professionnels d'adopter les bonnes solutions d'efficacité énergétique passive et active, tant au niveau de la construction et de l'enveloppe des bâtiments, qu'au niveau du choix et de l'utilisation des équipements.

Avec des gestes simples et des investissements minimes il est possible d'améliorer de façon importante l'efficacité énergétique des bâtiments, de réduire la facture électrique et de favoriser le confort de l'utilisateur.

Chapitre 02 : Matériaux d'isolation thermiques et matériaux de construction innovants

Introduction

Pour améliorer le confort thermique dans un bâtiment et économiser de l'énergie, il est nécessaire de mettre en œuvre des matériaux particulièrement performants, apportant une bonne isolation thermique. En effet, une bonne isolation thermique entraîne le choix d'équipements de climatisation moins puissants donc plus économiques. Dans la plupart des cas, l'isolation est obtenue par l'emploi de matériaux spécifiques, qui, outre une bonne résistance à la transmission de la chaleur, doivent présenter d'autres qualités qui sont fonction des impératifs de mise en œuvre comme :

- La légèreté et la non hygroscopicité afin de conserver dans le temps ses qualités isolantes,
- Une bonne résistance mécanique.
- Une bonne tenue aux températures d'emploi.
- Une absence d'effets nuisibles sur les matériaux en contact avec l'isolant.

On peut par exemple, au cas où il y a nécessité d'isolation complémentaire, opter pour la mise en œuvre d'isolants pour habiller la construction tant par l'intérieur que par l'extérieur, mais dans ce cas il faudrait traiter les ponts avec soin. Une autre solution consiste à faire appel à des matériaux qui, en raison de leurs propriétés isolantes, se suffisent à eux-mêmes et ne nécessitent pas la mise en œuvre d'une isolation complémentaire.

Matériaux de construction innovants

Matériaux innovants sont dits composites, ils consistent en une combinaison de deux matériaux de natures différentes, se complétant et permettant d'aboutir à un matériau dont l'ensemble des performances est supérieur à celui des composants pris séparément.

Et dans un sens plus précis, un matériau composite utilisé dans la réparation des structures est par définition, toute matière première comportant au moins deux composants : le renfort et la matrice. La matrice est généralement une matière plastique, les fibres utilisées sont essentiellement des fibres de verre ou de carbone.

I.1.6 Briques mono-mur

La brique mono-mur est fabriquée à partir de terre cuite. Sa structure alvéolaire permet de stocker l'air. En été, la maison reste fraîche et en hiver, ses performances d'isolation sont excellentes. Notons aussi que la structure de la brique mono-mur ne retient pas l'humidité. La brique mono-mur est beaucoup plus épaisse. La largeur d'une telle brique se situe en effet entre 30 et 37 centimètres, soit près de deux fois plus qu'une brique classique. En raison de sa conception alvéolée, la brique mono-mur est naturellement isolant, et permet de concevoir des bâtiments qui sont moins coûteux à chauffer, en limitant les ponts thermiques [37].



Figure II. 1: La brique mono-mur.

Les Caractéristique

- La brique mono-mur est conçue avec de la terre cuite.
- La brique mono-mur est un matériau naturellement très isolant
- Elle permet de réelles économies d'énergie sur toute la durée de vie de la maison (durable).
- La terre cuite n'est pas nocive pour la santé des occupants.
- La production de la brique mono-mur est respectueuse de l'environnement.
- Isolation thermique : Isolation phonique
- Régulation de l'humidité
- Facilité de pose, légère et facile à manipuler [39].

Types de la brique mono-mur

La brique mono-mur est surtout utilisée dans le cadre d'un projet de construction. Elle se décline en deux grandes catégories adaptées à des applications spécifiques.

Brique mono-mur classique

Moins technique des deux solutions, la brique mono-mur classique est adaptée à la construction d'une maison « standard ».

En effet, ce matériau possède des qualités isolantes peu élevées. Il faut ajouter une couche d'isolant comme la laine de roche par l'intérieur et par l'extérieur pour améliorer sa performance et atteindre les exigences de la RT 2012. Elle reste néanmoins plus isolante qu'un parpaing classique.

Capable de soutenir une charge technique équivalente à 5 étages, la brique monomur peut servir pour la construction de bâtiment collectif.



Figure II. 2 : brique monomur classique

Brique mono-mur à isolation intégrée

La brique mono-mur à isolation intégrée est une brique isolante réalisée avec des alvéoles remplies de laine de roche. Ainsi, elle possède d'excellentes performances énergétiques.

Ce matériau peut être utilisé pour la construction d'une maison basse consommation. Pour en savoir plus sur les maisons BBC, veuillez suivre ce lien.

Cette brique mono-mur est plus coûteuse, mais permet de faire des économies sur le coût d'isolation d'une maison.



Figure II. 3 : brique mono-mur a isolation intégrée .

Règles de mise en œuvre de la brique mono-mur

- Pose et mise à niveau des platines.
- Confection d'un lit de mortier.
- Pose du 1er rang et réglage
- Préparation de la colle (mortier-colle)
- Humidification du support, enlevez les particules de poussière pour augmenter l'adhérence du mortier-colle sur la brique.
- Application de la colle et pose du 2^{ème} rang .
- Vérification du niveau (Tout au long de la pose). Calfeutrement [40].

Avantages

✓ **Facile à mettre en œuvre :**

- Sa pose est relativement facile.
- La création d'un mur en brique mono-mur permet de bénéficier de jusqu'à 30% de gain de temps par rapport à la construction d'un mur en parpaings.

✓ **Un isolant thermique et phonique performant :** possède une conductivité thermique comprise entre 0,12 et 0,18 W/m.K pour les briques mono-mur classiques et une forte inertie thermique.

✓ **Sain :** la brique mono-mur est un matériau respirant, capable de réguler l'humidité. Elle ne génère pas de particules polluantes ou toxiques. Ce matériau est également résistant aux rongeurs [39].

Inconvénient

- Le principal inconvénient de la brique mono-mur est son prix plus élevé, par rapport à celui d'une brique traditionnelle.
- Disponibilité limitée : Dans certaines régions, la brique mono-mur peut ne pas être largement disponible.
- Temps de séchage : Le mortier utilisé pour la pose de la brique mono-mur nécessite un temps de séchage adéquat [39].

I.1.7 L'IPAC

L'IPAC (isolant porteur alvéolaire cellulose) est un isolant thermique efficace et écologique en plus d'offrir d'autres avantages : une grande résistance aux intempéries (il a su faire face à 31 tempêtes à Belle-Île-en-Mer), des qualités écologiques qui concordent avec le concept de développement durable. Le carton peut en effet être recyclé sept fois. La colle est à base d'amidon de maïs ou de blé et la fabrication ne nécessiterait que peu d'énergie [25].



Figure II. 4 : Isolant porteur alvéolaire cellulosé.

I.1.8 La toile de béton

Ce matériau révolutionnaire est un tissu de béton en rouleau. Sa flexibilité offre des possibilités de conception illimitées aux architectes et laisse présager de nouvelles prouesses pour la construction.

La solution brevetée Concrete Canvas est utilisée pour un large éventail d'ouvrages de construction. Elle permet de construire des structures en béton très facilement et sans trop de formation technique. L'installation est généralement dix fois plus rapide : il suffit de déplier un rouleau préparé et d'ajouter de l'eau [31].



Figure II. 3: La toile de béton.

I.1.9 Le béton auto cicatrisant

L'expression « béton auto-cicatrisant » semble de prime abord assez fantaisiste. Le béton auto cicatrisant répare les fissures du béton à l'aide de bactéries. Le principe de la technologie est simple : des capsules contenant des bactéries et des nutriments sont ajoutées au béton. Les bactéries sont activées dès qu'elles sont touchées par de l'eau. Le béton fissuré est alors reconstruit grâce à l'humidité et rempli de calcaire produit par les bactéries [32].

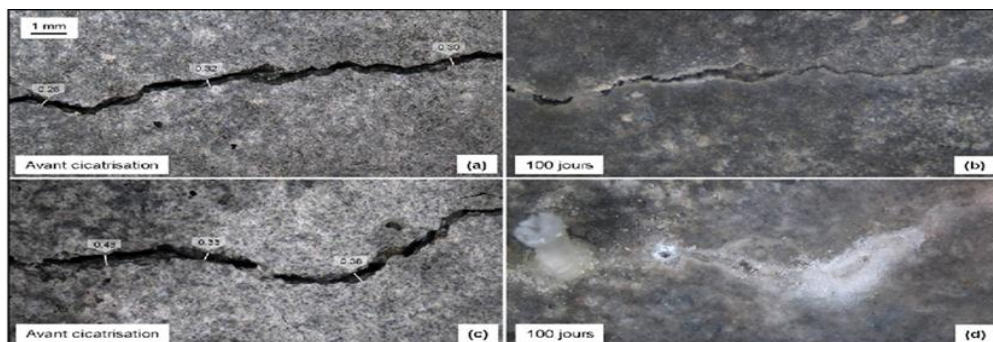


Figure II. 5: Béton auto-cicatrisant.

I.1.10 Briques d'argile creuses

Les briques d'argile creuses sont perforées et spécialement doublées d'un matériau isolant. Elles sont légères, respectueuses de l'environnement et ont une faible absorption d'eau. Elles sont également de meilleures vues esthétiques par rapport aux briques traditionnelles. Étant donné que ces briques sont plus légères, elles favorisent une construction plus rapide et l'achèvement précoce du projet. Elles ont une bonne résistance à la compression et peuvent être utilisées dans les murs de séparation [32].



Figure II. 6: Brique d'argile creuse.

I.1.11 Le béton de lin

Les bétons de lin possèdent des propriétés intéressantes pour l'isolation.

Toutefois, la solidité de ces bétons est un critère essentiel pour la construction. Le béton de lin posséderait une résistance à la compression plus importante, et l'amélioration de cette performance devrait permettre à terme d'utiliser le béton de lin pour des dalles ou des murs porteurs, isolants et ayant un faible impact environnemental car le lin est produit en grande quantité [36].



Figure II. 7: Le béton de lin.

I.1.12 Le bois transparent

Le bois transparent est un matériau issu de bois brut, qui a été augmenté et amélioré : en plusieurs étapes, la lignine est prélevée, et les zones de vide comblées avec de l'époxy. Le bois transparent est un bois augmenté qui a de multiples qualités :

Sa résistance est renforcée, il devient plus résistant que du bois brut et aussi plus rigide.

Il laisse passer environ 80% de la lumière quelle que soit l'angle d'arrivée de la lumière.

Il est imputrescible, il résiste à l'eau.

Il a de meilleures propriétés isolantes.

Sous certaines formes, il absorbe puis libère de la chaleur [35].

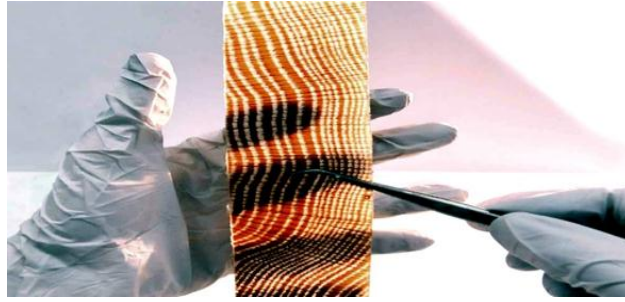


Figure II. 8: Le bois transparent.

I.1.13 Ciment générateur de lumière

Le béton peut absorber et rayonner la lumière, offrant une meilleure fonctionnalité et polyvalence en matière d'efficacité énergétique. Le ciment générateur de lumière a de nombreuses utilisations potentielles. Il peut être utilisé dans les parkings, les piscines et les panneaux de sécurité routière. Ce ciment est produit en modifiant la microstructure du ciment pour qu'il absorbe l'énergie solaire et émette plus tard de la lumière dans l'obscurité. Actuellement, les couleurs du ciment générant de la lumière sont le bleu et le vert, et les entrepreneurs peuvent ajuster l'intensité lumineuse pour répondre aux exigences [32].

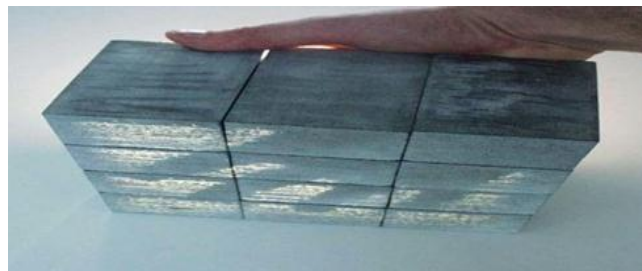


Figure II. 9: Ciment générateur de lumière.

Matériaux d'isolation thermiques

I.1.14 Les Fibragglos

Les fibragglos sont des panneaux fabriqués à partir de fines lanières de bois résineux, minéralisés puis enrobés selon les fabrications, de ciment, de chaux hydraulique, de plâtre ou de magnésie. Les panneaux sont de différentes épaisseurs (de 15 à 100 mm) et leurs faces peuvent recevoir un enduit s'ils sont utilisés comme isolation extérieure sur mur à ossature bois ou rester apparentes et surfacées pour offrir un effet décoratif et acoustique. Ils peuvent également être installés en sous face de dalle ou en fond de coffrage, ou en parements intérieurs[26].



Figure II. 10: Panneau fibragglos.

Propriétés physiques du matériau

- la conductivité thermique peut varier de 0.08 à 0.10 W/m.°C
- La densité du matériau varie de 250 à 450 kg/m³
- La chaleur spécifique du matériau varie de 1700 à 2300 J/kg.°C
- Le coefficient de diffusion de la vapeur d'eau peut varier entre 5 et 20.

Avantage :

- ✓ Non consommable par les rongeurs, très difficilement dégradable.
- ✓ Sans effet négatif sur la santé, précaution à prendre en phase chantier.
- ✓ Performance acoustique intéressante du fait de la surface caverneuse qui évite la réverbération des sons.
- ✓ Bon bilan carbone.

Inconvénients :

- Putrescible en cas d'humidité persistante.
- Energie grise modérée.
- Coût de fabrication et pollution dues aux liants.
- Filières de recyclage inexistantes.

I.1.15 La laine de roche

Laine de roche, les matières premières utilisées sont des roches volcaniques comme le basalte. Dès leur constitution, les fibres sont enrobées par pulvérisation de résines à base d'urée-formol, dont la proportion peut atteindre 10%. La nappe constituée passe dans une étuve où la résine est durcie par polymérisation, assurant la stabilité et la tenue mécanique de l'ensemble [38].



Figure II. 11: La laine de roche..

Propriétés physiques du matériau

- Densité : 20 à 15020 à 15020 à 15020 à 150 kg/m³
 - Conductivité thermique λ : 0.039 W/m.°C 0.039 W/m.°C
 - Capacité thermique S : 21 a 157 kJ/m³.°C.
 - Classement au feu : M1.
- Résistance à la vapeur d'eau μ : 1 à 4 [38].

Avantages :

- ✓ Conditionnements variés (vrac, rouleaux, plaques, triangles).
- ✓ Coût.
- ✓ Imputrescible.
- ✓ Incombustible, ininflammable.
- ✓ Densité et capacité thermique plus élevé que la laine de verre.

Inconvénients :

- Dégradations mécaniques et des performances thermiques en présence d'humidité à cause de mise en œuvre souvent négligée.
- Ressource non-renouvelable.
- Impacts sanitaires et environnementale.

I.1.16 Béton cellulaire

L'isolation répartie consiste à construire un bâtiment avec un matériau qui est à la fois porteur et isolant. Le béton cellulaire est composé (64%) de sable blanc très pur, contenant 95% de silice, (15%) de chaux, (20%) de ciment, (1%) de gypse, (0.05%) de poudre aluminium). Il s'agit d'une roche alvéolaire, légère, aux propriétés isolantes et hygrorégulantes. De plus il apporte une bonne inertie thermique au bâtiment, le déphasage

obtenu grâce à l'inertie du matériau est de plus de 13 heures pour une épaisseur de 30 cm, ce qui permet de retarder et d'amortir le flux de chaleur entrant en été et sortant en hiver [26].



Figure II. 12: Isolation en béton cellulaire.

Propriétés physiques du matériau :

- La conductivité thermique peut varier de 0.08 à 0.29 w/m.°C .
- La densité du matériau varie de 350 à 825 kg/m³.
- La chaleur spécifique du matériau peut varier de 800 à 1000 J/kg. °C .
- Le coefficient de diffusion à la vapeur d'eau varie entre 5 et 10.

Avantage :

- ✓ Matériau imputrescible, non dégradé par les rongeurs et les insectes.
- ✓ Le béton cellulaire est inerte et ne présente aucune émanation de Composés Organiques Volatils (COV).
- ✓ Incombustible et ininflammable.
- ✓ Très bonne durabilité, stabilité dimensionnelle et résistance à la compression.
- ✓ Matière brute hydrophile, perméable à la vapeur d'eau, il peut absorber jusqu'à 5% de son poids.

Inconvénients :

- Ressources naturelles non renouvelables mais abondantes.
- Coût plus élevé que les éléments de maçonnerie traditionnels.

I.1.17 Argile expansée

Les billes d'argile expansée sont obtenues par la cuisson de granules d'argile crue à 1100 °C dans des fours rotatifs. Elle permet une isolation thermique du sol dans les bétons isolants. Elle est imperméable et offre une grande résistance à la compression ; son utilisation est donc recommandée pour des toitures terrasses ou des caves. Par contre, elle est considérée comme un isolant de faible qualité dans son utilisation en vrac [28].



Figure II. 13: Argile expansée.

Propriétés physiques du matériau :

- Densité : 290 à 700 kg/m³
- Conductivité thermique : 0,103 à 0,108 W/m.K
- Classement au feu : M0
- Coefficient de résistance à la vapeur d'eau : varie en fonction du liant utilisé.
- Énergie grise : 300 kWh/m³
- Bilan CO² : moyen [28].

Avantages :

- ✓ Légèreté, qualités thermiques et phoniques.
- ✓ Matériau unique aux applications polyvalentes.
- ✓ Imputrescible.
- ✓ Pas de dégagement toxique.
- ✓ Résistance à l'humidité [26-27].

Inconvénients :

- Performance thermique médiocre.
- Coût.

I.1.18 Laine de verre

La laine de verre est élaborée à partir de sable et de verre recyclé ou calcin, par fusion et fibrage.

Le conditionnement se fait sous plusieurs formes ; les panneaux principalement pour les murs, les rouleaux pour les combles perdus et la toiture, et le vrac pour les combles perdus. Les applications peuvent varier suivant la configuration de l'habitation et le confort recherché.

La réaction au feu est passive dans les cas testés, puisque la laine de verre est incombustible par nature. Elle empêche la propagation des flammes. La mise en œuvre est simple grâce à sa structure souple et élastique. La tenue dans le temps de la laine de verre avec des performances optimales est d'une dizaine d'années, au-delà elle commence à se tasser et ses performances diminuent. La résistance à l'eau est acceptable à court terme ; mouillée ses performances thermiques sont médiocres [27].



Figure II. 14: Isolation en laine de verre.

Caractéristiques techniques :

- Densité : 13 à 100 kg/m³.
- Conductivité thermique : 0.039 W/m.°C.
- Capacité thermique (S) : 14 à 104 kJ/m³.°C.
- Classement au feu : M1.
- Coefficient de résistance à la vapeur d'eau : 1 à 4.

Avantages :

- ✓ Coût
- ✓ Performance thermique

Inconvénients :

- Dégradations mécanique et des performances thermiques en présence d'humidité
- Protection très limitée de la structure en cas d'incendie
- Protection indispensable pour la mise en œuvre.
- Ressource non-renouvelable.
- Impact sanitaire et environnemental.

I.1.19 Polystyrène expansé

Le polystyrène expansé est fabriqué à base de pétrole brut. Son processus de fabrication consiste à lier entre elles une multitude de billes par compression lors d'un moulage qui va emprisonner l'air sec immobile. Le polystyrène expansé est utilisé sous forme de panneaux et en vrac pour les bétons allégés. Il a une bonne capacité d'isolation, il est perméable à la vapeur d'eau.

C'est un matériau très léger, facile à travailler et avec une résistance mécanique élevée. Par contre son isolation phonique est médiocre et son mode de fabrication polluant, il est également très nocif en cas d'incendie[27].

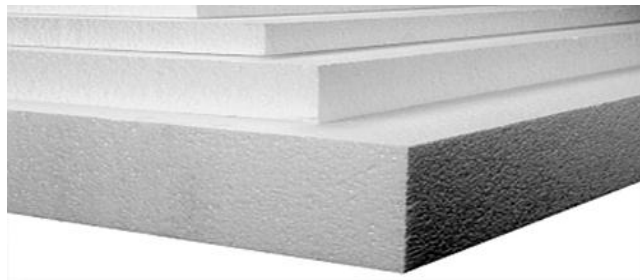


Figure II. 15: Polystyrène expansé.

Propriétés physiques du matériau

- Conductivité thermique moyenne : 0,040 W/m.K,
- Densité : de 10 à 40 kg/m³.
- Capacité thermique : 1,1 kJ/kg.K.
- Classement au feu : M1.

Avantages :

- ✓ Pose facile.
- ✓ Bonne capacité d'isolation.
- ✓ Bonne perméabilité à la vapeur d'eau.
- ✓ Très léger.
- ✓ Très bonne résistance à la compression.
- ✓ Facile à travailler.
- ✓ Economique.

Inconvénients :

- Isolation acoustique médiocre.
- Mode de fabrication polluant.

- Dégagement de gaz toxiques en cas d'incendie ; facilement inflammable.
- Déconseillé sur les surfaces irrégulières.
- Doit être associé à un revêtement ignifugé

Polyuréthane

Les mousses de polyuréthanes sont obtenues par catalyse et expansion à partir d'un mélange d'isocyanate, de polyol, et d'un gaz expanseur (CO_2) avec ajout de stabilisant et d'ignifugeants. On obtient des mousses dures à cellules fermées, peu compressibles et à très bon pouvoir isolant. Vu son déplorable bilan environnemental, l'utilisation du polyuréthane n'est pas compatible avec une approche écologique de la construction. Le polyuréthane est souvent employé pour la réalisation des coques isolantes des ballons d'eau chaude sanitaire. On trouve également des bombes aérosols pour réaliser des calfeutrements et des flocages par machines [26].



Figure II. 16: Polyuréthane.

Propriétés physiques du matériau

- La conductivité thermique peut varier de 0,024 à 0,03 $\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$.
- La densité du matériau varie de 25 à 50 kg/m^3 .
- La chaleur spécifique du matériau varie de 1300 à 1500 $\text{J/kg}\cdot^\circ\text{C}$.

Avantage :

- ✓ Matériau insensible à l'eau.
- ✓ Matériau peu à très peu perspirant, non hygroscopique, non capillaire.
- ✓ Utilisable noyé sous chape liquide ou en parties enterrés.
- ✓ Permet de se passer d'une dalle de ragréage.
- ✓ Moulage en éléments spéciaux type coque de ballon.

Inconvénients :

- Bilan carbone très mauvais et énergie grise très élevée.
- Matière première limitée (pétrole), difficilement recyclable.
- Mauvaise performance phonique.
- Dégradable par les rongeurs.

Conclusion

Il existe une multitude de matériaux qui ont des caractéristiques très variées les uns par rapport aux autres. Certains servent pour construire d'autres pour isoler. Ces matériaux sont des éléments clés dans la construction de bâtiments durables et économes en énergie. Ils offrent une meilleure résistance, une plus grande durabilité et une meilleure performance que les matériaux traditionnels, tout en réduisant la consommation d'énergie des bâtiments et en améliorant le confort thermique des occupants.

Dans cette partie nous verrons ce qu'est un matériau isolant et les caractéristiques physiques qui font de lui un matériau isolant.

Chapitre 03 : Calcul réglementaire des déperditions thermiques et des apports calorifiques

Partie 1 : Le DTR

I.1.20 Introduction

En Algérie, le bilan thermique est obligatoire pour toutes les nouvelles constructions et les rénovations importantes de bâtiments. C'est une étude qui permet d'évaluer la performance énergétique d'un bâtiment en analysant les flux de chaleur qui y circulent. Cette analyse permet de déterminer les points faibles du bâtiment en termes d'isolation, de chauffage et de climatisation.

La réglementation thermique en Algérie est un outil essentiel pour améliorer la performance énergétique des bâtiments et contribuer à la transition énergétique du pays. Elle permet également de sensibiliser les acteurs du secteur de la construction aux enjeux environnementaux et économiques liés à l'énergie.

Le DTR C 3.2/4 limite les déperditions calorifiques 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.

I.1.21 Déperditions calorifiques « Fascicule 1 » DTR C 3.2/4

Ce fascicule du Document Technique Réglementaire (DTR) 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).

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 porter atteinte au confort des utilisateurs.

Les objectifs sont :

- Détermination des déperditions calorifiques des bâtiments.
- Vérification de la conformité des bâtiments à la réglementation thermique.
- Dimensionnement des installations de chauffage des bâtiments.

- Conception thermique des bâtiments.

I.1.22 Bases de calcul

Sur la base du DTR, tout concepteur se doit de :

- Définir les volumes thermiques.
- Calculer pour chaque volume thermique les pertes par transmission et les pertes par renouvellement d'air.
- ✓ Vérifier quelles déperditions par transmission du logement sont inférieures aux déperditions de référence.
- ✓ Calculer éventuellement les déperditions de base qui expriment les besoins de chauffage.

I.1.23 Expressions générales des déperditions

Déperditions totales d'un logement

$$D = \sum D_i \quad [W/^\circ C]$$

Où $D_i [W/^\circ C]$ représente les déperditions totales du volume «i».

Déperditions par transmission d'un volume

$$(D_T)_i = (D_S)_i + (D_{Li})_i + (D_{inc})_i + (D_{sol})_i [W/^\circ C]$$

Déperditions par renouvellement d'air :

$$(DR)_i = (DR_V)_i + (DR_S)_i + (S)_i [W/^\circ C]$$

Vérification et déperditions de référence

Vérification réglementaire :

Les déperditions par transmission D_T doivent être vérifiées l'inégalité suivante :

$$D_T \leq 1,05 \times D_{réf}$$

- $D_{réf} [W/^\circ C]$ représente les déperditions de référence.

Calcul des déperditions de référence

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

- Les S_i [en m^2] représentent les surfaces des parois en contact avec l'extérieur.

- Le tableau qui va suivre indique les coefficients de transfert thermique de référence à prendre pour différentes zones climatiques et pour les surfaces suivantes :
- S_1 la toiture, S_2 le plancher bas, y compris les planchers bas sur locaux non chauffés, S_3 les murs, S_4 les portes, S_5 les fenêtres et les portes fenêtres. S_1, S_2, S_3 sont comptées de l'intérieur des locaux, S_4 et S_5 sont comptées en prenant les dimensions du pourtour de l'ouverture dans le mur.

- Puissance de chauffage:

La puissance de chauffage à installer doit toujours être supérieure aux déperditions de base.

I.1.24 Calcul de la puissance de chauffage

La puissance de chauffage Q pour un logement se calcule par :

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

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

Déperditions surfaciques par transmission à travers les parois

- Parois éparant deux ambiances à températures différentes

$$DS = K \times A \text{ [W/°C]}$$

- K [W/m².°C] est le coefficient de transmission surfacique (conductance).
- A [m²] est la surface intérieure de la paroi.

Déperditions à travers les ponts thermiques

Les déperditions à travers une liaison, ou pont thermique D_{li} , pour une différence de température de 1°C, sont données par la formule :

$$D_{li} = k_1 \times L \text{ [W/°C]}$$

Où:

- k_1 (en W/m.°C) représente le coefficient de transmission linéique de la liaison,

- L (en m) représente la longueur intérieure de la liaison.

Note: Les déperditions par ponts thermiques pour tout le logement peuvent être évaluées à 20% des pertes surfaciques par transmission à travers les parois du logement ,soit :

$$\sum(k_1 \times L) = 0,20 \sum(K \times A) [W/^\circ C]$$

Le coefficient de transmission linéique de la liaison kl :(de notre cas d'étude)

Cas1 : Sans isolation

- Liaison entre un mur et une menuiserie (menuiserie au nu intérieur)

$$kl = \frac{0,9 \times e}{1,25 + R_m} (w/m. ^\circ C)$$

On désigne par:

- e (enm) l'épaisseur du mur à isolation répartie,
- R_m (enm².C/W) la résistance thermique du mur à isolation répartie au droit de l'encadrement, résistances superficiel les non comprises,
- K (en W/m². °C) le coefficient K du mur avec son isolation éventuelle.

- Liaison des deux parois :

Liaison1 : parois identique (brique/brique):

$$kl=0,2 \times K \times e (W/m. ^\circ C)$$

On désigne par:

- K (en W/m². °C) la moyenne des coefficients K des deux parois sans l'isolant : $K=(K1 + K2)/2$.
- e (en m) l'épaisseur moyenne des deux parois sans l'isolant: $e=(e_1+e_2) / 2$.

Liaison 2 : parois différentes l'une paroi 2 constitue l'angle (brique /béton /plancher)

$$KL = \frac{0,2 \times e}{0,2 + R_2 \times \frac{e_1}{e_2}} (w/m. ^\circ C)$$

On désigne par:

- e (en m) l'épaisseur moyenne des deux parois sans l'isolant: $e=(e1+e2) / 2$,
- R_2 (enm².°C/W)la résistance thermique de la paroi constituant l'angle,
- e_2 (enm) l'épaisseur de la paroi constituant l'angle,

- e_1 (enm) l'épaisseur de la paroi constituant pas l'angle.

Liaison 3 : parois différentes paroi extérieure courante (brique /béton) :

$$k_l = \frac{0,4 \times e}{R \times 0,15} \text{ (w/m. } ^\circ\text{C)}$$

On désigne par:

- R_1 (en $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$) la résistance thermique de la paroi à isolation intérieure sans compter l'isolant,
- e_1 (enm) l'épaisseur de la paroi à isolation intérieure sans compter l'isolant,
- R_2' (en $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$) la résistance thermique comprise entre les nus intérieur et extérieur de la paroi à isolation répartie au droit de la paroi à isolation intérieure.

Cas 2 : isolation intérieure (polystyrène, laine de verre, laine de roche)

Liaison entre un mur et une menuiserie (menuiserie au nu intérieur): $k_l=0$

Liaison des deux parois:

- Liaison 01 : une paroi à isolation intérieure avec une paroi à isolation répartie.
- Liaison 02: parois différentes l'une paroi 2 constitue l'angle (mur/toiture).
- Liaison 03 une paroi intérieure et une paroi extérieure à isolation répartie.

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

On entend par local non chauffé tout local pour lequel le chauffage n'existe pas où risque d'être interrompu pendant de longues périodes, ainsi que tout local chauffé par intermittence.

Les déperditions à travers une paroi en contact avec un local non chauffé sont pondérées par un coefficient Tau, sans dimension, dit "coefficient de réduction de température". La valeur de Tau est comprise entre 0 et 1. Voici la formule qui exprime ce type de déperditions :

$$D_{\text{inc}} = \text{Tau} \times [\sum(K \times A) + \sum(K_1 \times L)] \quad [\text{W}/^\circ\text{C}]$$

- K [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$] est le coefficient de transmission surfacique de chaque partie.

- $A[m^2]$ est la surface intérieure de chaque partie surfacique.
- $K_l[W/m.°C]$ est le coefficient de transmission linéique de chaque liaison.
- $L[m]$ est la longueur intérieure de chaque liaison.
- **Tau** est le coefficient de réduction de température, il est soit calculé ou déterminé forfaitairement.

Tau est calculé par la formule suivante:

$$\text{tau} = \frac{t_i - t_n}{t_i - t_e} = \frac{de}{de + ac}$$

- t_i est la température intérieure.
- t_n est la température de l'espace non chauffé.
- t_e est la température extérieure.

Déperditions par renouvellement d'air

Les déperditions par renouvellement d'air doivent être prises en compte seulement lors du dimensionnement des installations de chauffage des locaux d'habitation. On ne considère que les valeurs moyennes, c'est-à-dire, les plus probables.

L'expression mathématique de DR se traduit par:

$$D_R = 0,34 \times (Q_V + Q_S) \quad [W/°C]$$

- **0,34** (en $Wh/m^3.°C$) est la chaleur volumique de l'air.
- Q_V (en m^3/h) est le débit spécifique de ventilation.
- Q_S (en m^3/h) est le débit supplémentaire par infiltrations dues au vent.
- $0,34 \times Q_{Van}$ (en $W/°C$) représente les déperditions dues au fonctionnement normal des dispositifs de ventilation, notées D_{RV} .
- $x Q_S$ (en $W/°C$) représente les déperditions supplémentaires dues au vent, notées D_{rs} .
- Le débit spécifique de ventilation Q_V un logement est donné par :

$$Q_V = \text{Max} [0,6 \times V_h; Q_{V\text{réf}}] \quad [m^3/h]$$

- V_h (en m^3) désigne le volume habitable.
- $Q_{V\text{réf}}$ (m^3/h) désigne le débit extrait de référence.

- Le débit extrait de référence Q_{Vref} est donné par l'équation:

$$Q_{vref} = \frac{5Q_{Vmin} + Q_{Vmax}}{6}$$

- Q_{Vmax} (en m³/h) est le débit extrait maximal de référence.
- Q_{Vmin} (en m³/h) est le débit extrait minimal de référence.

Les valeurs du débit extrait minimal de référence Q_{Vmin} , en fonction du nombre de pièces principales du logement, sont données dans le tableau suivant :

Le débit extrait maximal de référence Q_{Vmax} est la somme des débits extraits de chaque pièce de service du logement. Voir le tableau qui suit :

Le débit supplémentaire Q_s dû à l'effet du vent se calcule par:

$$Q_s = \sum (P_{Pi} \times e_{Vi}) [m^3/h]$$

- P_{Pi} (m³/h) (sous une différence de pression $\Delta P = 1 \text{ Pa}$) est la perméabilité à l'air de la paroi i.

- e_{Vi} (sans dimension) est le coefficient d'exposition au vent affecté à la paroi i.

1.1.25 Apports calorifiques «Fascicule1» DTRC3-4

Méthode de calcul des apports thermiques estivaux

Les charges thermiques estivales comprennent 3 types principaux de charge thermique

- Les apports thermiques dus aux parois.
- Les apports thermiques dus à l'air extérieur.
- Les apports thermiques internes.

Calcul des apports

Les apports calorifiques sensibles A_s et latents A_l sont donnés par:

$$A_s = A_{PO} + A_v + A_{Is} + A_{IFNs} [W] (1.1)$$

$$A_l = A_{Il} + A_{INFl} [W] (1.2)$$

Où:

- APO (en W) représente les apports par les parois opaques (cf.chapitre3),
- AV(en W) représente les apports à travers les parois vitrées (cf.chapitre4),
- AIs et AIi (en W) représentent les parties sensibles et latentes des apports internes
- AINf et AINf1 (en W) représentent les parties sensibles et latentes des apports dus aux infiltrations d'air (cf.chapitre6 de DTR).

Vérification réglementaire

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

$$APO(15h) + A_v(15h) \leq 1,05 \times A_{réf}(15h) [W]$$

Où:

- APO (en W) désigne les apports calorifiques à travers les parois opaques aériennes (cf. chapitre3)
- A_v (en W) désigne les apports calorifiques à travers les parois vitrées (cf. §4) ;
- A_{réf} (en W) désigne les apports calorifiques de référence (cf. § 3.2.2)

Apports à travers les parois

On distingue deux types d'apports cités au-dessous :

Parois opaques

I.1.25.1.1 Les apports à travers les parois extérieures (aériennes)

Les apports de chaleur à travers une paroi opaque à un instant t, APO(t) sont typiquement de nature chaleur sensible et sont donnés par la formule suivante :

$$APO(t) = 1,2 \times K_{été} \times S_{int} \times \Delta t_e(t) [W]$$

Où:

- 1,2(sans dimension):est un coefficient majoration tenant compte des apports latéraux linéiques (a travers les ponts thermiques).
- $K_{été}$ (en $W/m^2.°C$):est le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée pour l'été.
- S_{int} (en m^2) : est la surface intérieure totale de la paroi considérée ; pour les toitures en pente, on prendra la projection horizontale de la surface
- $\Delta t_e(t)$ (en $°C$):est la différence équivalente de température à l'heure et(cf.§1.3).Avec Le coefficient $K_{été}$ des parois opaques est donné par la formule suivante :

$$\frac{1}{K_{été}} = \sum R + \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} [m^2.°C/W]$$

Où:

$-\sum R$ (en $m^2.°C/W$): 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 s'effectue conformément au DTR C3-4,fascicule n°1 .

- $\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$ (en $m^2. °C/W$):représente la somme des résistances d'échange superficiel.

Prise conformément aux valeurs données dans le DTRC3-4

Les apports à travers les parois intérieures

- **Parois en contact d'un local non conditionné:**

Les apports de chaleurs à unissant, $APO(t)$, traversant une paroi opaque en contact avec un local non conditionné sont donnés par la formule suivante :

$$APO(t)=K_{été} \times S_{int} \times \Delta t_{inc}(t)[W]$$

Où:

- $K_{été}$ (en $W.m^2. °C-1$) : le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considéré pour l'été

- S_{int} (en m^2): la surface intérieure totale de la paroi considérée

- $\Delta t_{inc}(t)$ (en $^{\circ}C$) : écart de température entre l'espace non conditionné et le local considéré .

• **Parois opaques en contact avec deux locaux conditionnés**

Les apports de chaleurs à un instant t, $APO(t)$, traversant une paroi opaque en contact avec deux locaux non conditionnés sont donnés par la formule suivante :

$$APO(t) = K_{été} \times S_{int} \times [T_{sa} - T_{Sbb,i}] [W]$$

Où:

- $K_{été}$ (en $W.m^2.^{\circ}C^{-1}$): le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considéré pour l'été.
- S_{int} (en m^2): la surface intérieure totale de la paroi considérée.
- T_{sa} (en $^{\circ}C$) : La température sèche de l'air intérieur du local adjacent.
- $T_{Sbb,i}$ (en $^{\circ}C$) : La température sèche de l'air intérieur du local considéré.

I.1.26 Parois vitrées

I.1.26.1.1 Apports à travers les parois vitrées intérieures

Les apports à travers les parois vitrées intérieures $AVT(t)$ sont dus uniquement à la différence de température de part et d'autre de la paroi. Ils sont donnés par :

$$AVT(t) = K_{été} \times S_{ouvr} \times [(T_{Se}(t) - C_{Lnc}) - T_{Sb,i}] [W]$$

Où:

- $K_{été}$ (en $W/m^2.^{\circ}C$) est le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée.
- $AVT(t)$ (en W): Apports à travers les parois vitrées intérieures.
- S_{ouvr} (en m^2) : surface de l'ouverture dans la paroi opaque.
- $T_{Se}(t)$ (en $^{\circ}C$) est la température extérieure sèche à l'heure.
- C_{Lnc} (en $^{\circ}C$) coefficient correcteur.
- $T_{Sb,i}$ (en $^{\circ}C$) est la température intérieure sèche de base pour le local considéré.

I.1.26.1.2 Apports à travers les parois extérieures

Les gains à travers les parois vitrées extérieures $AV(t)$ sont donnés par:

$$AV(t) = AVT(t) + AVE(t) \text{ [W]}$$

Où:

- $AV(t)$ (en W) Apports à travers les parois extérieures.
- $-AVT(t)$ (en W) représente les gains dus au gradient de température à travers les parois Vitrées.
- $-AVE(t)$ (en W) représente les gains dus au rayonnement solaire à travers les parois vitrées. Les gains dus au gradient de température $AVT(t)$ à travers les parois vitrées extérieures sont donnée par :

$$AVT(t) = 1.2 \times K_{été} \times S_{ouvr} [T_{se}(t) - T_{sb,i}] \text{ [W]}$$

Ou :

- 1.2: (sans dimension) est un coefficient majorateur tenant compte des apports à travers les ponts thermiques.
- $K_{été}$ (en $W/m^2 \cdot ^\circ C$) est le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée
- S_{ouvr} (en m^2) sur façade l'ouverture dans la paroi opaque.
- $T_{se}(t)$ (en $^\circ C$) est la température extérieure sèche à l'heure.
- $T_{sb,i}$ (en $^\circ C$) est la température intérieure sèche de base pour le local considéré.

Les gains dus au rayonnement solaire à travers les parois vitrées extérieures $AVE(t)$ sont données par :

$$AVE(t) = [S_{V_{ens}} \times I_t + (S_V - S_{V_{ens}}) \times I_d] \times F_S \times NPVI(t) \text{ [W]}$$

Ou :

$-S_V$ (en m^2) est la surface totale vitrée.

- $S_{V_{ens}}$ (en m^2) est la surface

- I_t (en W/ m^2) est le rayonnement total maximal réel.

- I_d (en W/ m^2) est le rayonnement diffus maximal réel .

I.1.26.1.3 Apports à travers les parois vitrées intérieures

Les apports à travers les parois vitrées intérieures $AVT(t)$ sont dus uniquement à la différence de température de part et d'autre de la paroi. Ils sont donnés par:

$$AVT(t) = K_{été} \times S_{ouvr} [(TS_e(t) - C_{Lnc}) - TS_{b,i}] [W]$$

- $K_{été}$ (enW/ $m^2 \cdot ^\circ C$) est le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée
- $AVT(t)$ (enW): Apports à travers les parois vitrées intérieures.
- S_{ouvr} (en m^2) surface de l'ouverture dans la paroi opaque.
- $TS_e(t)$ (en $^\circ C$) est la température extérieure sèche à l'heure.
- C_{Lnc} (en $^\circ C$) coefficient correcteur.
- TS_{bi} (en $^\circ C$) est la température intérieure sèche de base pour le local considéré.

Les gains à travers les parois vitrée extérieure $AV(t)$ sont donnés par :

$$AV(t) = AVT(t) + AVE(t) [W]$$

Ou :

- $-AVT(t)$ (en W) représente les gains dus au gradient de température à travers les parois vitrées.
- $-AVE(t)$ (en W) représente les gains dus au rayonnement solaire à travers les parois vitrées. Les gains dus au gradient de température $AVT(t)$ à travers les parois vitrées extérieures sont donnée par :

$$AVT(t) = 1,2 \times K_{été} \times S_{Ouvr} [TS_e(t) - TS_{b,i}] [W]$$

Ou :

- **1,2**(sans dimension) est un coefficient majorateur tenant compte des apports à travers les ponts thermiques.
- **$K_{été}$** (enW/m².°C)est le coefficient de transmission en partie courante de la paroi considérée
- **S_{Ouvr}** (enm²) surface de l'ouverture dans la paroi opaque.
- **$TS_e(t)$** (en°C) est la température extérieure sèche à l'heure.
- **$TS_{b,i}$** (en°C) est la température intérieure sèche de base pour le local considérée.

Les gains dus au rayonnement solaire à travers les parois vitrées extérieures AVE (t) sont données par :

$$AVE(t) = [SV_{ens} \times I_t + (S_v - SV_{ens}) \times I_d] \times F_s \times NPVI(t) [W]$$

Ou :

- $-SV$ (enm²) est la surface totale vitrée.
- $-SV_{ens}$ (enm²) est la surface vitrée ensoleillée.
- $-I_t$ (enW/m²) est le rayonnement total maximal réel.
- $-I_d$ (enW/m²) est le rayonnement diffus maximal réel.
- $-NPVI(t)$ représente le coefficient d'amortissement relatif aux gains par ensoleillement à travers les parois vitrées à l'heure considérée.
- $-FS$ est le facteur solaire du vitrage.
- Apports de chaleur interne

On désigne par apports de chaleur internes, ou gains internes, les qualités de chaleur dégagées sous forme latente ou sensible à l'intérieur des locaux conditionnés, ils sont donnés par la formule :

$$AI(t) = \sum_j (CS_j \times AIS_{j,j} \times NAI_{j,j}) + (\sum (CS_j \times AIL_{j,j})) [W]$$

Ou :

- $-AIS_{j,j}$ (enW) représente la partie sensible de l'apport interne j, la détermination de ces apports est donnée au paragraphe 2(DTRC3 -4).

-AII.J (en W) représente la partie latente de l'apport interne j, la détermination de ces apports est donnée au paragraphe 2(DTRC3-4).

-CS_j est le coefficient de simultanété relatif à l'apport interne j ; en l'absence d'information, les valeurs à considérer pour les coefficients de simultanété sont celles du tableau 5.1 (D T R C 3 -4).

-NAI. j est le coefficient d'amortissement relatif à l'apport interne j.

Partie 02 : Présentation de l'application et du projet, la discussion des résultats d'étude

Dans cette partie, nous présentons les résultats de calcul réglementaire des déperditions thermiques en utilisant le **DTR C 3.2/4** et l'Excel ainsi que les résultats des apports calorifiques obtenus après l'utilisation de l'application **de LOGRT**, avant et après les différents types de rénovation qui sont :

- Changer le simple vitrage des ouvertures vitrées avec le double vitrage.
- Ajouter différents types d'isolation (en différentes épaisseurs).

LOGRT : est une application qui fait les calculs des apports calorifique de notre Bloc R+9 et 3 appartements supplémentaires (RDC, intermédiaire et l'appartement de dernier étage), ainsi que les discussions sur les calculs effectués sur les bâtiments en intégrant différentes orientations (3 orientations).

Aussi la présentation des résultats relatifs à l'effet de modification de l'orientation et des épaisseurs de matériaux isolants et l'effet de l'isolants sans et avec un double vitrage sur le comportement thermique du bâtiment. Le calcul calorifique est effectué avec l'application LOGRT, outil de calcul thermique qui utilise des normes existantes en DTR C3-4.

Présentation de cas d'étude

Sidi Abdellah est une ville nouvelle dans la banlieue sud-ouest d'Alger, elle est implantée sur les territoires de quatre communes : Douera ,Mahelma, Rahmania et Zéralda, située à environ à 25 km au ouest de la Wilaya d'Alger avec une :

- Superficie totale de 70 km²

- Latitude : 36.65190.
- Longitude 2.87042 36°40'39" Nord, 2°53' 17" Est
- Altitude est de 195 m.

I.1.27 Présentation des caractéristiques climatique

Sidi Abdallah possède un climat méditerranéen pluvieux et froid en hiver, et chaud en été, la température moyenne à Sidi Abdallah est de, Cette zone appartient à la zone A selon le document technique réglementaire (DTR C 3.2/4).

La région de sidi Abdallah est caractérisée par un climat méditerranéen pluvieux et froid en hiver, et chaud en été. Les températures varient entre 20 °C et 35 °C en été et de 5°C à 15°C en hiver.

La température :

Les températures varient entre 27°C et 40°C en été et de 7°C à 19°C en hiver.

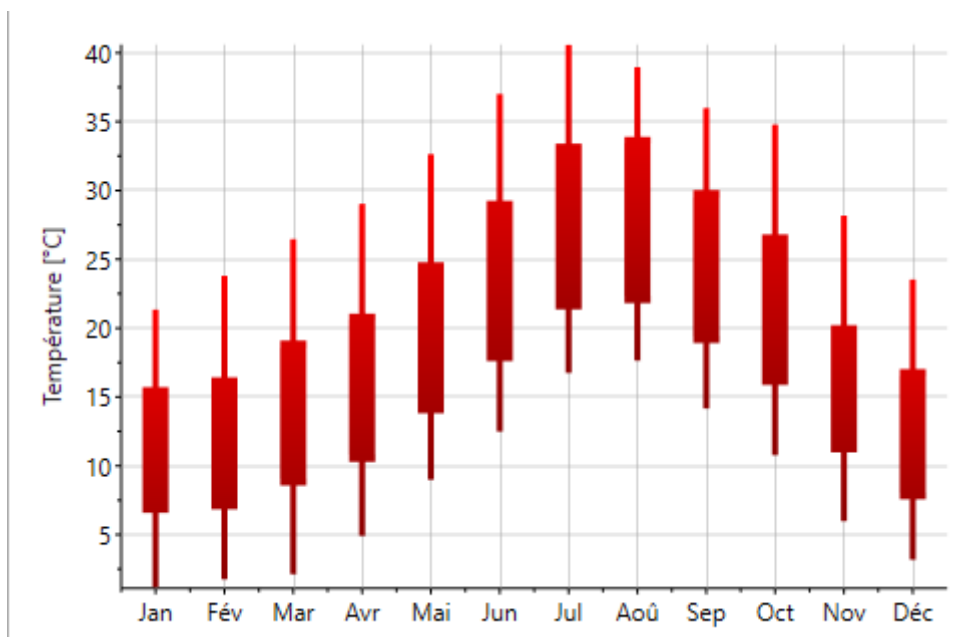


Figure III. 1:La température annuelle à Sidi Abdallah.

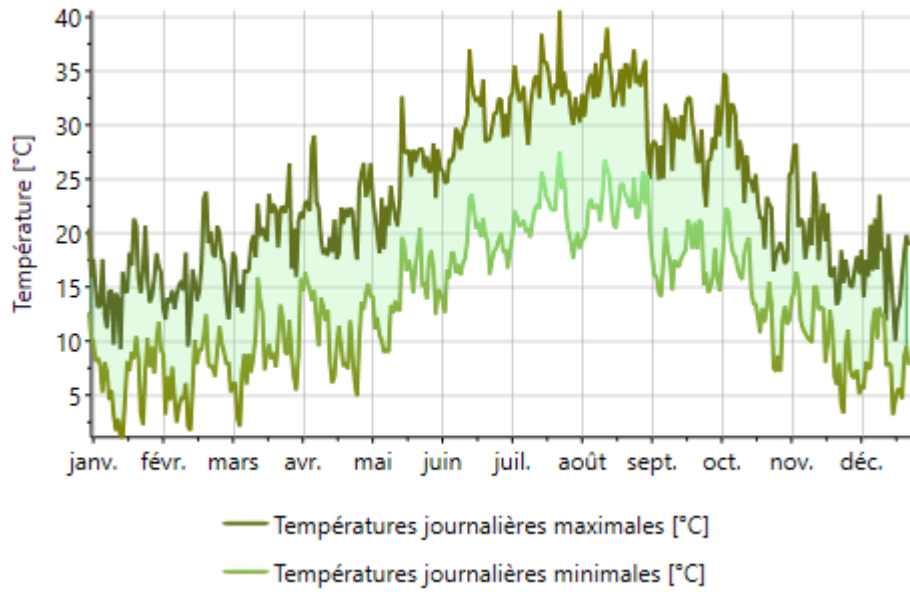


Figure III. 2:Le rayonnement global à Sidi Abdallah.

L’ensoleillement : Pendant le mois de juin les heures de l’ensoleillement est de 14 h (le mois ou le ciel est plus clair). Pendant le mois de décembre : les heures de l’ensoleillement est de 10h(le mois ou le ciel est couvert).

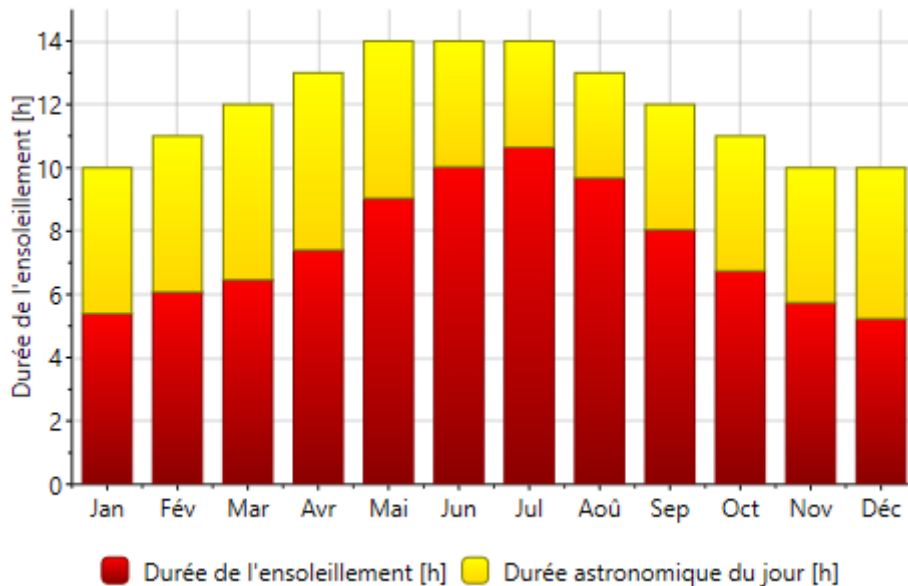


Figure III. 3:L’ensoleillement annuel à Sidi Abdallah.

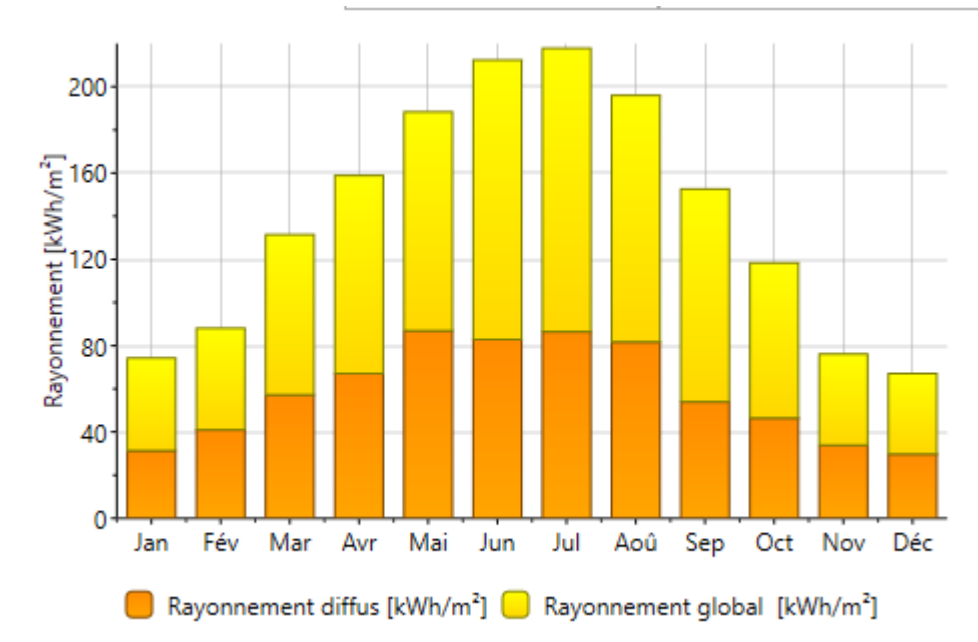


Figure III. 4: Le rayonnement annuel à sidi Abdallah

Description du logement

Le bâtiment étudié est un bloc R+9 et appartement F3 du dernier étage à usage d'habitation les surfaces d'appartements du bloc R+9, F3 de 70m² et F4de85.03m² situées au sein de l'AADL à Sidi Abdallah. L'appartement F3 est composé :

- D'un séjour d'une surface de 19.10m² contenant une porte fenêtre côté Sud de surface 3.6m².
- Deux chambres de 12.15m² pour chacune contenant deux fenêtres côté Sud d'une surface 1.68m².
- Des sanitaires de surface 5.24m² contenant deux fenêtres de 0.3m² une pour le côté Ouest et l'autre pour le côté Nord .
- Une cuisine de 12.23m² avec une porte de 4.16m² dans le côté l'Est (en utilisant des fenêtres en double vitrage pour l'amélioration de logement).

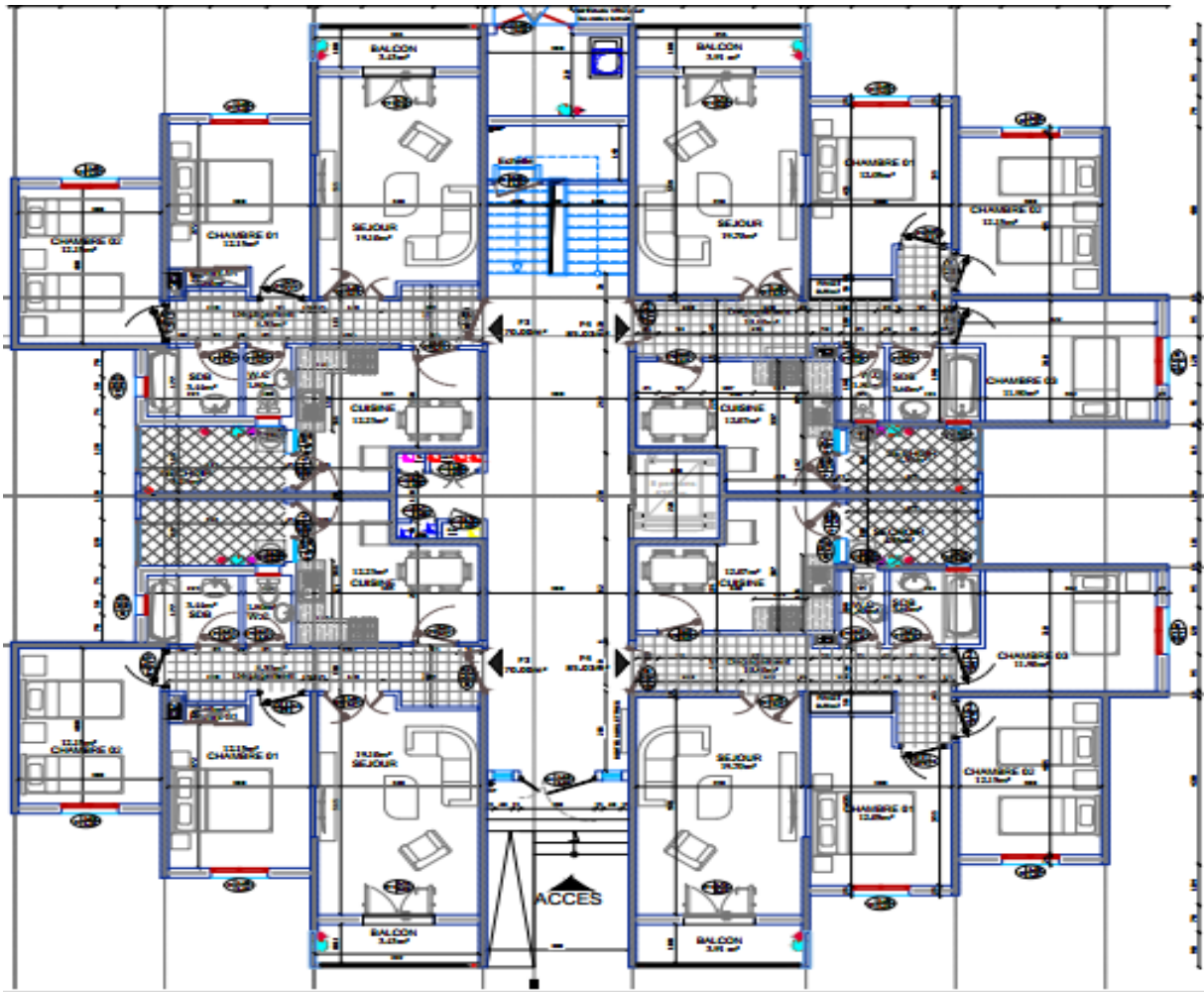


Figure III. 5: Plan intérieur RDC du bloc R+9.

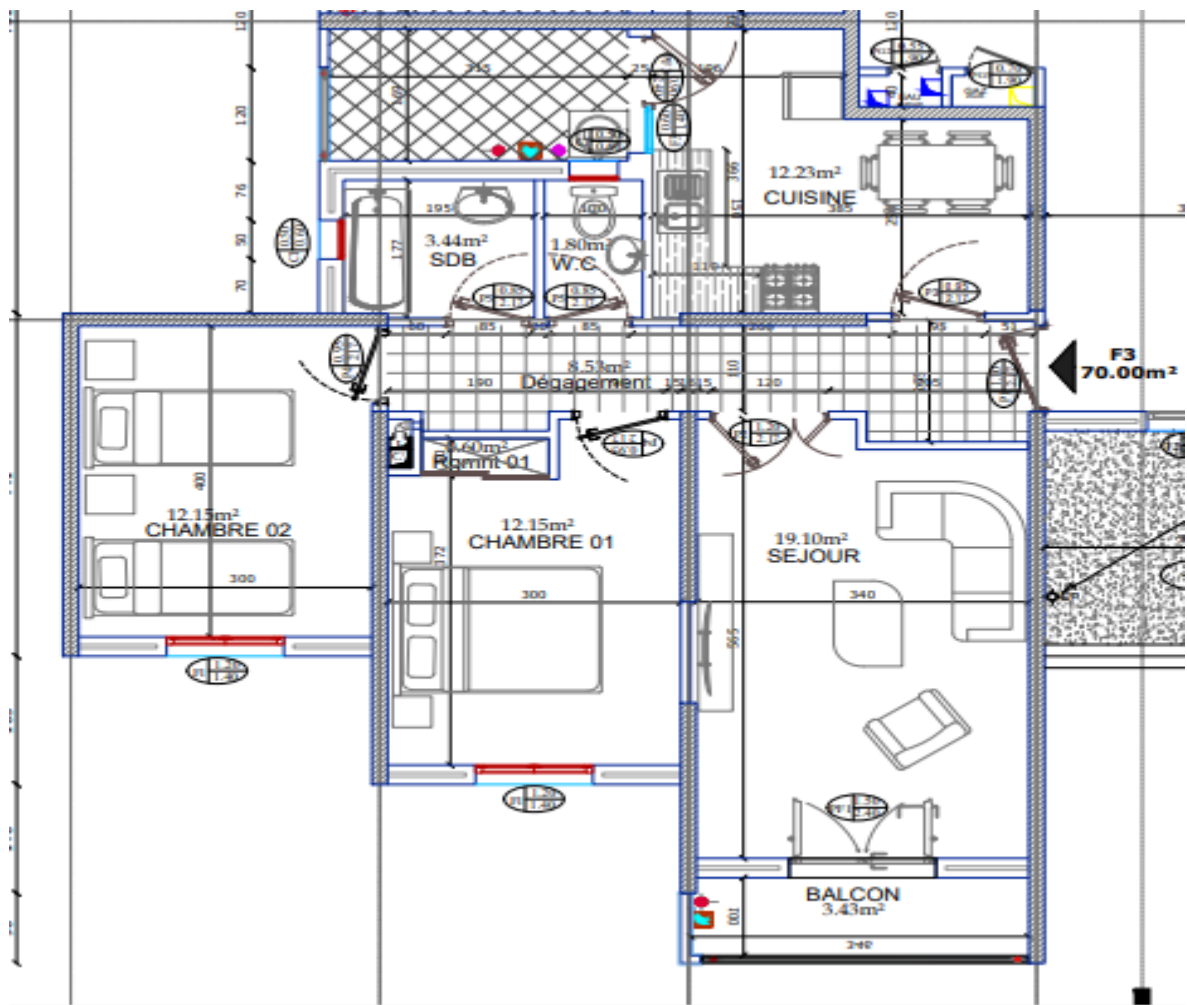


Figure III. 6: Plan intérieur de l'appartement F3

Composition des parois du logement avant rénovation

Tableau III. 1: Composition des parois du logement.

Designation	Composition	e[m]	λ [W/m.°C]	R=e/ λ [m ² .°C/W]	K [W/m ² .°C]
Mur extérieure en briques	1-Enduit plâtre	0,015	0,35	0,04	1,21
	2-Briquecreuse	0,1	0,45	0,22	
	3-Lame d'air	0,05	-	0,16	
	4-Briquecreuse	0,1	0,45	0,22	
	5-Mortierdeciment	0,015	1,4	0,01	
Murextérieurenbéton16cm	1-Enduitplâtre	0,015	0,35	0,04	3,17
	2-Lacouchedebéton	0,16	1,75	0,09	
	3-Mortierdeciment	0,015	1,4	0,01	
Toiture	1-Enduitplâtre	0,05	0,35	0,14	0,55
	2-Bétonarmé	0,06	1,75	0,034	
	3-polystérene	0,06	0,04	1,50	
	4-Mortierdeciment	0,02	1,4	0,014	
Plancherbas	1-Bétonarmé	0,15	1,75	0,09	2,22
	2-Mortierdeciment	0,02	1,4	0,014	
	3-Carrelage	0,01	1	0,01	

L'étude de la conformité du logement en hiver

Dans cette partie les résultats de calcul est obtenue par : le DTR C 3.2/4 a l'aide de l'Excel.

Le bilan thermique du logement avant rénovation

➤ **Le bloc R+9 :**

Tableau III. 2: Les déperditions thermiques du bloc R+9 avant rénovation.

Désignation	K [W /m ² .°C]	S (m ²)	Ds [W/°C]
Mur extérieur en briques	1,21	1 562,32	1 886,82
Mur extérieur en béton 16 cm	3,17	1 684,01	5 346,06
Toiture	0,55	442,35	243,43
Les fenêtres SV	5,00	245,04	1 225,20
Portes fenêtres SV	5,00	230,40	1 152,00
Portes	5,80	21,99	127,55
Plancher bas	2,22	442,35	983,00
Pertes surfacique (Ds) [W/°C]		10 964,07	
perles de liaison DL [W/°C]		459,24	
Déperdition des locaux non chauffés [W/°C]		598,52	
DT [W/°C]		12 021,83	
$D_{réf} \times 1,05$ [W/°C]		7 404,16	

N'est pas verifié

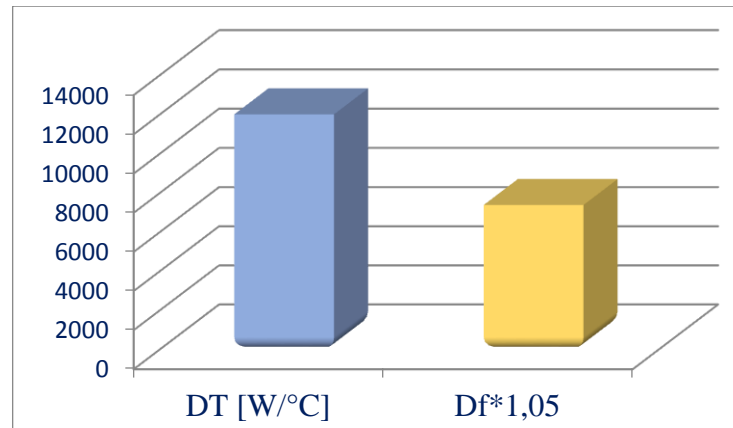


Figure III. 7: La vérification réglementaire du bloc R+9 (SV) sans isolation.

➤ **L'appartement F3 (dernier étage)**

Tableau III. 1 : Le bilan thermique de F3 (dernier étage) avant rénovation

Désignation	K [W /m2. °C]	S (m ²)	Ds [W/°C]
Mur extérieur en briques	1,21	39,20	47,34
Mur extérieur en béton 16 cm	3,17	70,01	222,25
Toiture	0,55	70,00	38,22
Les fenêtres SV	5,00	4,80	24,00
Portes fenêtres SV	5,00	5,76	28,80
Portes	3,50	2,39	8,35
Plancher bas	2,22	70,00	155,56
Pertes surfacique (Ds)[W/°C]		368,97	
perdes de liaison DL [W/°C]		12,37	
DT [W/°C]		381,34	
$D_{réf} \times 1,05$ [W/°C]		253,41	
DR [W/°C]		71,97	
Q [W]		6 650,12	

N'est pas vérifié

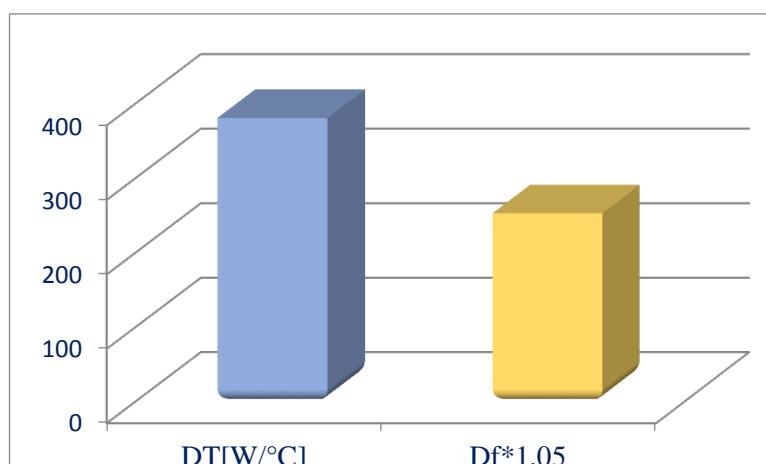


Figure III. 8: La vérification réglementaire de l'appartement F3 (dernier étage) SV sans isolation.

Le bilan thermique du logement sans isolation avec double vitrage

La première solution que nous avons proposé est d'utiliser du double vitrage dans le logement.

➤ Le bloc R+9

Tableau III. 2: Les déperditions thermiques du bloc R+9 avec double vitrage sans isolation.

Désignation	K [W /m2. °C]	S (m ²)	Ds [W/°C]
Mur extérieur en briques	1,21	1 562,32	1 886,82
Mur extérieur en béton 16 cm	3,17	1 684,01	5 346,06
Toiture	0,55	442,35	243,43
Les fenêtres DV	2,80	245,04	686,11
Portes fenêtres DV	2,80	230,40	645,12
Portes	5,80	21,99	127,55
Plancher bas	2,22	442,35	983,00
Pertes surfacique (Ds)[W/°C]		9 918,10	
perles de liaison DL [W/°C]		459,24	
Déperditions des locaux non chauffés [W/°C]		598,52	
DT [W/°C]		10 975,86	
$D_{réf} \times 1,05$ [W/°C]		7 404,16	N'est pas verifié

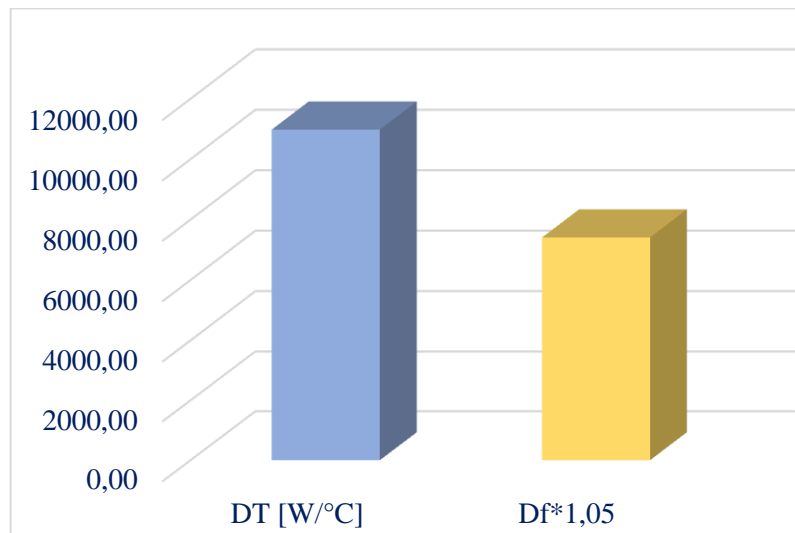


Figure III. 9: La vérification réglementaire du bloc R+9 (DV) sans isolation.

➤ **L'appartement F3 (dernier étage)**

Tableau III. 3: Le bilan thermique de l'appartement F3 (dernier étage) + double vitrage sans isolation.

Désignation	K [W /m2. °C]	S (m ²)	Ds [W/°C]
Mur extérieur en briques	1,21	39,20	47,34
Mur extérieur en béton 16 cm	3,17	70,01	222,25
Toiture	0,55	70,00	38,22
Les fenêtres DV	2,80	4,80	13,44
Portes fenêtres DV	2,80	5,76	16,13
Portes	3,50	2,39	8,35
Plancher bas	2,22	70,00	155,56
Pertes surfacique (Ds) [W/°C]		345,74	
perles de liaison DL [W/°C]		12,37	
DT [W/°C]		358,11	
$D_{réf} \times 1,05$ [W/°C]		253,41	
DR [W/°C]		71,97	
Q [W]		6 249,37	

N'est pas vérifié

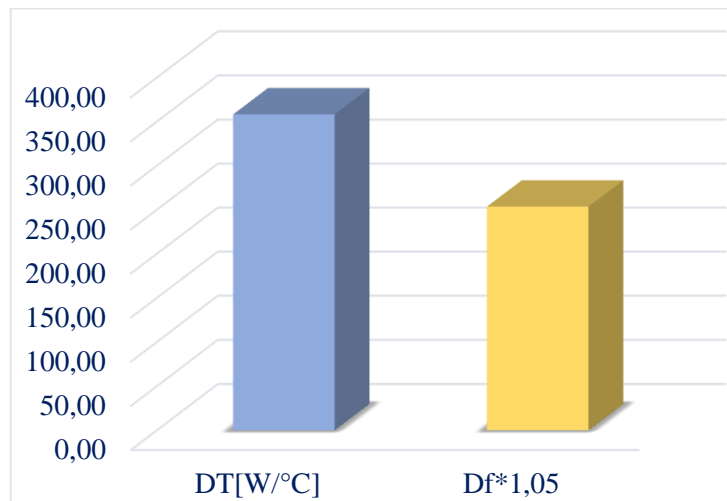


Figure III. 10: La vérification réglementaire de l'appartement F3 DV sans isolation.

Le bilan thermique du logement avec briques mono-mur sans isolation

La deuxième solution que nous avons proposé est d'utiliser des briques mono-murs dans le logement.

Composition des parois du logement avec briques mono-mur :

Tableau III. 4 : Composition des parois du logement avec briques mono-mur

Désignation	Composition	e [m]	λ [W/m.°C]	R=e/ λ [m ² .°C /W]	K [W/m ² . °C]
Mur extérieur en Briques mono-mur	1-Enduit plâtre	0,015	0,35	0,04	0,40
	2-Brique mono-mur	0,3	0,13	2,31	
	3-Mortier de ciment	0,015	1,4	0,01	
Mur extérieur en béton 16 cm	1-Enduit plâtre	0,015	0,35	0,04	3,17
	2-La couche de béton	0,16	1,75	0,09	
	3-Mortier de ciment	0,015	1,4	0,01	
Toiture	1-Enduit plâtre	0,05	0,35	0,14	0,55
	2-Béton armé	0,06	1,75	0,03	
	3-Polystyrène	0,06	0,04	1,50	
	4-Mortier de ciment	0,02	1,4	0,01	
Plancher bas	1-Béton armé	0,15	1,75	0,09	2,22
	2-Mortier de ciment	0,02	1,4	0,01	
	3-Carrelage	0,01	1	0,01	

➤ **Le bloc R+9**

Tableau III. 5: Le bilan thermique du bloc R+9 avec briques mono-mur (SV).

Désignation	K [W /m2. °C]	S (m ²)	Ds [W/°C]
Mur extérieur en briques mono-mur	0.40	1 562,32	617,21
Mur extérieur en béton 16 cm	3,17	1 684,01	5 346,06
Toiture	0,55	442,35	241,53
Les fenêtres SV	5,00	245,04	1 225,20
Portes fenêtres SV	5,00	230,40	1 152,00
Portes	5,80	21,99	127,55
Plancher bas	2,22	442,35	983,00
Pertes surfacique (Ds) [W/°C]		9 692,55	
perles de liaison DL [W/°C]		321,80	
Déperditions des locaux non chauffés [W/°C]		598,64	
DT [W/°C]		10 612,99	
<i>D_{réf}</i> ×1,05 [W/°C]		7 404,16	N'est pas vérifié

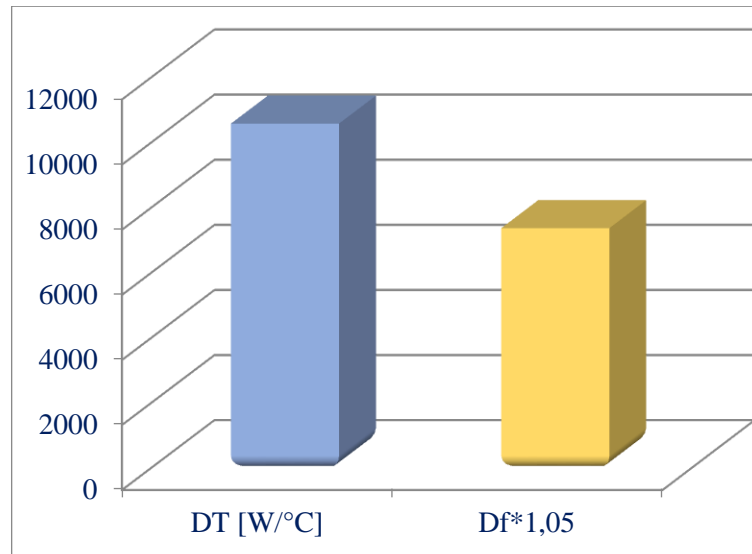


Figure III. 11: La vérification réglementaire du bloc R+9 avec briques mono-mur (SV).

➤ **L'appartement F3 (dernier étage)**

Tableau III. 6 : le bilan thermique de l'appartement F3 avec la brique mono-mur et SV.

Désignation	K [W /m2. °C]	S (m ²)	Ds [W/°C]
Mur extérieur en brique mono-mur	0,40	39,20	15,49
Mur extérieur en béton 16 cm	3,17	70,01	222,25
Toiture	0,55	70,00	38,22
Les fenêtres DV	2,80	4,80	13,44
Portes fenêtres DV	2,80	5,76	16,13
Portes	3,50	2,39	8,35
Plancher bas	2,22	70,00	155,56
Pertes surfacique (Ds)[W/°C]		313,88	
pertes de liaison DL [W/°C]		9,29	
DT [W/°C]		323,17	
$D_{réf} \times 1,05$ [W/°C]		253,41	
DR [W/°C]		71,97	
Q [W]		5 646,73	

N'est pas vérifié

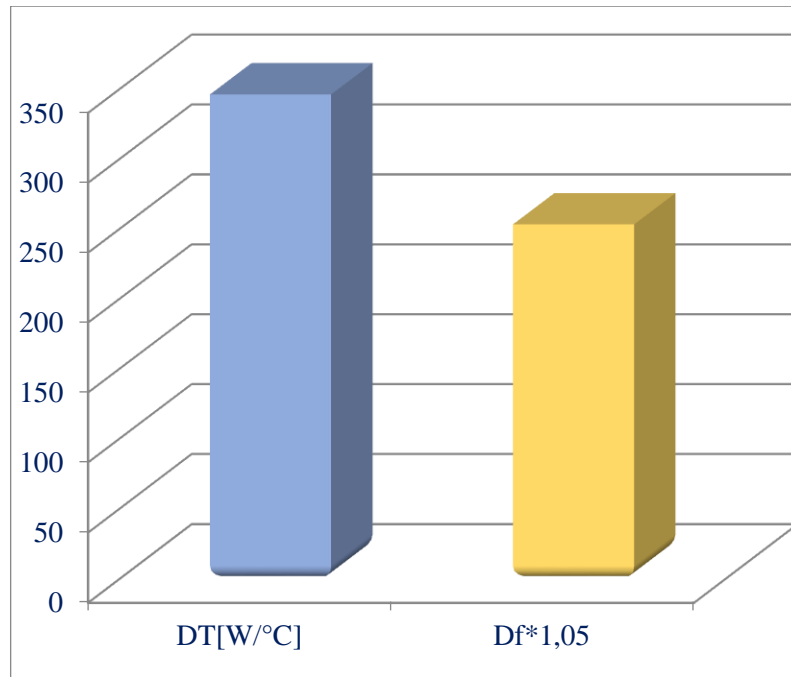


Figure III. 12: La vérification réglementaire de l'appartement F3 avec briques mono-mur (SV).

Le bilan thermique du logement avec briques mono-mur et double vitrage

➤ Le bloc R+9

Tableau III. 7: Le bilan thermique du bloc R+9 avec brique mono-mur et DV.

Désignation	K [W /m ² . °C]	S (m ²)	Ds [W/°C]
Mur extérieur en briques mono-mur	0,40	1562,32	617,21
Mur extérieur en béton 16 cm	3,17	1684,01	5346,06
Toiture	0,55	442,35	241,53
Les fenêtres DV	2,80	245,04	686,11
Portes fenêtres DV	2,80	230,40	645,12
Portes	5,80	21,99	127,55
Plancher bas	2,22	442,35	983,00
Pertes surfacique (Ds) [W/°C]		8646,59	
perles de liaison DL [W/°C]		321,80	
Déperditions des locaux non chauffés [W/°C]		598,64	
DT [W/°C]		9567,03	
$D_{réf} \times 1,05$ [W/°C]		7404,16	

N'est pas verifié

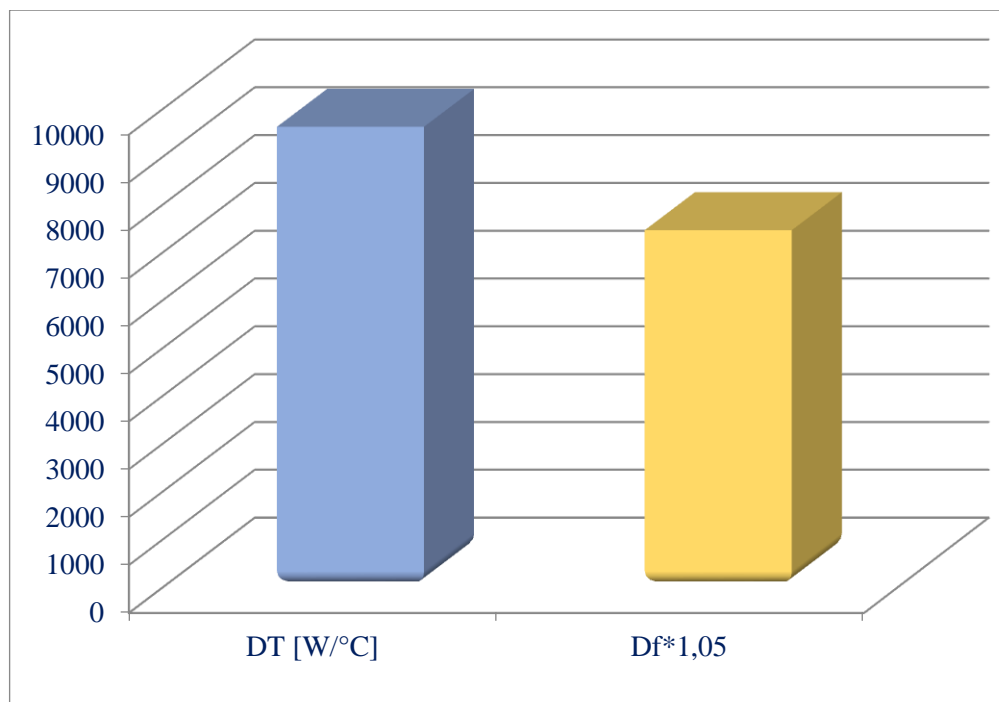


Figure III. 13: La vérification réglementaire du bloc R+9 avec briques mono-mur et DV

➤ **L'appartement F3 (dernier étage)**

Tableau III. 8: Le bilan thermique de l'appartement F3 avec briques mono-mur + DV.

Désignation	K [W /m2.°C]	S (m ²)	Ds [W/°C]
Mur extérieur en briques mono-mur	0,40	1562,32	617,21
Mur extérieur en béton 16 cm	3,17	1684,01	5346,06
Toiture	0,55	442,35	241,53
Les fenêtres DV	2,80	245,04	686,11
Portes fenêtres DV	2,80	230,40	645,12
Portes	5,80	21,99	127,55
Plancher bas	2,22	442,35	983,00
Pertes surfacique (Ds)[W/°C]		8646,59	
pertes de liaison DL [W/°C]		321,80	
Déperdition des locaux non chauffés [W/°C]		598,64	
DT [W/°C]		9567,03	
$D_{réf} \times 1,05$ [W/°C]		7404,16	

N'est pas verifié

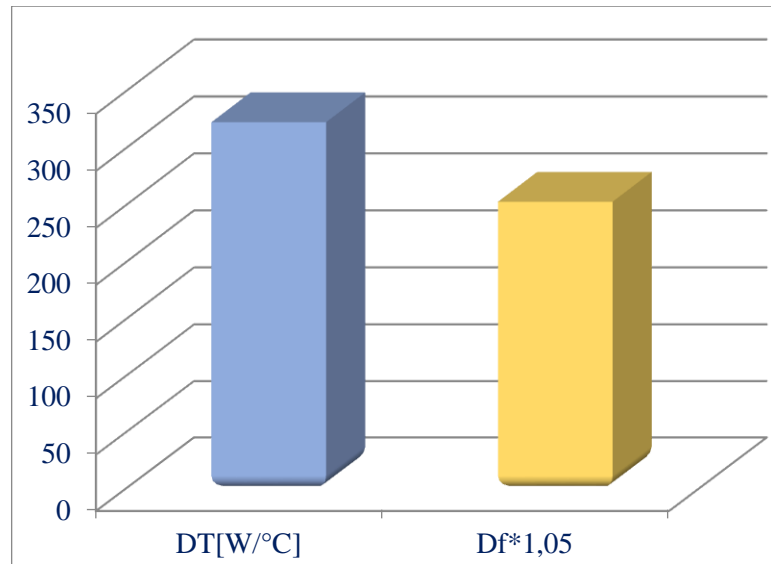


Figure III. 14: La vérification réglementaire de l'appartement F3 avec briques mono-mur +DV

Le bilan thermique du logement avec briques mono-mur et avec différentes épaisseurs d'isolations

La troisième solution que nous avons proposée est d'utiliser des briques mono-mur avec différentes épaisseurs d'isolations sur les murs en béton :

Polystyrène :

Nous avons utilisé le polystyrène (masse volumique sèche = 16 à 20 kg/m³) dans les murs intérieurs du béton.

Tableau III. 9: Composition des parois du logement avec briques mono-mur et isolation.

Désignation	Composition	e [m]	λ [W/m.°C]	$R=e/\lambda$ [m ² .°C /W]	K [W /m ² . °C]
Mur extérieur en briques mono-mur	1-Enduit plâtre	0,015	0,35	0,04	0,40
	2-Brique mono-mur	0,30	0,13	2,31	
	3-Mortier de ciment	0,015	1,4	0,01	
Mur extérieur en béton 16 cm	1-Enduit plâtre	0,015	0,35	0,04	1,77
	2-Polystyrène	0,01	0,04	0,25	
	3-La couche de béton	0,16	1,75	0,09	
	4-Mortier de ciment	0,015	1,4	0,01	
Toiture	1-Enduit plâtre	0,05	0,35	0,14	0,55
	2-Béton armé	0,06	1,75	0,03	
	3- Polystyrène	0,06	0,04	1,50	
	4-Mortier de ciment	0,02	1,4	0,01	
Plancher bas	1-Béton armé	0,15	1,75	0,09	2,22
	2-Mortier de ciment	0,02	1,4	0,01	
	3-Carrelage	0,01	1	0,01	

➤ **Le bloc R+9**

Tableau III. 10: Le bilan thermique du bloc R+9 avec briques mono-mur et avec différentes épaisseurs de polystyrène.

Epaisseur d'isolant [cm]	DT [W/°C]	$D_{réf} \times 1,05$ [W/°C]	
1	8273,19	7404,16	N'est pas vérifié
2	7357,57	7404,16	Vérifié
3	6870,94	7404,16	Vérifié
5	6368,47	7404,16	Vérifié
7	6110,23	7404,16	Vérifié
9	5953,91	7404,16	Vérifié

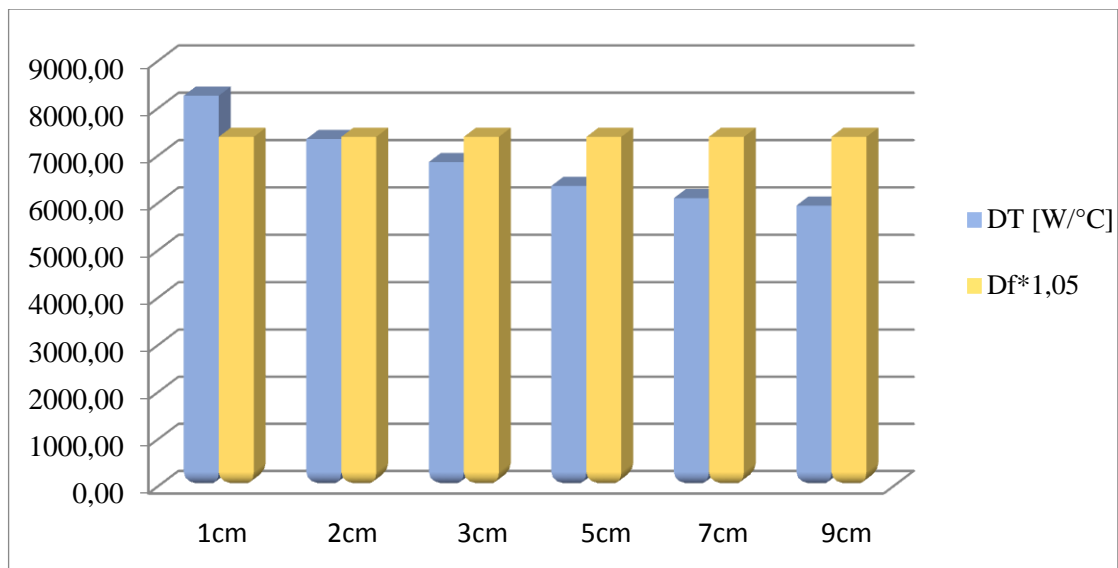


Figure III. 15: La vérification réglementaire du bloc R+9 en fonction des différentes épaisseurs de polystyrène.

➤ **L'appartement F3 (dernier étage)**

Tableau III. 11: Le bilan thermique de l'appartement F3 avec brique mono-mur+ différentes épaisseurs de polystyrène.

Epaisseur d'isolant [cm]	Puissance [w]	DT [W/°C]	$D_{réf} \times 1,05$ [W/°C]	
1	4400,75	250,94	253,41	Vérifié
2	3715,76	211,23	253,41	Vérifié
3	3354,98	190,32	253,41	Vérifié
5	2981,13	168,65	253,41	Vérifié
7	2789,80	157,56	253,41	Vérifié
9	2673,39	150,81	253,41	Vérifié

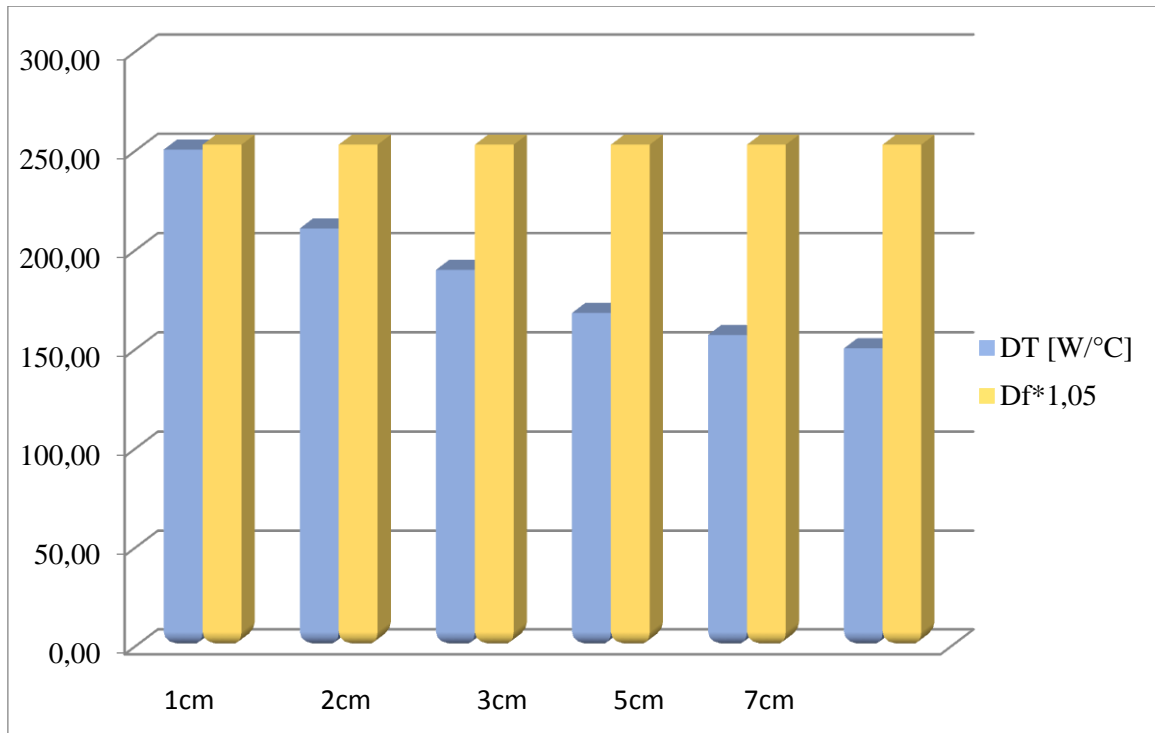


Figure III. 16: La vérification réglementaire de l'appartement F3 en fonction des différentes épaisseurs de polystyrène.

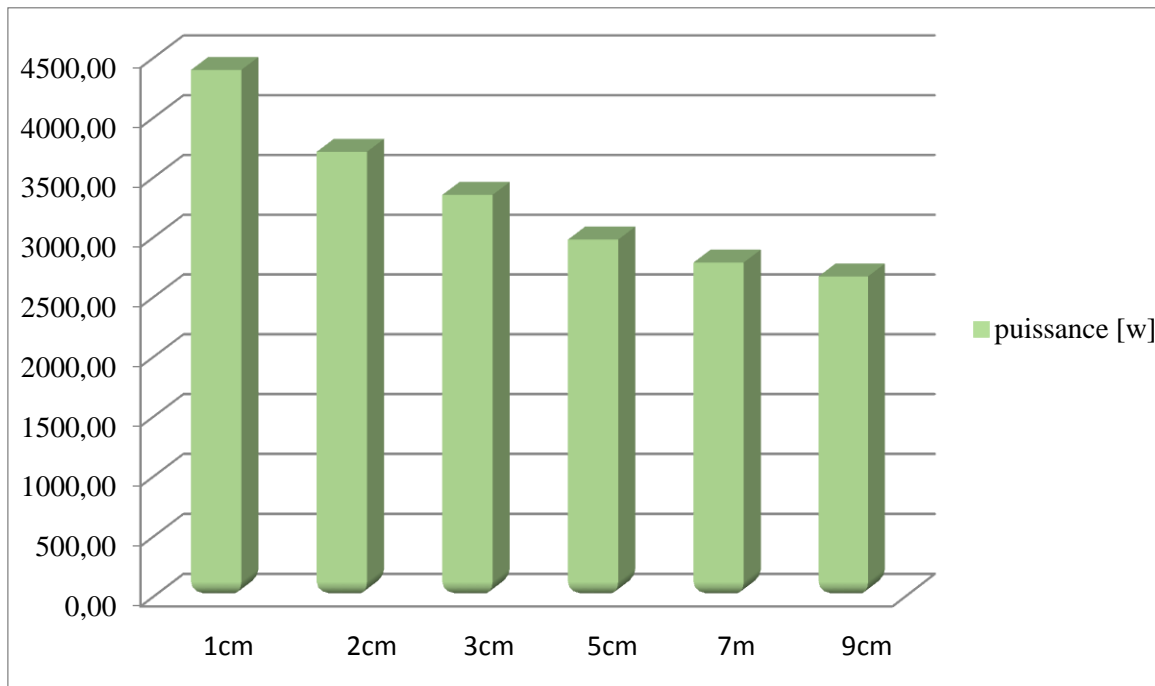


Figure III. 17: La puissance de l'appartement F3 en fonction des différentes épaisseurs de polystyrène.

La laine de roche

Nous avons utilisé la laine de roche (masse volumique sèche = 18 à 25 kg/m³) dans les murs intérieurs du béton.

Tableau III. 12: Le bilan thermique du bloc R+9 avec briques mono-mur et avec différentes épaisseurs de la laine de roche.

Epaisseur d'isolant [cm]	DT [W/°C]	$D_{réf} \times 1,05$ [W/°C]	
1	8484,55	7404,16	N'est pas vérifié
2	7564,95	7404,16	N'est pas vérifié
3	7056,90	7404,16	Vérifié
5	6510,55	7404,16	Vérifié
7	6226,84	7404,16	Vérifié
9	6051,20	7404,16	Vérifié

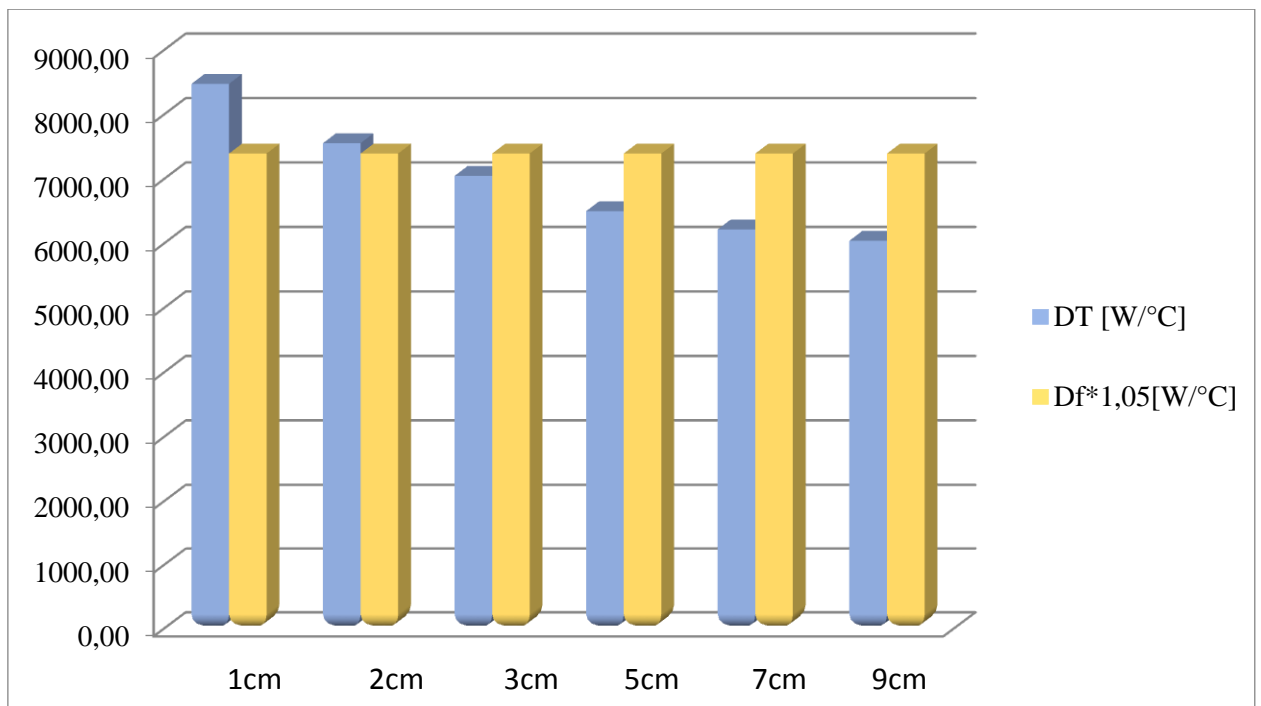


Figure III. 18: La vérification réglementaire du bloc R+9 en fonction des différentes épaisseurs de la laine de roche.

➤ **L'appartement F3 (dernier étage)**

Tableau III. 13: Le bilan thermique de l'appartement F3 avec brique mono-mur+ différentes épaisseurs de la laine de roche.

Epaisseur d'isolant [cm]	Puissance [w]	DT [W/°C]	$D_{réf} \times 1,05$ [W/°C]	
1	4559,49	260,15	253,41	N'est pas vérifié
2	3870,98	220,23	253,41	Vérifié
3	3492,85	198,31	253,41	Vérifié
5	3088,78	174,89	253,41	Vérifié
7	2877,04	162,61	253,41	Vérifié
9	2746,21	155,03	253,41	Vérifié

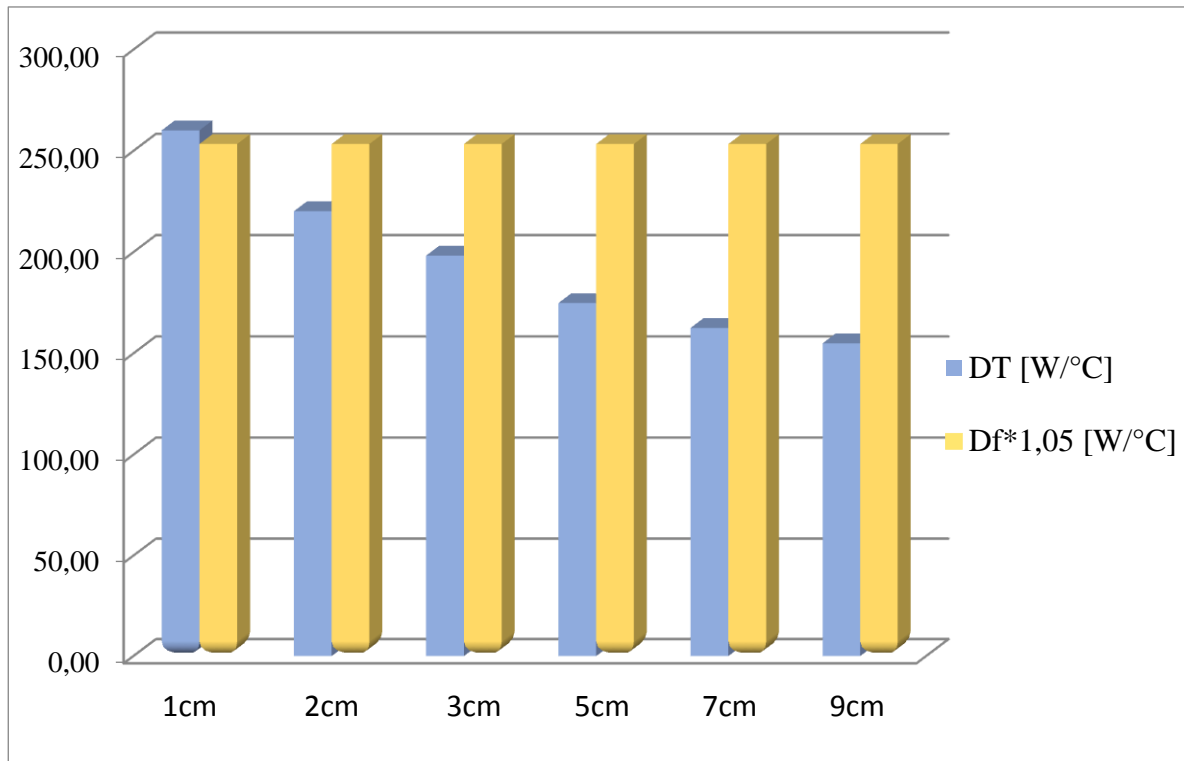


Figure III. 19: La vérification réglementaire de l'appartement F3 en fonction des différentes épaisseurs de la laine de roche.

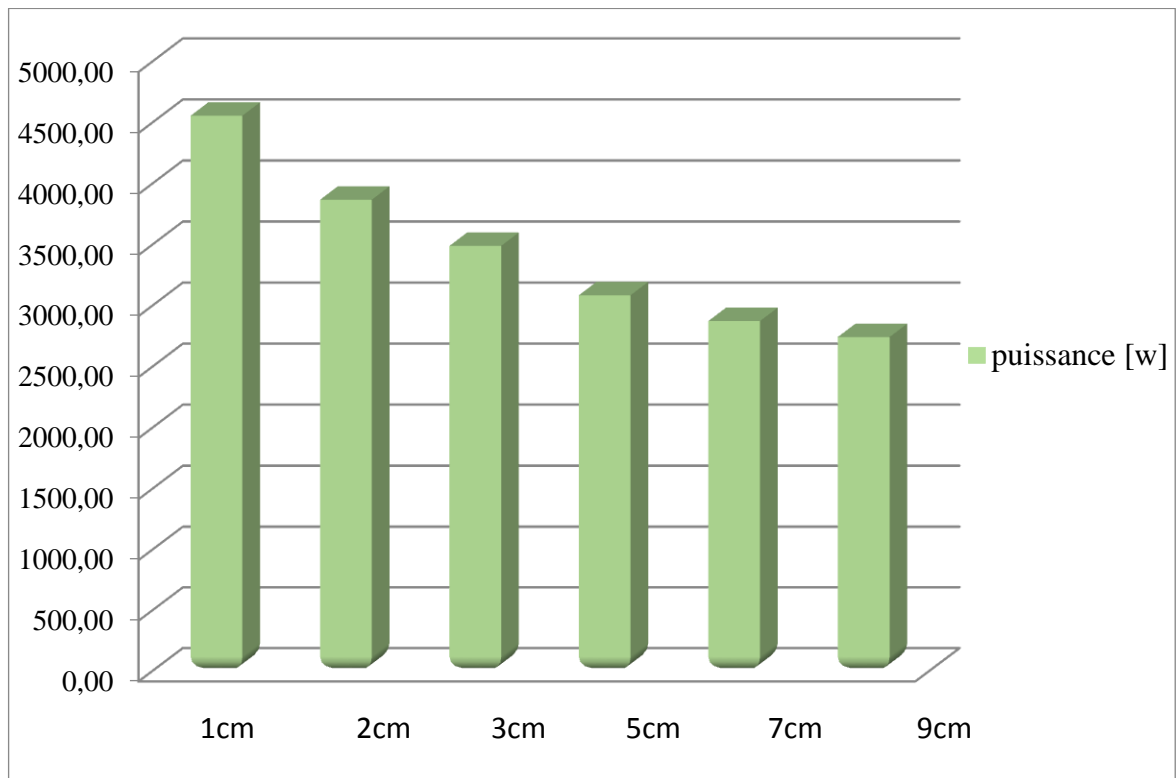


Figure III. 20: La puissance de l'appartement F3 en fonction des différentes épaisseurs de la laine de roche.

La laine de verre :

Nous avons utilisé la laine de verre (masse volumique sèche = 18 à 25 kg/m³) dans les murs intérieurs du béton.

➤ Le bloc R+9

Tableau III. 14: Le bilan thermique du bloc R+9 avec briques mono-mur et avec différentes épaisseurs de la laine de verre.

Epaisseur d'isolant [cm]	DT [W/°C]	$D_{réf} \times 1,05$ [W/°C]	
1	8169,45	7404,16	N'est pas vérifié
2	7258,02	7404,16	Vérifié
3	6785,23	7404,16	Vérifié
5	6301,39	7404,16	Vérifié
7	6056,09	7404,16	Vérifié
9	5944,15	7404,16	Vérifié

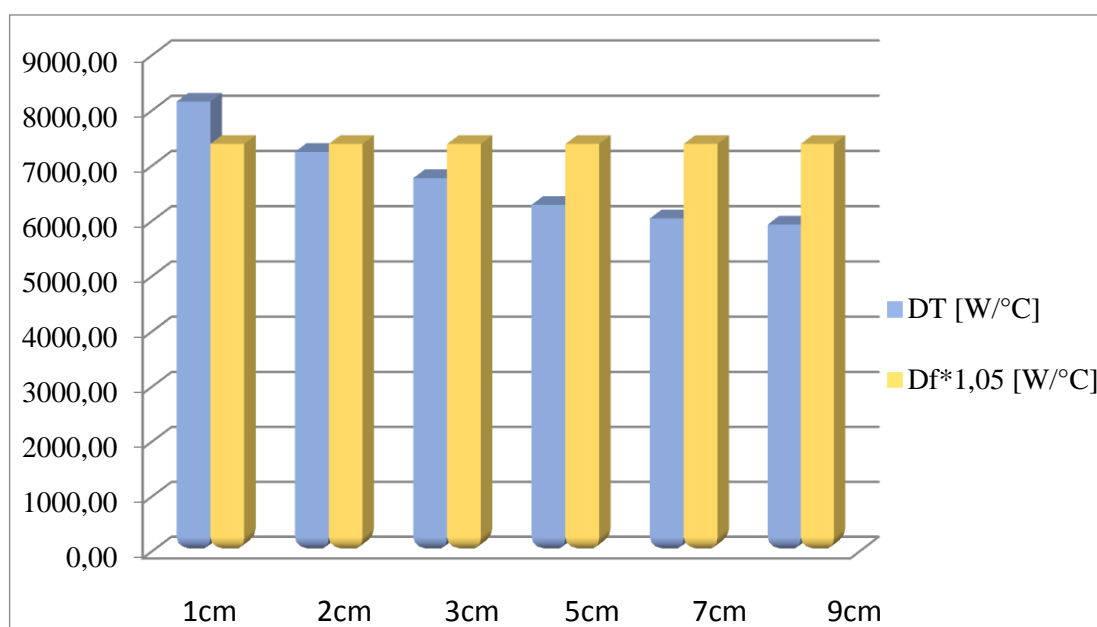


Figure III. 21: La vérification réglementaire du bloc R+9 en fonction des différentes épaisseurs de la laine de verre.

➤ L'appartement F3 (dernier étage)

Tableau III. 15: Le bilan thermique de l'appartement F3 avec brique mono-mur+ différentes épaisseurs de la laine de verre.

Epaisseur d'isolant [cm]	Puissance [w]	DT [W/°C]	$D_{réf} \times 1,05$ [W/°C]	
1	4322,93	246,43	253,41	Vérifié
2	3642,61	206,99	253,41	Vérifié
3	3291,49	186,64	253,41	Vérifié
5	2932,65	165,84	253,41	Vérifié
7	2751,17	155,32	253,41	Vérifié
9	2641,26	148,94	253,41	Vérifié

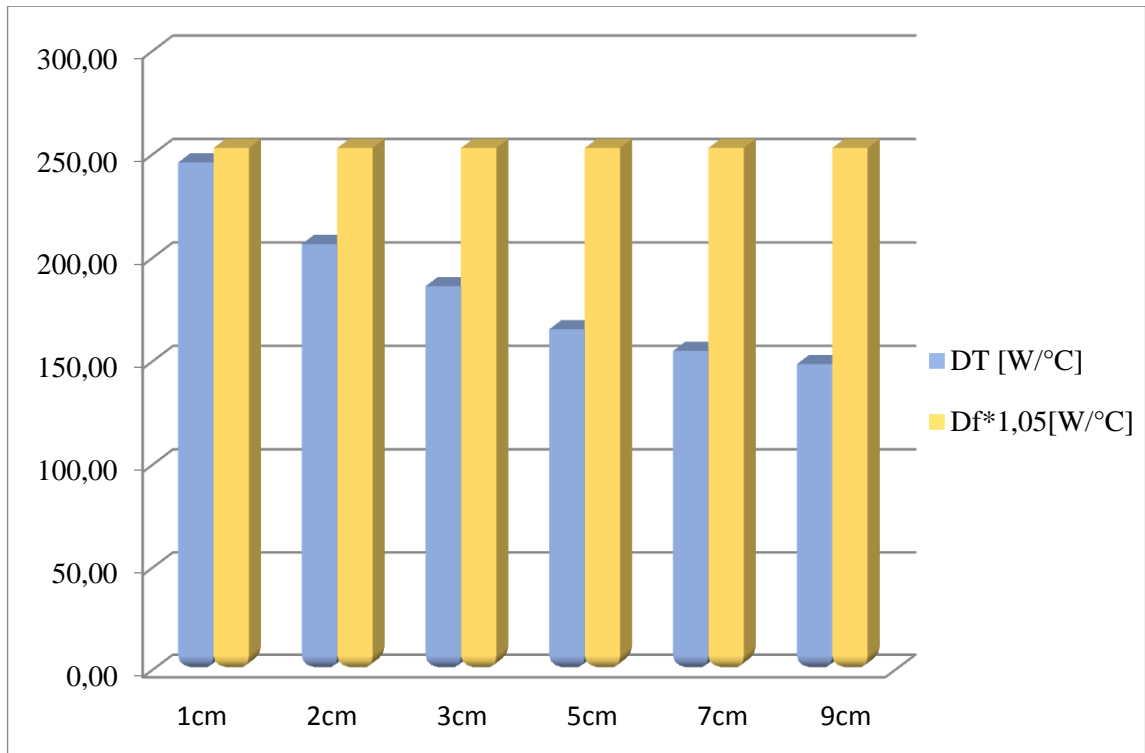


Figure III. 22: La vérification réglementaire de l'appartement F3 en fonction des différentes épaisseurs de la laine de verre.

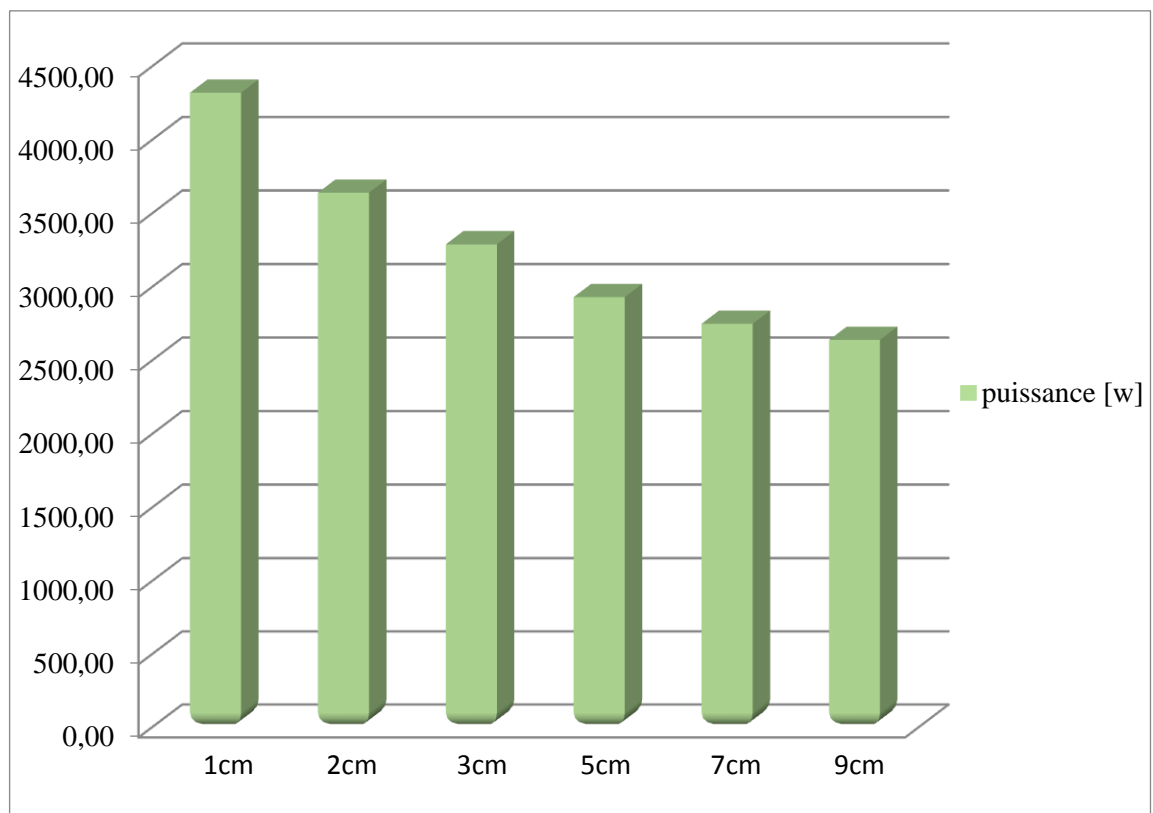


Figure III. 23: La puissance de l'appartement F3 en fonction des différentes épaisseurs de la laine de verre.

La comparaison des résultats des différents types de rénovation et leur effet sur l'appartement F3

Tableau III. 16: La puissance Q nécessaire pour l'appartement F3 avec les différents types de rénovation.

Les types de rénovation	La puissance Q [w]	Q [w] (avant rénovation)
1-DV (sans isolation)	6249,37	6650,12
2-Brique mono-mur	6047,48	6650,12
3-Brique mono-mur +DV	5646,73	6650,12
4-Brique mono-mur + polystyrène (2cm) SV	3715,76	6650,12
5-Brique mono-mur + laine de verre (2cm) SV	3642,61	6650,12
6-Brique mono-mur + laine de roche (2cm) SV	3870,98	6650,12

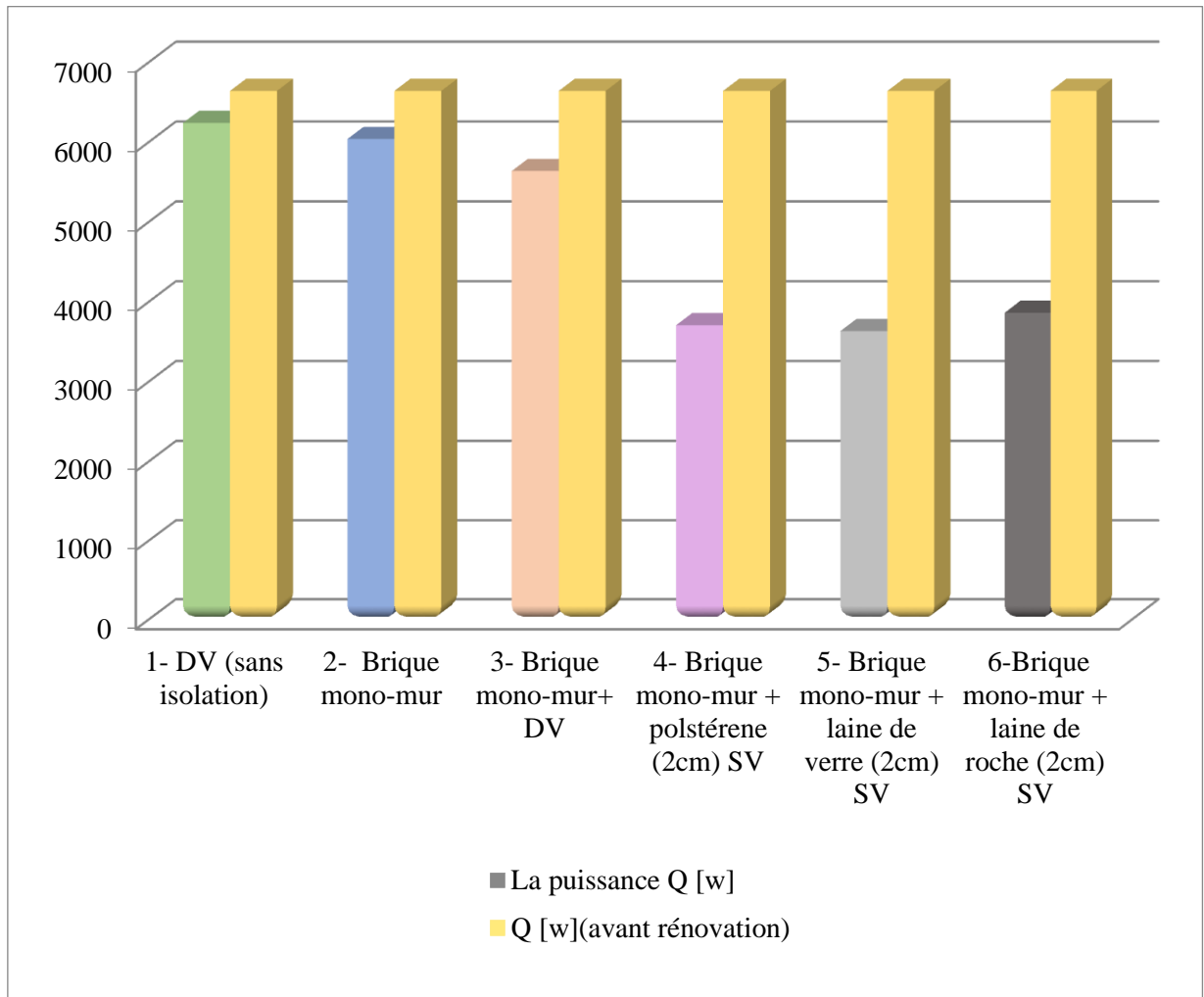
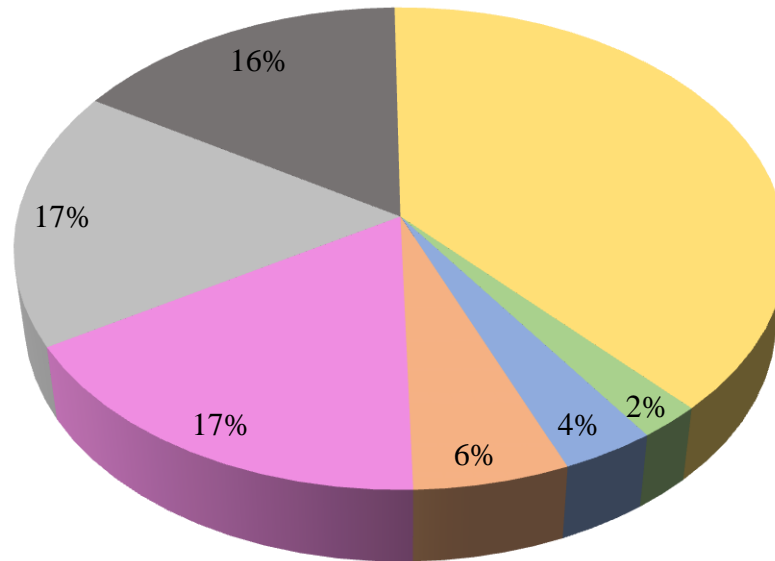


Figure III. 24: La puissance Q nécessaire pour l'appartement F3 avec les différents types de rénovations.



- La puissance Q pour F3 avant rénovation (SV)
- la réduction de Puissance Q par le double vitrage
- la réduction de Puissance Q par briques Mono-mur SV
- la réduction de Puissance Q par briques Mono-mur DV
- la réduction de Puissance Q par Briques monomur + polstérene (2cm) SV
- la réduction de Puissance Q par Briques monomur + laine de verre (2cm) SV
- la réduction de Puissance Q par Briques monomur+ laine de roche (2cm) SV

Figure III. 25: Le pourcentage de l'effet des différents types de rénovations sur la réduction de la puissance de chauffage Q nécessaire pour l'appartement F3.

I.1.28 Résultats et discussions

Les résultats

D'après les tableaux III.2 et III.3 présentant les bilans thermiques du bloc R+9 ainsi que de l'appartement F3 du dernier étage avant rénovation, et en se basant sur les figures III.7 et III.8, on remarque que la vérification réglementaire algérienne en hiver n'est pas vérifiée dans les deux cas. En effet, $D_T > 1,05 \times D_{réf}$ au lieu de $D_T \leq 1,05 \times D_{réf}$.

Les tableaux III.4 et III.5 présentent les bilans thermiques du bloc R+9 et de l'appartement F3 (DE), tous deux équipés de double vitrage sans isolation. En se basant sur les figures III.9 et III.10, on constate que dans les deux cas, la vérification réglementaire n'est pas vérifiée car : $D_T > 1,05 \times D_{réf}$.

Les tableaux III.6 et III.7 présentent les bilans thermiques du bloc R+9 et de l'appartement F3 (DE), tous deux en brique mono-mur sans isolation et équipés de simple vitrage. En se référant aux figures III.11 et III.12, on constate que, dans les deux cas la vérification règlementaire n'est pas respectée, malgré une diminution des déperditions de transmissions dans l'appartement F3 (DE) et le bloc R+9.

Les tableaux III.8 et III.9 contiennent les bilans thermiques du bloc R+9 et de l'appartement F3 (DE), en brique mono-mur sans isolation et équipés de double vitrage. Les figures III.13 et III.14 montrent que, malgré l'ajout de double vitrage qui a permis une diminution des déperditions dans l'appartement et le bloc, la vérification règlementaire n'est pas satisfaite.

Selon les données présentées dans les tableaux III.10 et III.11, on peut observer une diminution remarquable des déperditions de transmission pour l'appartement F3 (DE) en brique mono-mur avec différentes épaisseurs de polystyrène et simple vitrage, ainsi que pour le bloc R+9. D'après la figure III.15, la vérification règlementaire algérienne est respectée pour l'appartement F3 en hiver dès le premier centimètre de polystyrène. Pour le bloc R+9, la vérification règlementaire est respectée après le deuxième centimètre de polystyrène, comme le montre la figure III.16.

Ces observations sont également valables pour les bilans thermiques du bloc R+9 et de l'appartement F3 en briques mono-mur avec laine de verre et simple vitrage, tels que présentés dans les tableaux III.12 et III.13, ainsi que dans les figures III.17 et III.18.

Les tableaux III.14 et III.15 représentent les bilans thermiques du bloc R+9 et de l'appartement F3 (DE) en brique mono-mur avec laine de roche et simple vitrage. D'après la figure III.19, la vérification règlementaire est respectée pour l'appartement F3 après le deuxième centimètre de laine de roche, tandis que pour la figure III.20, la vérification règlementaire est respectée pour le bloc R+9 après le troisième centimètre de la laine de roche.

Les figures III.20, III.21, et III.22 montrent une diminution de la puissance de chauffage nécessaire pour chauffer l'appartement F3 du dernier étage, lorsqu'on y ajoute une isolation (polystyrène, laine de roche, laine de verre) d'une épaisseur variant de 1cm à 9cm. En effet, plus l'épaisseur de l'isolant est importante, plus la puissance de chauffage nécessaire diminue.

Le tableau III.16 et la figure III.23 présentent une comparaison de la puissance de chauffage nécessaire pour l'appartement F3 (DE) avec différents types de rénovation. Les rénovations étudiées sont l'introduction de double vitrage à la place d'un simple vitrage dans les ouvertures vitrées d'un appartement F3, l'intégration de la brique mono-mur avec simple vitrage et avec double vitrage, ainsi que les trois types d'isolations proposées avec la brique mono-mur, les isolants étudiés sont le polystyrène, la laine de roche et la laine de verre.

La figure III.24 présente le pourcentage de l'effet des différents types de rénovation sur la réduction de la puissance nécessaire pour chauffer l'appartement F3 situé au dernier étage d'un bloc R+9. Les résultats montrent que l'utilisation de double vitrage sans isolation donne la réduction la plus faible de la puissance de chauffage Q , soit 2%, tandis que l'utilisation de brique mono-mur sans isolation donne une réduction de puissance Q de 4%. L'utilisation de la brique mono-mur avec double vitrage donne une réduction de puissance Q de 6%. L'utilisation du brique mono-mur avec de la laine de verre de 2cm ou du polystyrène de 2cm avec simple vitrage présente une réduction de puissance de chauffage importante, estimée à 17%, tandis que l'utilisation de la laine de roche donne une réduction de puissance Q de 16%.

Discussion

Notre étude a révélé que les bâtiments de l'AADL de Sidi Abdallah ne sont pas conformes à la réglementation algérienne en hiver, même après l'utilisation de double vitrage dans les ouvertures vitrées (fenêtre et porte-fenêtre). Cependant, cela réduit la puissance de chauffage de 2% par rapport au simple vitrage.

Nous avons également remarqué que lorsque nous avons utilisé des briques mono-murs, la puissance de chauffage a diminué de 6%, mais cela n'est pas suffisant pour vérifier la conformité réglementaire pour le bloc R+9 et l'appartement F3, même après l'utilisation de double vitrage avec les briques mono-murs. Cela réduit la puissance de chauffage de 8% par rapport à l'appartement avant rénovation.

Pour cette raison, il est nécessaire d'ajouter une isolation. Nous avons proposé trois types d'isolation pour les murs intérieurs en béton et avons constaté que l'effet du polystyrène et la laine de verre est presque identique, car les deux ont presque la même résistance thermique. Nous avons également remarqué qu'une épaisseur de 1 cm est suffisante pour la conformité de l'hiver dans l'appartement F3, tandis que 2 cm sont nécessaires pour le bloc

R+9. Concernant l'utilisation de la laine de roche, une épaisseur de 2 cm est requise pour l'appartement F3, tandis qu'il faut 3 cm pour un bloc R+9.

L'ajout d'isolation améliore significativement la conformité réglementaire pour les blocs et les appartements, et réduit la puissance de chauffage.

L'étude démontre l'impact de l'utilisation de brique mono-mur et l'importance des matériaux isolants efficaces pour améliorer la réglementation thermique des bâtiments, pour l'AADL de Sidi Abdallah en hiver.

L'étude de la conformité du logement en été

- **Les conditions de base** : les conditions intérieures.

- Soit définies dans les pièces pour la construction spécifique.
- Soit fixées à partir de logement à longue durée de niveau de confort normal à

$T_{sèche}=27^{\circ}$, Humidité relative=50%.

Le rayonnement solaire : direct et diffus affectant les parois d'une construction dépendant de l'altitude 560m et $TSV=15^{\circ}C$ au mois de juillet avec trois orientations des murs :

L'orientation :

Il s'agit d'une matérialisation de la direction de l'orientation par les deux paramètres : le lever du soleil à l'équinoxe et les points cardinaux (Nord de la boussole).

Dans cette partie on à choisir trois orientations différentes :

- 1^{ère} orientation:

- ME01 : Sud
- ME02 : Est
- ME03 : Nord
- ME04 : Ouest

- 2^{ème} orientation:

- ME01 : Est
- ME02 : Nord
- ME03 : Ouest
- ME04 : Sud

- 3^{ème} orientation :

- ME01 : Sud-ouest
- ME02 : Sud-est
- ME03 : Nord-est
- ME04 : Nord-ouest

Résultats de l'application

Ces résultats sont obtenus par l'application LOGRT : qui utilise les équations de climatisation de DTR C 3.2/4.

Les Résultats de l'application Avant rénovation

➤ L'appartement F3 (Dernier étage)

Tableau III. 17 :Le bilan thermique de l'appartement F3 dernier étage avant rénovation en été.

Orientation	1	2	3
$\Sigma(APO+A_v)$ [W]	2 275,24	2 833,15	3 075,00
Aréf×1,05 [W]	2 041,15	1 952,64	1 981,23
Puissance [W]	16 684,58	17 828,29	18 324,08

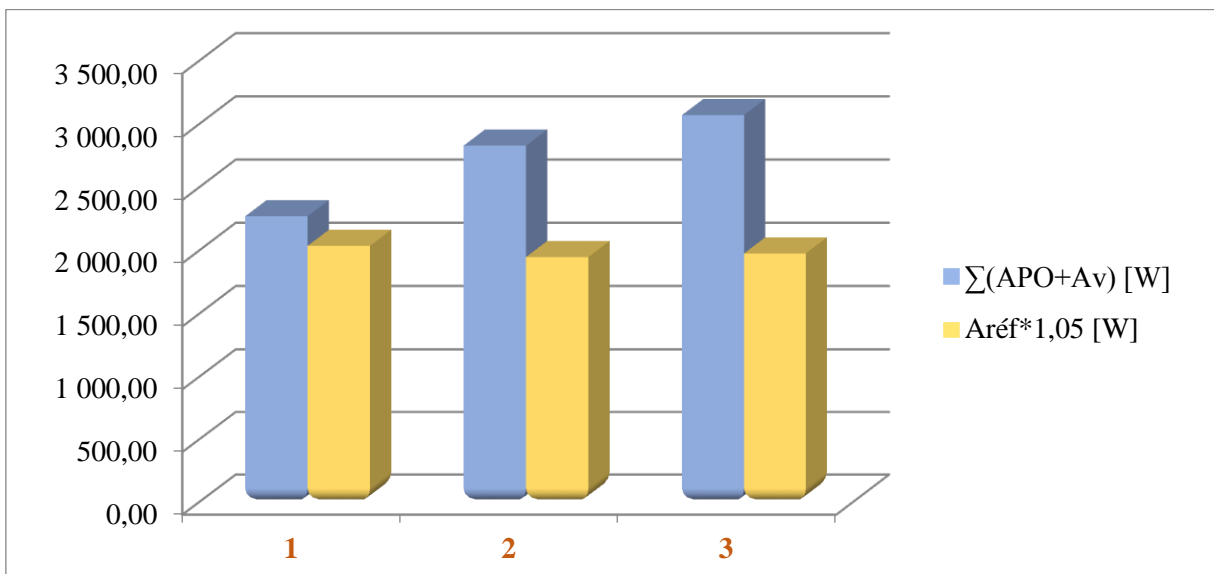


Figure III. 26: La vérification réglementaire de l'appartement F3 du dernier étage.

➤ Le bloc R+9

Tableau III. 18 : Le bilan thermique du bloc R+9 avant rénovation en été avant rénovation.

Orientation	1	2	3
$\Sigma(APO+A_v)$ [W]	47 835,73	49 090,34	52 724,54
Aréf×1,05 [W]	36 264,56	36 213,16	36 501,18
Puissance [W]	147 928,93	150 495,92	157 946,04

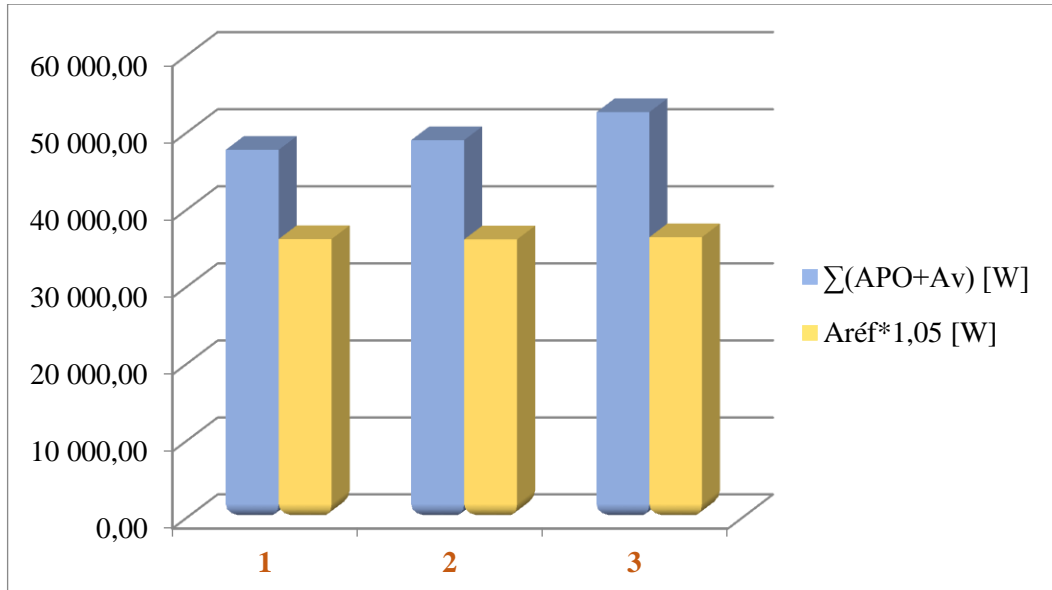


Figure III. 27: La vérification réglementaire du bloc R+9 avant rénovation.

➤ **L'appartement F3 (Dernier étage Orientation 01)**

Tableau III. 19 : La comparaison entre l'influence de chaque type de vitrage.

La comparaison	Simple vitrage	Double Vitrage
$\Sigma(APO+Av)$ [W]	2 275,24	2 079,62
$Aréf \times 1,05$ [W]	2 041,15	2 041,15
Puissance [W]	16 684,58	16 283,54

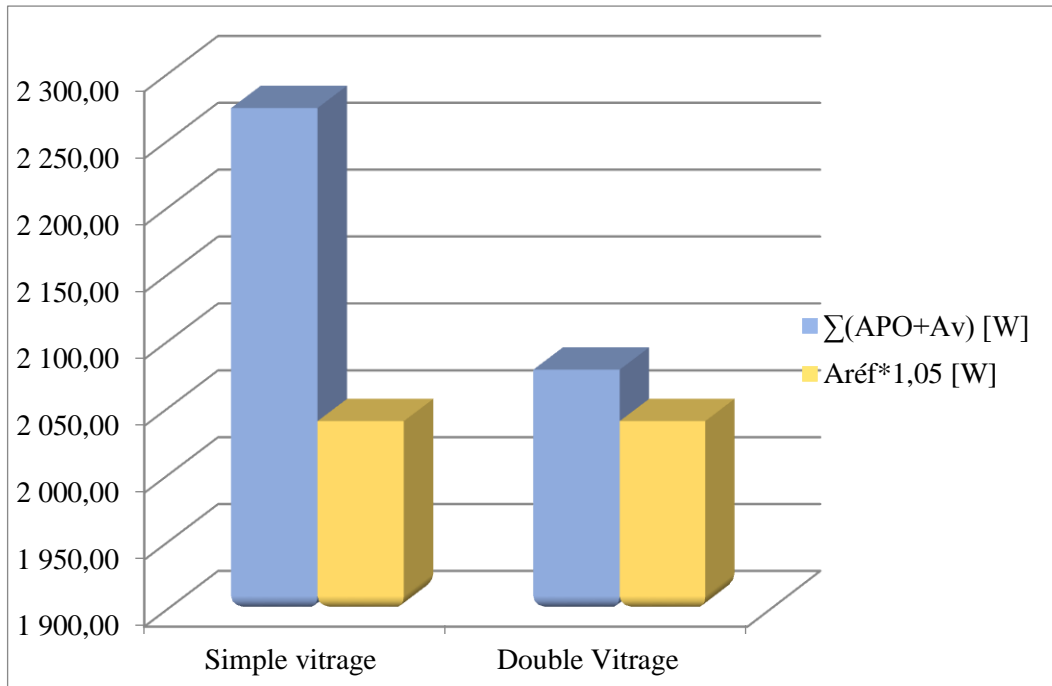


Figure III. 28 :La comparaison entre l'influence de chaque type de vitrage.

➤ **Le bloc R+9**

Tableau III. 20: La comparaison entre l'influence de chaque type de vitrage.

La comparaison	Simple vitrage	Double Vitrage
$\sum(APO+A_v)$ [W]	47 835,73	39 986,06
Aréf×1,05 [W]	36 264,56	36 264,56
Puissance [W]	147 928,93	131832,15

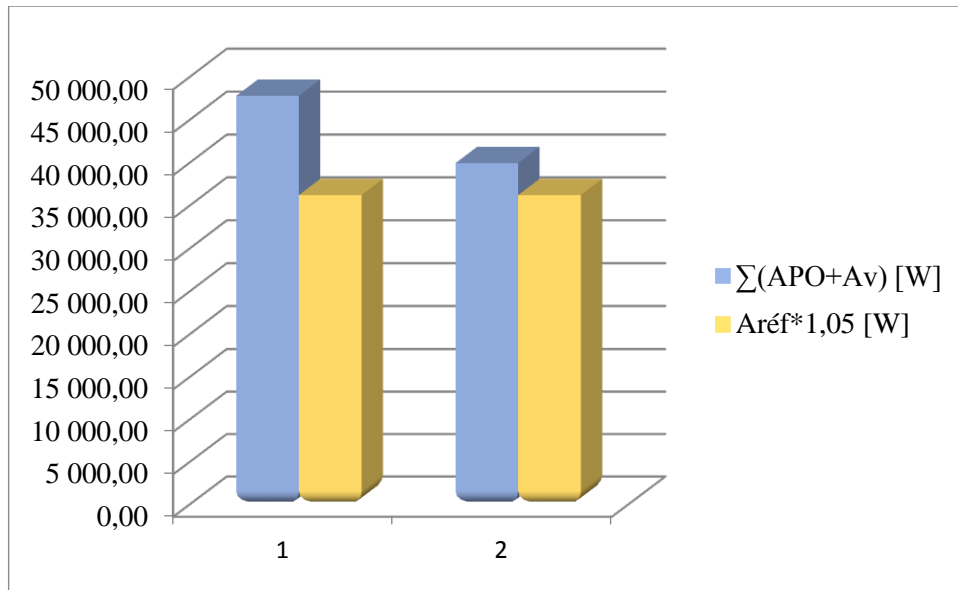


Figure III. 29:Les résultats de comparaison entre l'influence de chaque type de vitrage.

Les résultats de l'application du logement avec la brique mono-mur et simple vitrage

➤ **L'appartement F3 (Dernier étage):**

Tableau III. 21 :Le bilan thermique de l'appartement F3 dernier étage avec mono-mur et simple vitrage.

Orientation	1	2	3
$\sum(APO+A_v)$ [W]	1 737,49	2 482,26	2 993,94
Aréf×1,05 [W]	2 041,15	1 952,64	1 981,23
Puissance [W]	15 582,18	17 108,95	18 157,89

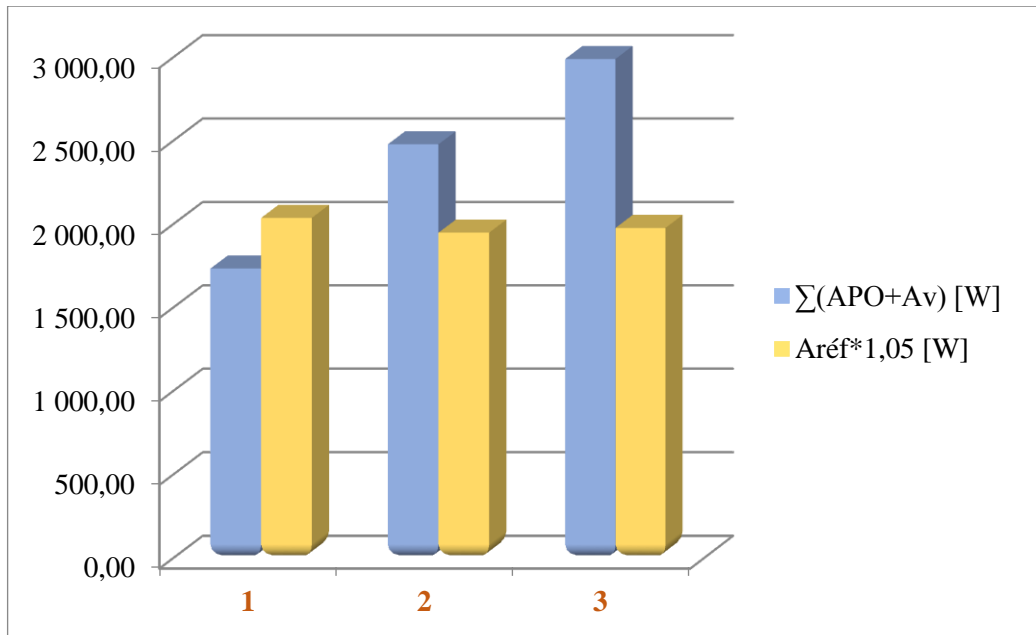


Figure III. 30: La vérification réglementaire de l'appartement F3 de dernier étage avec mono-mur et simple vitrage.

➤ **Le bloc R+9**

Tableau III. 22:Le bilan thermique du bloc R+9 avec mono-mur et simple vitrage.

Orientation	1	2	3
$\Sigma(APO+Av)$ [W]	47 639,63	48 909,96	48 059,10
$Aréf \times 1,05$ [W]	36 264,56	36 213,16	36 501,18
Puissance [W]	147521,97	150126,14	148381,88

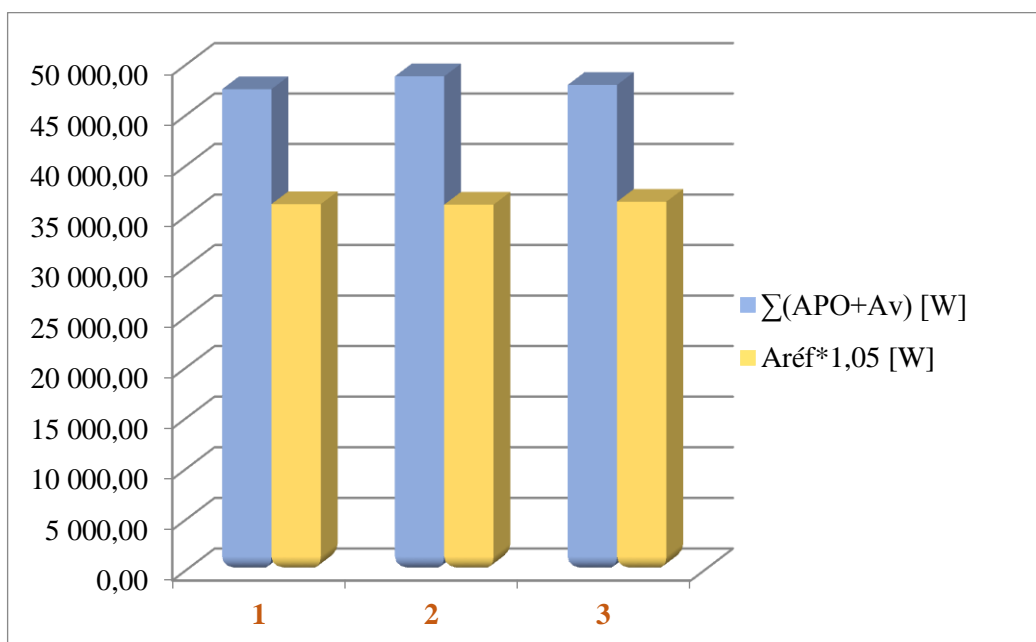


Figure III. 31 : La vérification réglementaire du bloc R+9 avec mono-mur et simple vitrage.

Les résultats de comparaison avant rénovation et avec la brique mono-mur

➤ **L'appartement F3(Dernier étage):**

Tableau III. 23 : La comparaison entre l'appartement avec simple vitrage avant rénovation et avec la brique mono mur.

la comparaison	Brique creuse	Brique mono-mur
$\Sigma(APO+Av)$ [W]	2 275,24	1 737,49
Aréf×1,05 [W]	2 041,15	2 041,15
Puissance [W]	16684,58	15582,18

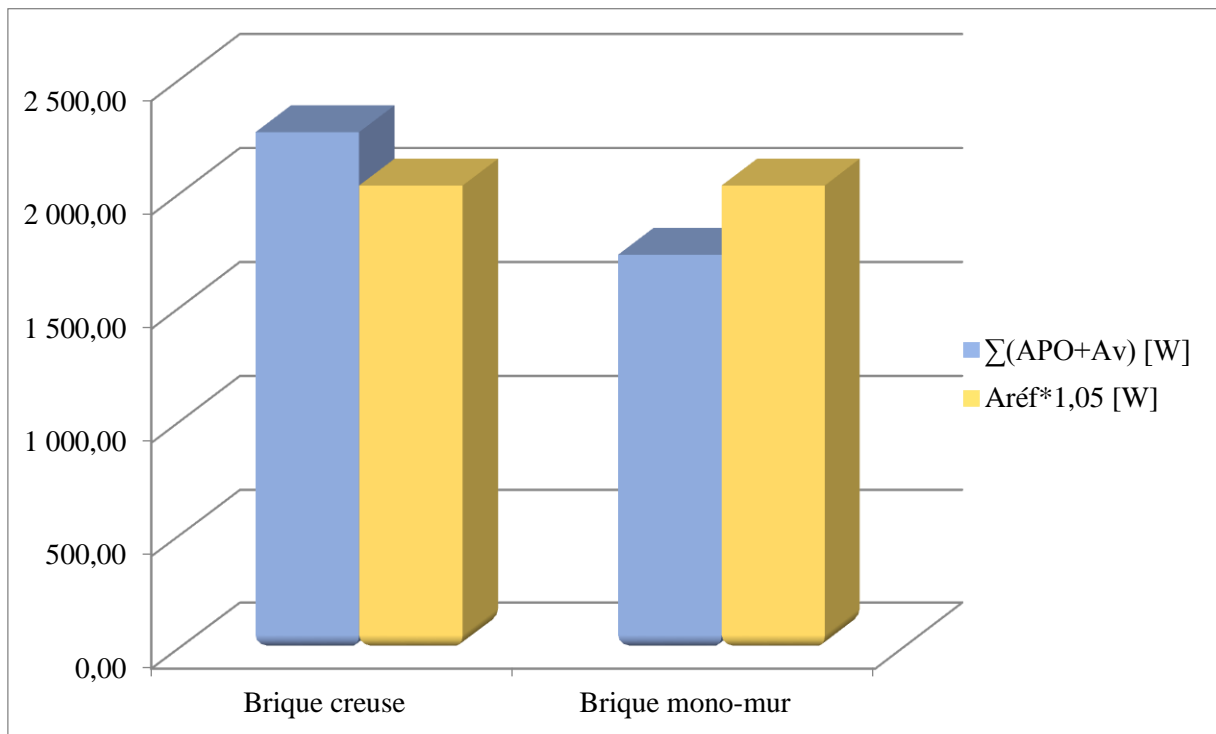


Figure III. 32:La comparaison entre l'appartement avec simple vitrage avant rénovation et avec la brique mono-mur.

➤ **Le bloc R+9**

Tableau III. 24: La comparaison entre le bloc avec simple vitrage avant rénovation et avec la brique mono-mur.

La comparaison	Brique creuse	Brique mono-mur
$\Sigma(APO+Av)$ [W]	47 835,73	47 639,63
Aréf×1,05 [W]	36 264,56	36 264,56
Puissance [W]	147 928,93	147521,97

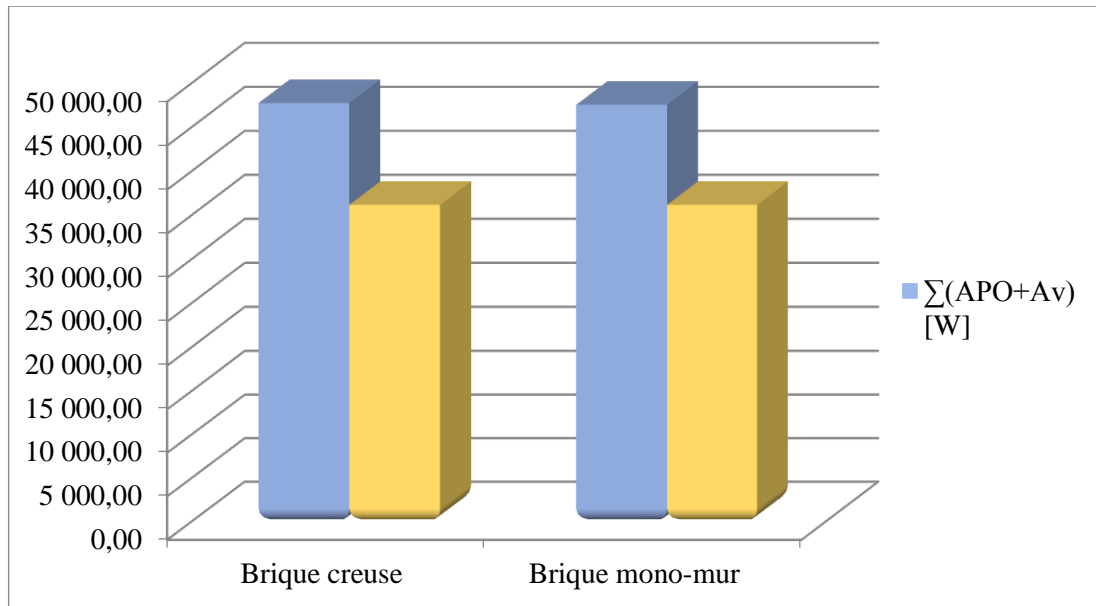


Figure III. 33: La comparaison entre le bloc avec simple vitrage avant rénovation et avec la brique mono-mur.

Les résultats de l'application du logement avec la brique mono-mur et double vitrage

➤ L'appartement F3 (Dernier étage)

Tableau III. 25: Le bilan thermique de l'appartement F3 avec mono-mur et double vitrage.

Orientation	1	2	3
$\Sigma(APO+Av)$ [W]	1 541,87	2 286,64	2 798,31
Aréf×1,05 [W]	2 041,15	1 952,64	1 981,23
Puissance [W]	15 181,15	16 707,92	17 756,87

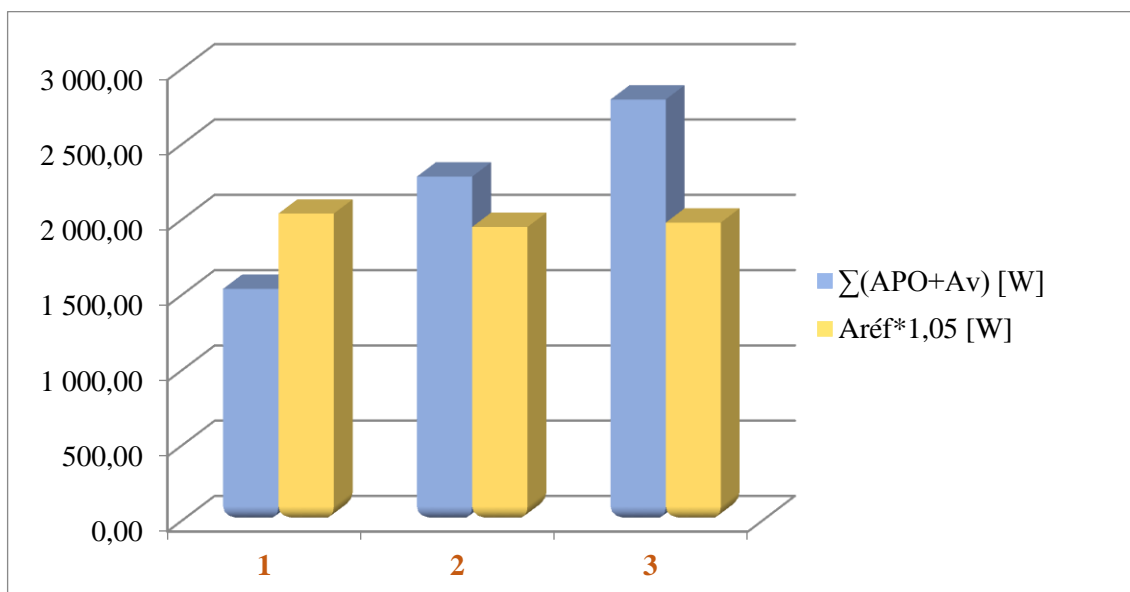


Figure III. 34: La vérification réglementaire de l'appartement F3 avec mono-mur et double vitrage.

➤ **Le bloc R+9**

Tableau III. 26:le bilan thermique du bloc R+9 avec mono-mur et double vitrage.

Orientation	1	2	3
$\Sigma(APO+Av)$ [W]	39 789,96	41 060,29	40 209,43
Aréf×1,05 [W]	36 264,56	36 213,16	36 501,18
Puissance [W]	131430,14	134034,33	132290,06

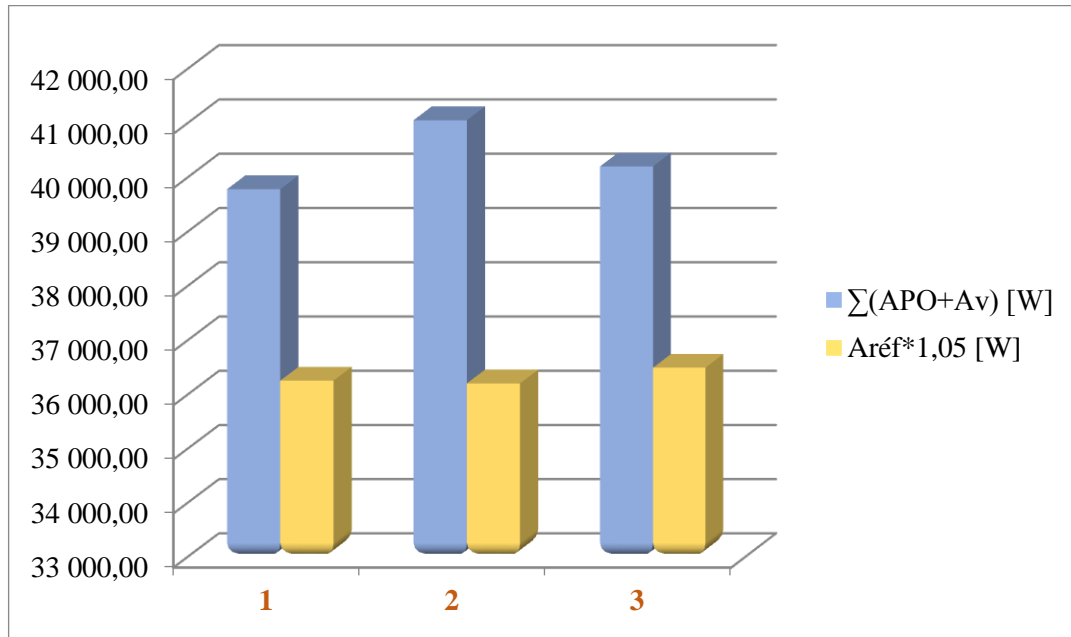


Figure III. 35: La vérification réglementaire du bloc R+9 avec mono-mur et double vitrage.

Les résultats de l'application du logement simple vitrage avec la brique mono mur et différents types d'isolations

➤ **Le bloc R+9**

Polystyrène :

Tableau III. 29 :Le bilan thermique du bloc R+9 avec différents épaisseurs de polystyrène.

Epaisseur d'isolant [cm]	$\Sigma(APO+Av)$ [W]	Aréf×1,05 [W]	Puissance [W]	
2	37017,98	36 264,56	125 747,59	N'est pas vérifié
3	35555,58	36 264,56	122 749,67	Vérifié
5	34059,83	36 264,56	119 683,38	Vérifié
7	33299,09	36 264,56	118 123,87	Vérifié
9	32838,45	36 264,56	117 179,56	Vérifié

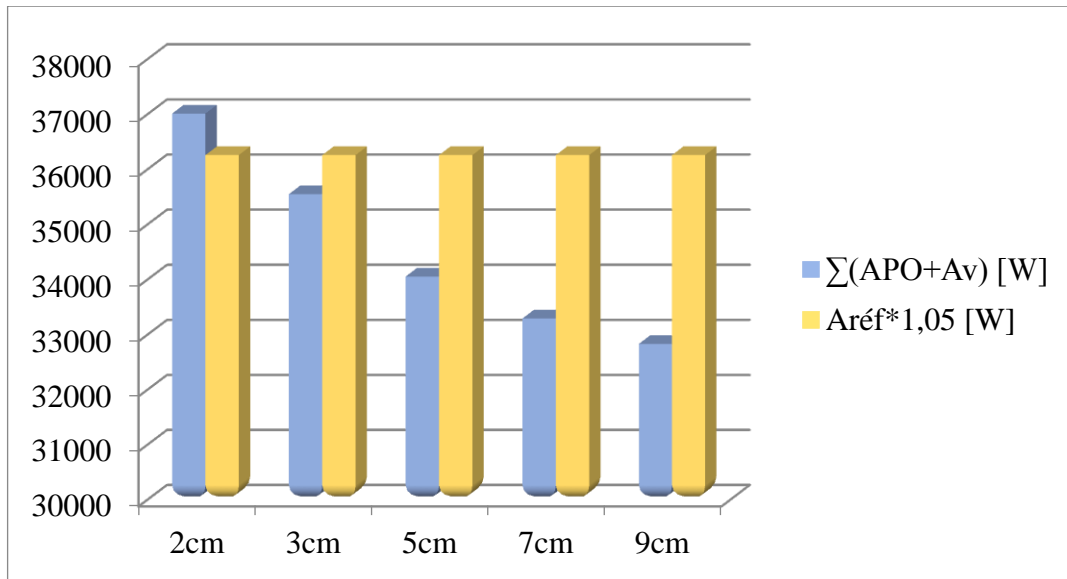


Figure III. 36 :La vérification réglementaire du bloc R+9 avec différents épaisseurs le polystyrène.

La laine de verre :

Tableau III. 27: Le bilan thermique du bloc R+9 avec différents épaisseurs de la laine de verre.

Épaisseur d'isolant [cm]	$\Sigma(APO+Av)$ [W]	$Aréf \times 1,05$ [W]	Puissance [W]	
2	36720,66	36 264,56	125 138,08	N'est pas vérifié
3	35300,75	36 264,56	122 227,27	Vérifié
5	33868,06	36 264,56	119 290,25	Vérifié
7	33146,87	36 264,56	117 811,81	Vérifié
9	32712,59	36 264,56	116 921,54	Vérifié

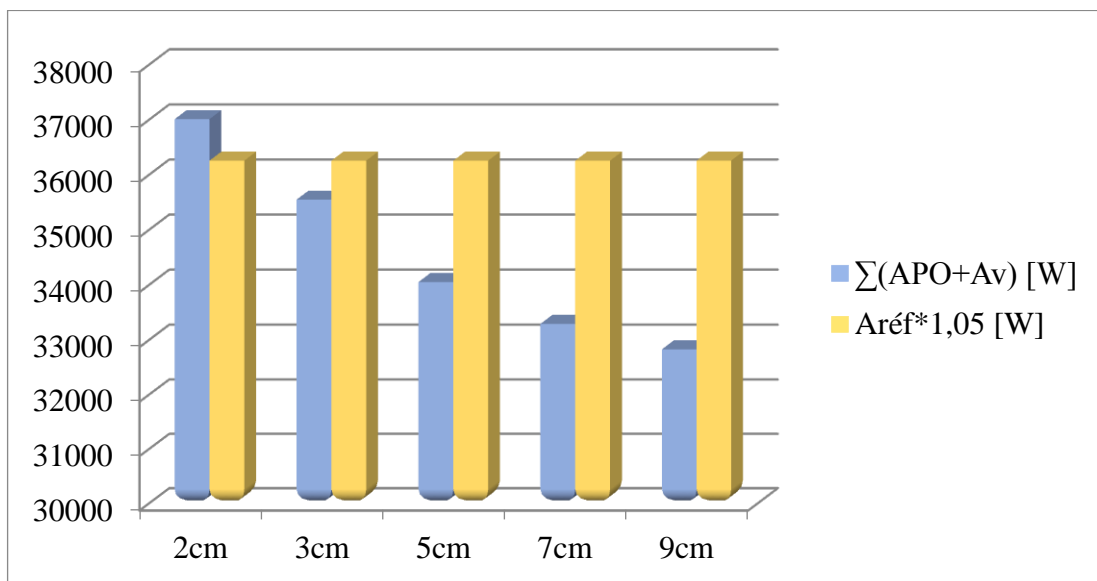


Figure III. 37 :La vérification réglementaire du bloc R+9 avec différents épaisseurs de la laine de verre.

La laine de roche :

Tableau III. 28: Le bilan thermique du bloc R+9 avec différents épaisseurs de la laine de roche.

Epaisseur d'isolant [cm]	$\Sigma(APO+Av)$ [W]	Aréf*1,05 [W]	Puissance [W]	
2	37652,51	36 264,56	127 048,37	N'est pas vérifié
3	36111,12	36 264,56	123 888,52	Vérifié
5	34487,18	36 264,56	120 559,44	Vérifié
7	33642,15	36 264,56	118 827,14	Vérifié
9	33124,04	36 264,56	117 765,01	Vérifié

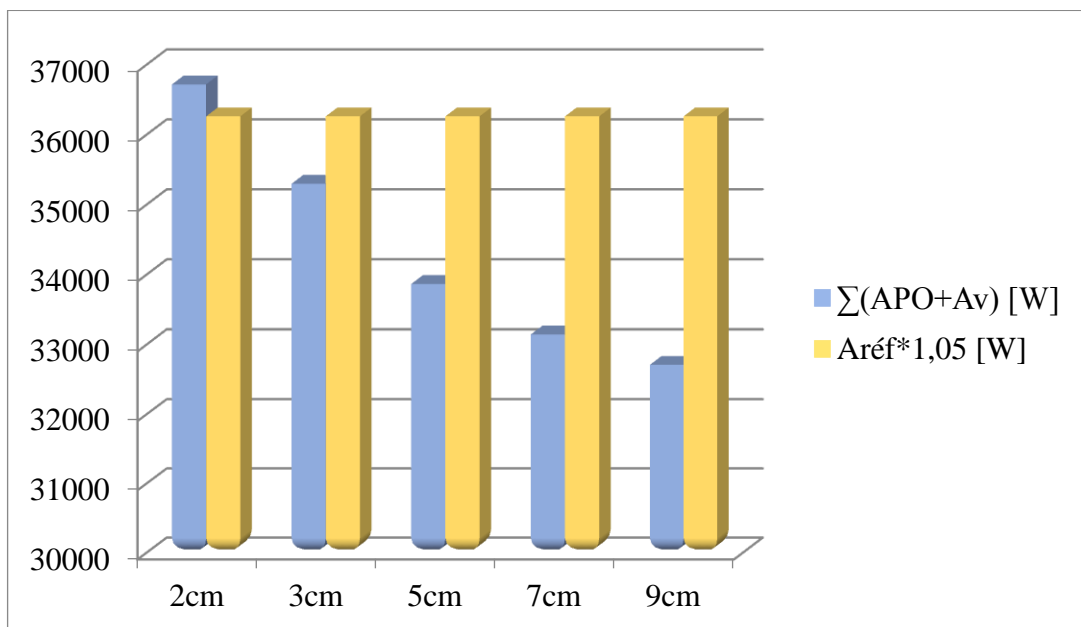


Figure III. 38 : La vérification réglementaire du bloc R+9 du bloc R+9 avec la laine de roche.

Les résultats de comparaison entre les types de rénovation

➤ L'appartement F3 (Dernier étage)

➤ Tableau III. 29: Tableau de comparaison entre les types de rénovation dans l'appartement F3.

Types de rénovation	Puissance [W]	puissance avant rénovation [W]
La puissance Q pour F3(DE) avant rénovation (SV)	16 684,58	16684,58
La réduction de Puissance par le double vitrage	16 283,54	16684,58
La réduction de Puissance par briques Mono-mur SV	15 582,18	16684,58
La réduction de Puissance par briques Mono-mur DV	15 181,15	16684,58

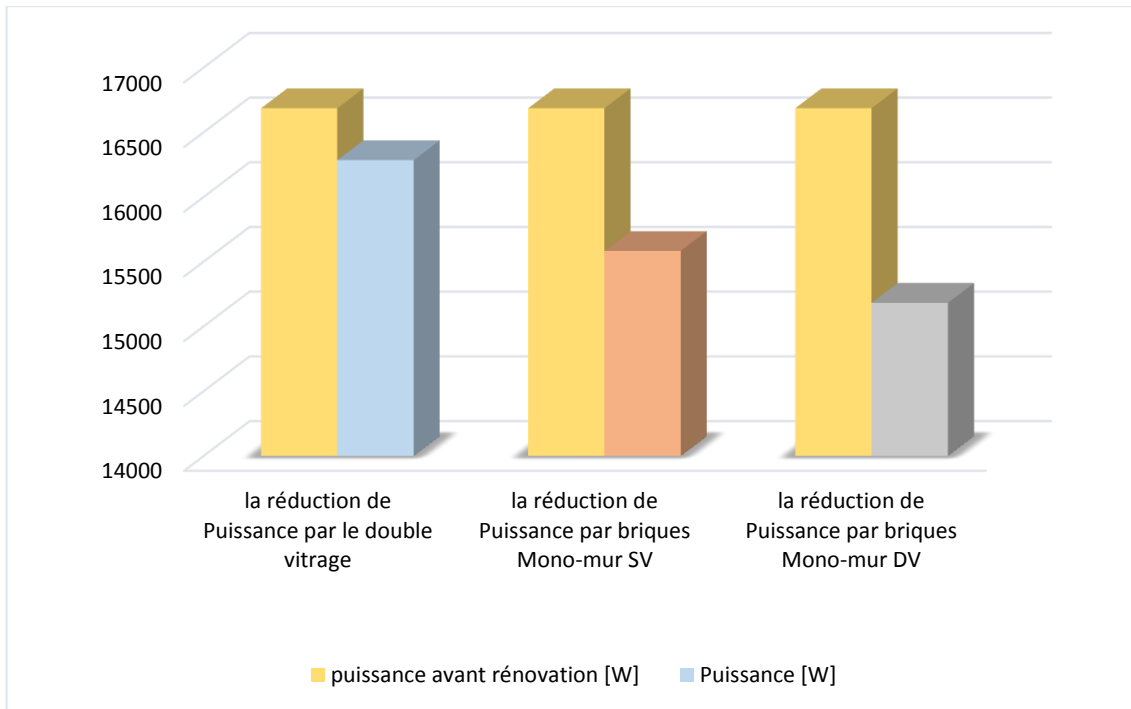


Figure III. 39 : La comparaison entre les types de rénovation de l'appartement F3.

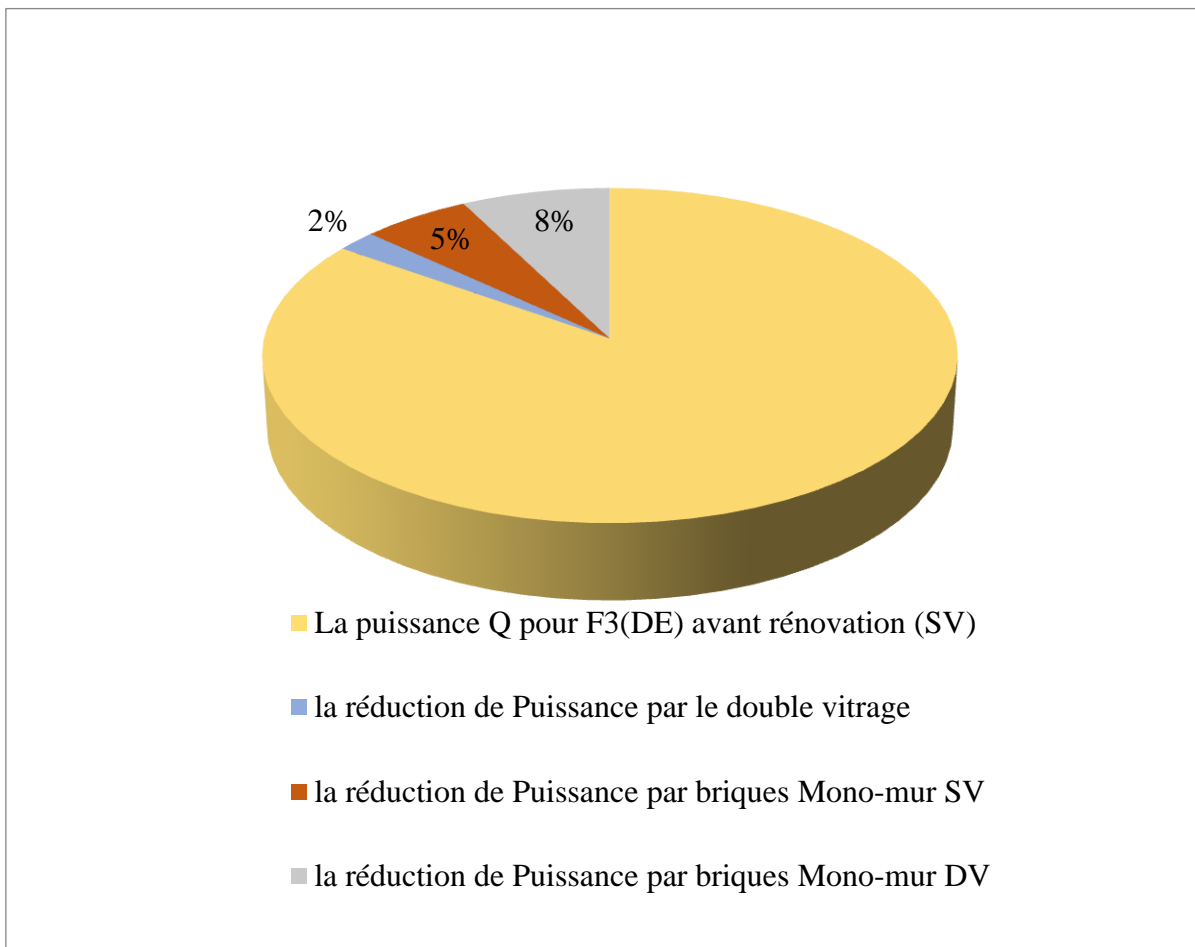


Figure III. 40 : La comparaison entre les types de rénovation de l'appartement F3.

➤ **bloc R+9**

Tableau III. 30: Tableau de comparaison entre les types de rénovation dans l'appartement F3.

Type de rénovation	Puissance [W]	Puissance [W] avant rénovation
1-DV	147 928,93	147928,93
2-Mono-mur	147 521,97	147928,93
3-Mono-mur DV	131 430,14	147928,93
4-Mono-mur + polystyrène (3cm) SV	122 749,67	147928,93
5-Mono-mur + laine de verre (3cm) SV	122 227,27	147928,93
6-Mono-mur + laine de roche (3cm) SV	123 888,52	147928,93

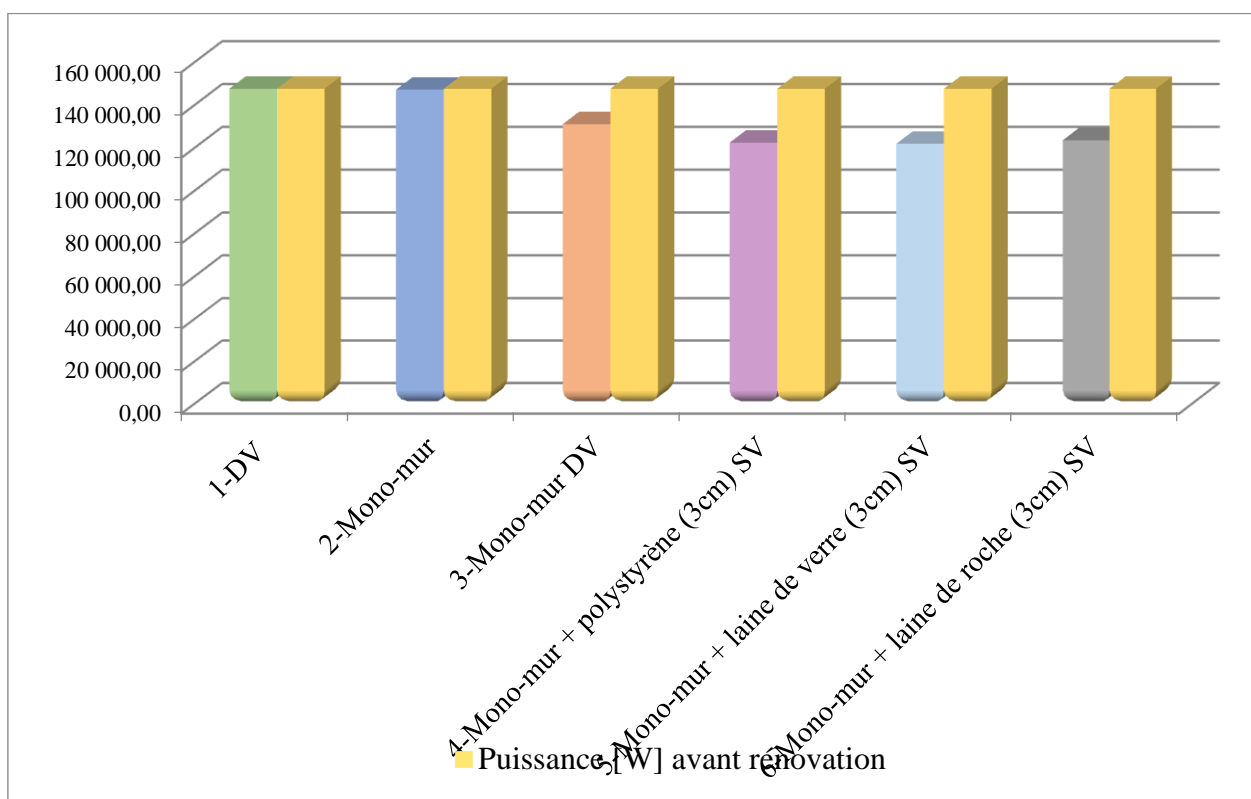


Figure III. 41: Tableau de comparaison entre les types de rénovation dans l'appartement F3.

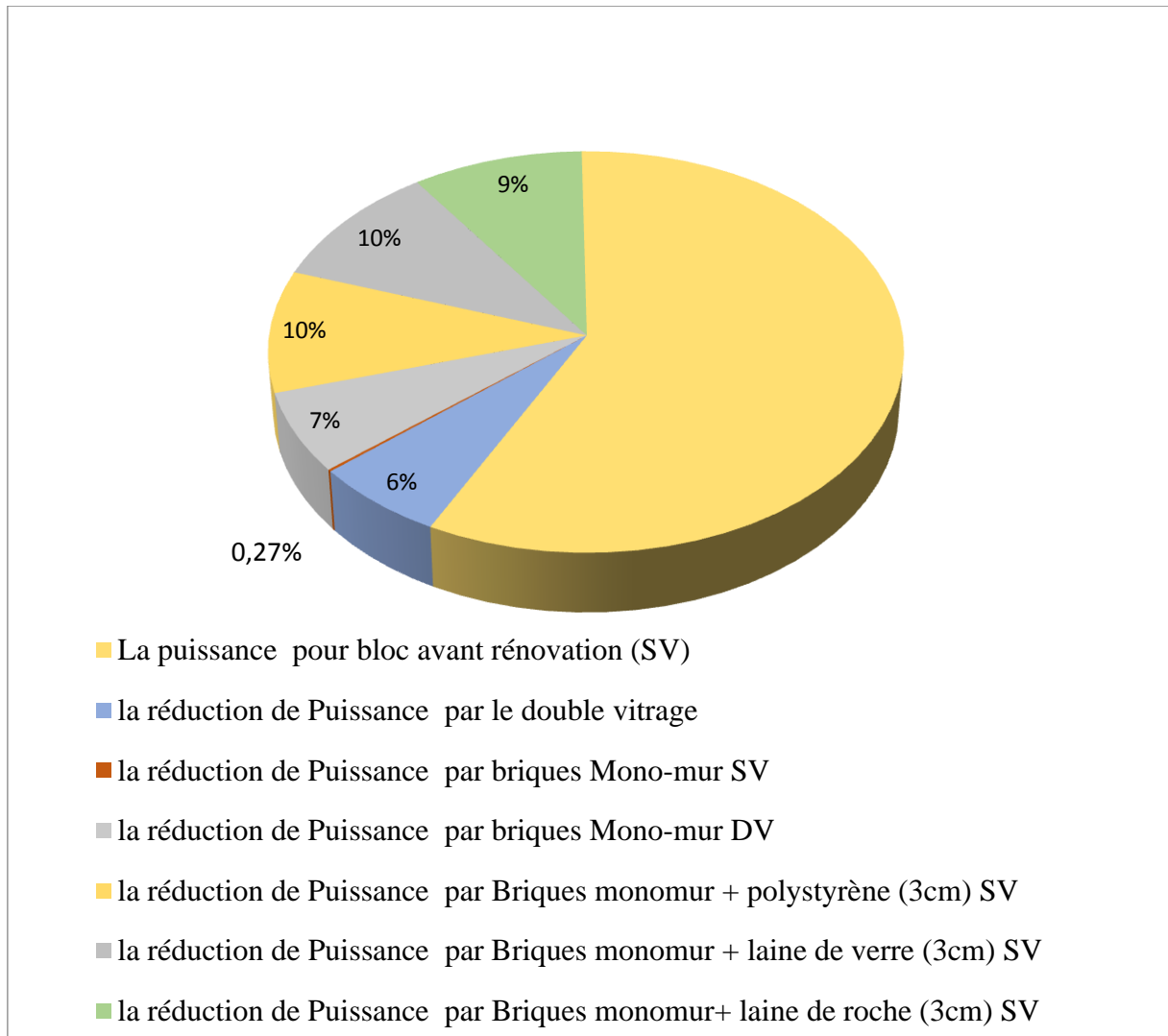


Figure III. 42 : Le pourcentage de l'effet des différents types de rénovations sur la réduction de la puissance de climatisation pour le bloc R+9.

I.1.29 Résultats et discussion

Résultats :

En observant les tableaux III.19, III. 20 et Les figures III. 26, III. 27 qui illustrent respectivement la puissance de la climatisation de l'appartement F3 situé au dernier étage et le bloc R+9 avant rénovation, on a constaté que la première orientation permet une consommation minimale de climatisation comparée aux deux autres orientations.

L'appartement F3 du dernier étage et le bloc R+9 avant rénovation n'a été pas vérifié sur la réglementation algérienne en été dans les 3 orientations car :

$$APO(15h) + A_v(15h) \geq 1.05 \times A_{réf}(15h) [W]$$

Au lieu de : $A_{PO} (15 h) + A_v (15h) \leq 1,05 \times A_{réf} (15 h) [W]$

- **On prend la 1^{ère} orientation comme orientation optimale :**

En examinant les données du tableau III. 19 III.20 et de la figure III.26 III., qui comparent la puissance de la climatisation de l'appartement F3 et du bloc R+9 avant rénovation, on constate que l'orientation de l'appartement joue un rôle clé dans la réduction de la consommation de climatisation. En revanche, en ce qui concerne l'utilisation du simple et double vitrage, les résultats des tableaux III. 21, III. 22 et les figures III. 28, III. 29 montrent que la puissance de climatisation ne diminue pas significativement dans l'appartement F3 et le bloc R+9. La vérification réglementaire n'a pas été effectuée dans l'appartement et le bloc R+9, une diminution de la puissance de la climatisation dans le l'appartement F3 ainsi que dans le bloc R+9.

Le tableau III.23 et la figure III. 30 présentent l'appartement F3 avec une construction en brique mono mur et simple vitrage, qui a été vérifié conformément à la réglementation algérienne pour la première orientation. Cependant, les deux autres orientations n'ont pas été vérifiées.

Le tableau III. 24 et la figure III. 31 représente la puissance de climatisation du bloc R+9 avec la brique mono-mur et simple vitrage les résultats ne respecte pas la vérification réglementaire algérienne dans les trios orientations.

Le tableau III. 25 et la figure III. 32 illustrent la comparaison entre l'appartement avant rénovation et celui avec la brique mono mur. L'appartement avec la brique mono mur présente une réduction remarquable par rapport à l'appartement avant rénovation.

Le tableau III. 26 et la figure III. 33 illustrent la comparaison entre le bloc avant rénovation et celui avec la brique mono mur, montrant une diminution de puissance dans le bloc avec la brique mono mur par rapport à celui avant la rénovation.

Les tableaux III.27 et III.28, ainsi que la figure III.34 et III.35 présentent l'appartement et le bloc avec la brique mono-mur et un double vitrage. Il convient de noter que le bloc n'a pas été vérifié, tandis que l'appartement a été vérifié conformément aux réglementations en vigueur en Algérie.

Selon les données présentées dans le tableau III.29 et la figure III.36 on peut observer une diminution remarquable de la puissance de climatisation du bloc R+9 avec brique mono-mur et simple vitrage lorsqu'on ajoute différentes épaisseurs de polystyrène. La vérification réglementaire algérienne est respectée en été dès 3 centimètres de polystyrène pour le bloc.

Ces observations sont également valables pour les bilans thermiques du bloc R+9 en briques mono-mur avec laine de verre et simple vitrage, tels que présentés dans le tableau III.30 et la figures III.37 et aussi pour la laine de roche tels que présentés dans le tableau III.31 ainsi que dans la figure III. 38.

- **Les résultats de comparaison entre les types de rénovation**

Le tableau III.32 et la figure III.39 présentent les résultats de comparaison de la puissance avant et après la rénovation pour l'appartement F3 avec différents types de rénovation. Les rénovations étudiées sont : double vitrage qui diminue 2% par rapport au simple vitrage, l'intégration du brique mono-mur avec simple vitrage 5% et le double vitrage 8%.

Le tableau III.33 et la figure III.38 présentent les résultats de comparaison de la puissance avant et après la rénovation pour le bloc R+9 avec différents types de rénovation. Les rénovations étudiées sont : double vitrage diminuer, l'intégration du brique mono-mur avec simple vitrage et avec double vitrage, ainsi que les trois types d'isolations proposées avec la brique mono-mur et simple vitrage (le polystyrène, la laine de roche et la laine de verre).

Discussion :

D'après les graphes et les figures que nous avons faits, on constate plusieurs observations concernant les variables qui influent sur les besoins énergétiques. Notre étude a révélé que les bâtiments de l'AADL de Sidi Abdallah ne sont pas conformes à la réglementation algérienne en été.

L'utilisation du double vitrage diminue la puissance jusqu'à 6% dans le bloc R+9 et 2% dans l'appartement F3 dernier étage. L'application de la brique mono-mur avec simple vitrage dans le bloc réduit une puissance de 0,27 % mais pour l'appartement F3 (DE) avec 5%, on constate que la brique mono-mur avec simple vitrage n'a presque aucune amélioration sur la consommation du bloc.

Les isolants utilisés ont pour rôle de réduire la consommation énergétique jusqu'à 10% dans le bâtiment.

Quand on ajoute le double vitrage avec la brique mono-mur la consommation est réduite jusqu'à 7% dans le bloc et 8% à l'appartement ce qui signifie que l'isolation a un effet mieux que le double vitrage.

Les isolants utilisés dans le bâtiment ont pour rôle de réduire la consommation énergétique au bâtiment non isolés.

Conclusion

En conclusion, pour rendre un appartement F3 et un bloc R+9 à la fois plus confortables et plus économiques, il est recommandé d'opter pour une orientation plein sud, d'utiliser des briques mono-murs avec une isolation d'une épaisseur de 3 cm sur les murs intérieurs en béton.

Chapitre 04 : Etude technico-économique

Introduction :

L'étude technico-économique d'un bâtiment consiste à analyser les coûts associés à la construction, la rénovation ou l'entretien du bâtiment, ainsi que son efficacité énergétique. L'objectif principal de ce chapitre est de calculer les surcoûts des différentes solutions, telles que l'utilisation de double vitrage, de brique mono-mur ou d'isolation thermique, pour améliorer l'efficacité énergétique du bâtiment. Elle permet également d'étudier l'économie d'énergie liée au chauffage et à la climatisation, ainsi que le temps d'amortissement de ces améliorations.

Calcul des surcoûts :

Dans notre étude, le surcoût d'un logement dépend de plusieurs facteurs :

- Le nombre et la surfaces des fenêtres et portes-fenêtres ;
- Le coût de la main d'œuvre pour l'installation de double vitrage ;
- La surface des parois en béton à isoler ;
- La surface des parois en brique mono-mur ;
- Les matériaux isolants utilisés tels que le polystyrène, la laine de roche et la laine de verre.
- La résistance de l'isolant utilisé, le confort souhaité, ce qui va influencer sur l'épaisseur d'isolant à installer.
- Le coût de la main d'œuvre de l'installation de l'isolation thermique.

I.1.30 Le budget ajouté pour le double vitrage :

Nous avons calculé le coût des fenêtres et des portes fenêtres à simple vitrage pour les appartements F3 et F4. Ensuite, nous avons refait le même calcul en remplaçant le SV par DV. En comparant les deux coûts, nous avons pu déterminer la différence, qui nous a permis de calculer le budget nécessaire pour la rénovation de ces appartements ainsi que du bloc R+9.

Tableau IV. 1: Analyse des coûts pour la rénovation a double vitrage des appartements F3 et F4, ainsi que du bloc R+9.

Dimensions [m]	Prix SV [DA]	Prix DV [DA]	différence de Prix [DA]	Le coût appartement [DA]	Le coût total de bloc R+9 [DA]
F1 (1,2×1,4)	29 000,00	36 000,00	7 000,00	F3	1 780 000,00
F3 (0,6×1,4)	15 000,00	18 000,00	3 000,00	41 000,00	
C1 (0,5×0,6)	9 000,00	12 000,00	3 000,00	F4	
PF1 (1,5×2,4)	44 000,00	54 000,00	10 000,00	48 000,00	
PF3 (0,9×2,4)	38 000,00	46 000,00	8 000,00		

I.1.31 Le budget ajouté pour la brique mono-mur :

Nous avons calculé le coût de la brique creuses utilisée pour la construction d'AADL. Ensuite, nous avons refait le même calcul en remplaçant la brique creuse par la brique mono-mur. Nous avons déduit le coût du brique mono-mur de celui de la brique creuse, ce qui nous a permis de calculer la différence. Ce calcul nous sert pour estimer le coût de la rénovation du bloc R+9.

Tableau IV. 2: Etude de budget pour l'utilisation de brique mono-mur pour les appartements F3, F4 et le bloc R+9.

	Quantité pour 1m ²	prix 1brique [DA]	prix 1m ² [DA]	prix RDC [DA]	Prix 1er étage [DA]	prix totale [DA]	la différence [DA]
brique creuse (25×10×10)	33	16,00	528,00	80 287,68	82 737,60	824 926,08	112 489,92
brique mono-mur (20×50×30)	10	60,00	600,00	91 236,00	94 020,00	937 416,00	

I.1.32 Le budget ajouté pour l'utilisation de brique mono-mur + l'isolation (3cm) :

Nous avons calculé le prix et le coût de la pose du m² pour chaque type d'isolation. Ensuite, nous avons calculé le coût total pour les surfaces des murs en béton pour les types des appartements F3 et F4. Pour le coût total du bloc R+9, nous avons multiplié le coût unitaire du F3 pour 20 appartements et le coût unitaire du F4 pour 20 appartements.

Tableau IV. 3: Budget de rénovation avec briques mono-mur + isolation (3cm) pour F3, F4 et le bloc R+9.

l'isolation proposée	prix pour 1m²[DA]	prix pose 1m² [DA]	Prix total 1m²[DA]	Prix F3 [DA]	Prix F4 [DA]	prix totale bloc R+9 [DA]
Polystyrène	400,00	300,00	700,00	49 007,00	54 418,00	2 180 989,92
La laine de roche	650,00	300,00	950,00	66 509,50	73 853,00	2 919 739,92
La laine de verre	800,00	300,00	1 100,00	77 011,00	85 514,00	3 362 989,92

Tableau IV. 4: Estimation des coûts pour différents rénovation énergétique pour un bloc R+9.

Le budget ajouté	le cout total du bloc R+9 [DA]
Double vitrage sans isolation	1 780 000,00
Brique mono-mur SV	112 489,92
Brique mono-mur DV	1 852 489,92
Brique mono-mur + poly (3cm)SV	2 180 989,92
Brique mono-mur + laine de roche(3cm)SV	2 919 739,92
Brique mono-mur + laine de verre(3cm)SV	3 362 989,92

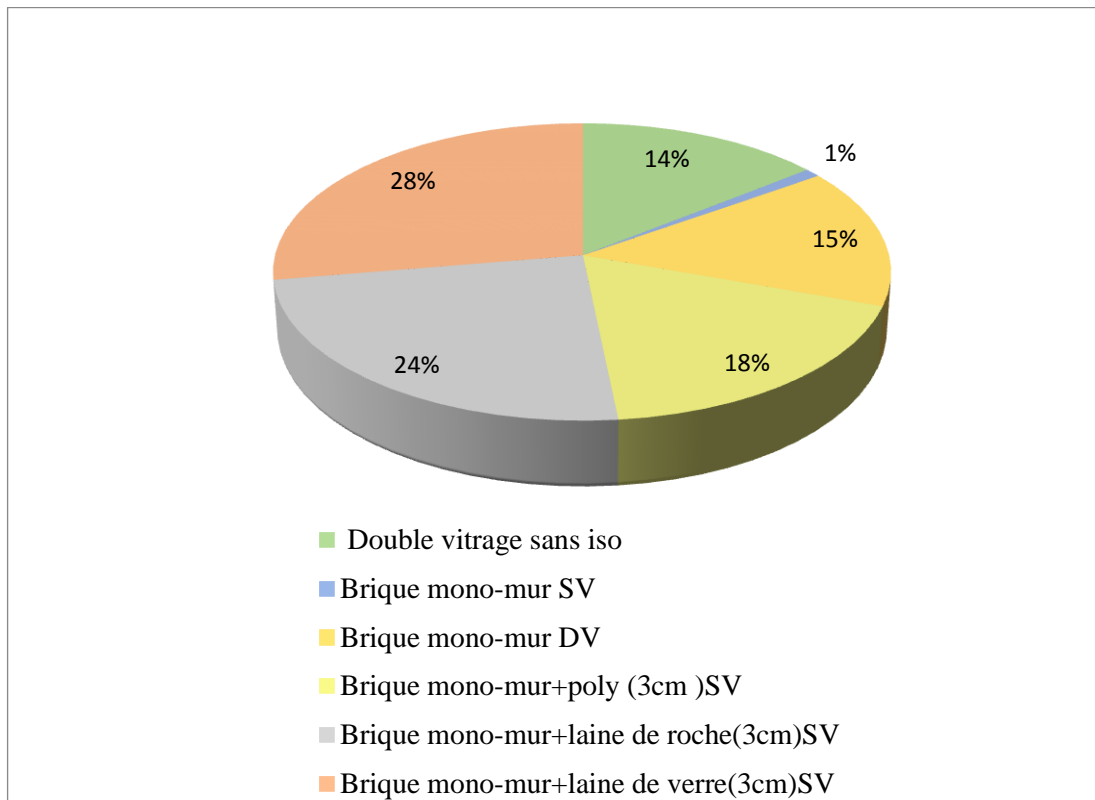


Figure IV. 1: Pourcentage des différents coûts de rénovation.

Le tableau IV.4 présente le surcoût lié aux différents budgets de rénovation énergétique pour le bloc R+9 qui contient 20 appartements de type f3 et 20 appartements de type F4. Les

rénovations énergétiques comprennent le remplacement des vitrages par des doubles vitrages, l'utilisation de briques mono-mur et l'isolation des murs intérieurs en béton avec du polystyrène, de la laine de roche ou de la laine de verre.

La figure IV. 1 montre les différences de prix entre les divers types de rénovation énergétique. Les pourcentages varient de 1% pour la brique mono-mur avec vitrage simple à 28% pour la brique mono-mur avec laine de verre de 3 cm et vitrage simple. Le double vitrage sans isolation coûte 14% plus, tandis que la brique mono-mur en double vitrage coûte 15% plus et la brique mono-mur avec polystyrène de 3cm et vitrage simple coûte 18% plus. La brique mono-mur avec laine de roche de 3 cm et vitrage simple coûte 24% plus.

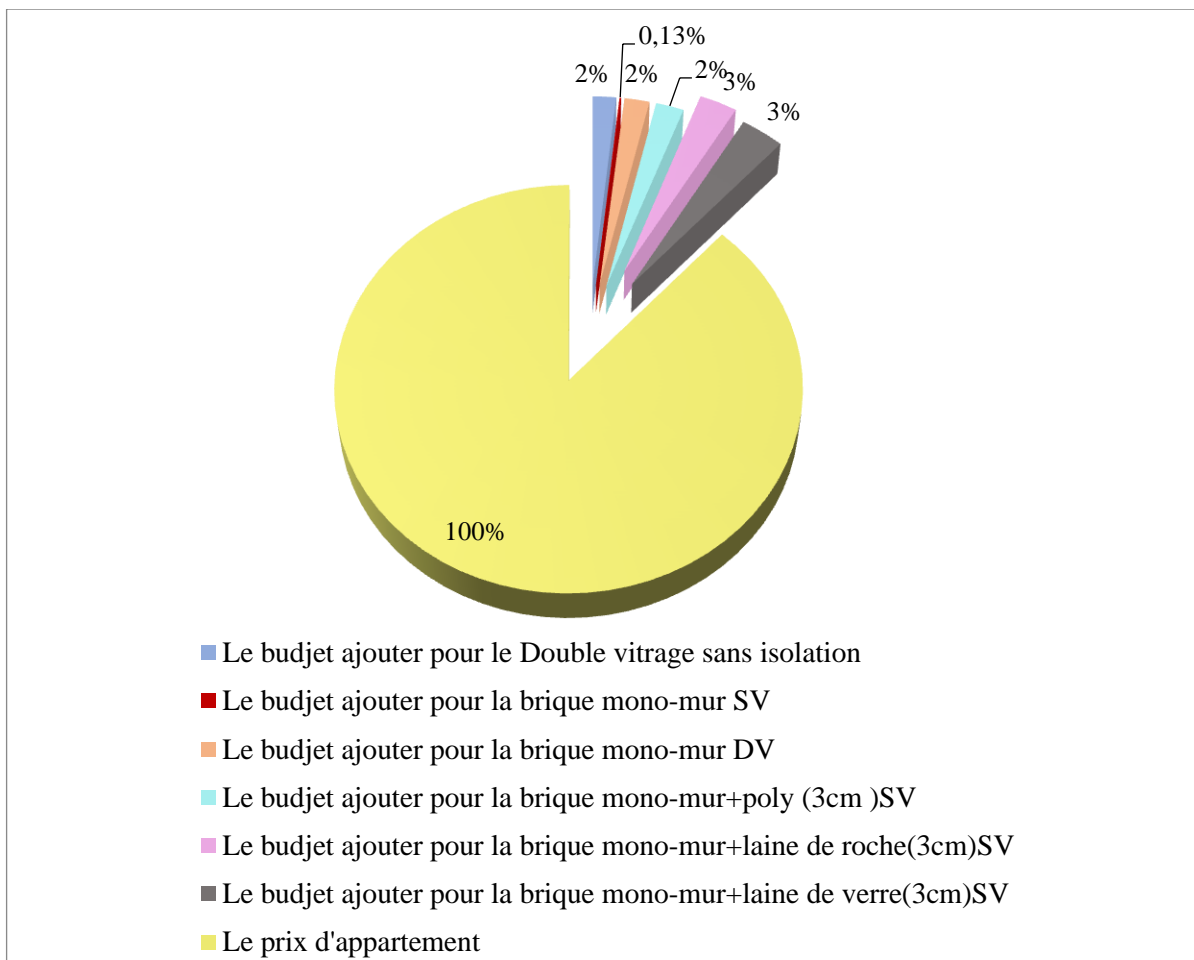


Figure IV. 2: Le budget de rénovation par rapport au prix initial de l'appartement.

D'après les résultats de la figure IV.2, l'utilisation de double vitrage pour un logement F3 entraîne un surcoût de 2%, tandis que la brique mono-mur en simple vitrage entraîne un surcoût de 0.13%. Pour la brique mono-mur avec double vitrage, on a un surcoût de 2%, l'isolation par la pose de polystyrène de 3 cm engendre un surcoût de 2%, tandis que la laine de roche d'une couche de 3cm entraîne un surcoût de 3%. La laine de verre de 3 cm entraîne

également un surcoût de 3%, par rapport au prix original de l'appartement dont le prix est fixé à 2 100 000.00 dinars.

Calcul du temps d'amortissement :

Le temps d'amortissement est un indicateur clé pour évaluer la rentabilité d'un investissement en économies d'énergie. Il permet de déterminer le temps nécessaire pour récupérer le coût initial de l'avertissement grâce aux économies d'énergie réalisées. C'est un outil important pour les professionnels de la rénovation énergétique et les propriétaires de bâtiments, car il leur permet de prendre des décisions éclairées quant aux investissements à réaliser pour améliorer l'efficacité énergétique de leur bâtiment. Le temps d'amortissement peut également aider à convaincre les parties prenantes de l'intérêt de l'investissement, en leur montrant qu'il est rentable à long terme.

I.1.33 Economies d'énergie de chauffage

Le prix d'un 1KWh de gaz \longrightarrow 0,3245 DA

Tableau IV. 5: L'économie d'énergie de chauffage du bloc R+9

Types de rénovations	La réduction des puissances [KW]	L'équivalent [DA/h]	L'économie chauffage [DA/ans]	Le cout total du bloc R+9 [DA]	Temps d'amortissement [ans' jours' heures' min']
Puissance sans isolation DV	16,8492	5,47	47 917	1 780 000,00	37' 58' 9' 36'
Puissance brique mono-mur SV	22,05394	7,16	62 722	112 489,92	1' 288' 8' 24'
Puissance brique mono-mur DV	38,90374	12,62	110 551	1 892 489,92	17' 40' 3' 36'
Puissance mono-mur + poly (3cm) SV	136,1336	44,18	387 017	2 180 989,92	5' 233' 14' 24'
Puissance mono-mur + la laine de roche (3 cm) SV	130,5045	42,35	370 986	2 919 739,92	7' 317' 13' 12'
Puissance mono-mur + la laine de verre (3cm) SV	138,7285	45,02	394 375	3 362 989,92	8' 193' 10' 48'

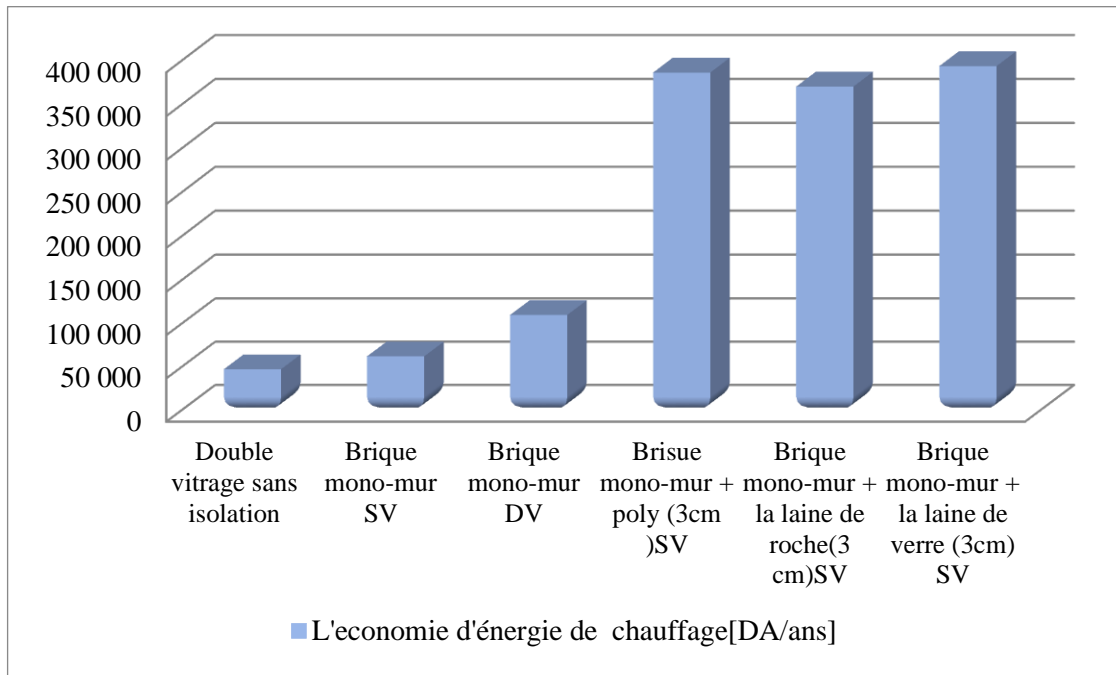


Figure IV. 3: L'économie d'énergie de chauffage du bloc R+9.

Le tableau IV.5 et la figure IV.3 présentent les économies d'énergie de chauffage, en DA/ans pour différents types de rénovation d'un bloc R+9 avec chauffage au gaz naturel.

Les résultats montrent que le double vitrage sans isolation a l'économie d'énergie la plus faible, soit 47 917 DA/ans. La brique mono-mur à une économie de 62 722 DA/ans, tandis que la brique mono-mur avec double vitrage a une économie de 110 551 DA/ans. L'isolation avec 3 cm de polystyrène et brique mono-mur présente une importante économie d'énergie, soit 387 017 DA/ans. La laine de roche de 3 cm avec brique mono-mur donne une économie de 370 986 DA/ans, tandis que la laine de verre de 3 cm avec brique mono-mur à l'économie d'énergie la plus grande, soit 394 375 DA/ans. Il est à noter que les économies d'énergies de chauffage sont très faibles car le gaz naturel et le carburant est le moins cher en Algérie.

I.1.34 Economies d'énergie de climatisation

Le prix d'un 1KWh d'électricité → 4.179 DA

Tableau IV. 6: L'économie d'énergie de climatisation du bloc R+9.

Types de rénovations	La réduction des puissances [KW]	L'équivalent [DA/h]	L'économie climatisation [DA/ans]	Le cout total du bloc R+9 [DA]	Temps d'amortissement [ans' jours' heures' min']
puissance sans isolation DV	13.7680	57.54	504 050	1 780 000,00	3' 193' 10' 48'
puissance brique mono-mur SV	28.3806	118.60	1 038 936	112 489,92	0' 40' 3' 36'
puissance brique mono-mur DV	45.6038	190.57	1 669 393	1 892 489,92	1' 47' 10' 48'
puissance mono-mur + poly (3cm)SV	41.0904	171.71	1 504 180	2 180 989,92	1' 164' 6'
puissance mono-mur + la laine de roche(3 cm)SV	39.8700	166.61	1 459 504	2 919 739,92	2'
puissance mono-mur + la laine de verre (3cm) SV	41.0690	171.62	1 503 391	3 362 989,92	2' 87' 14' 24'

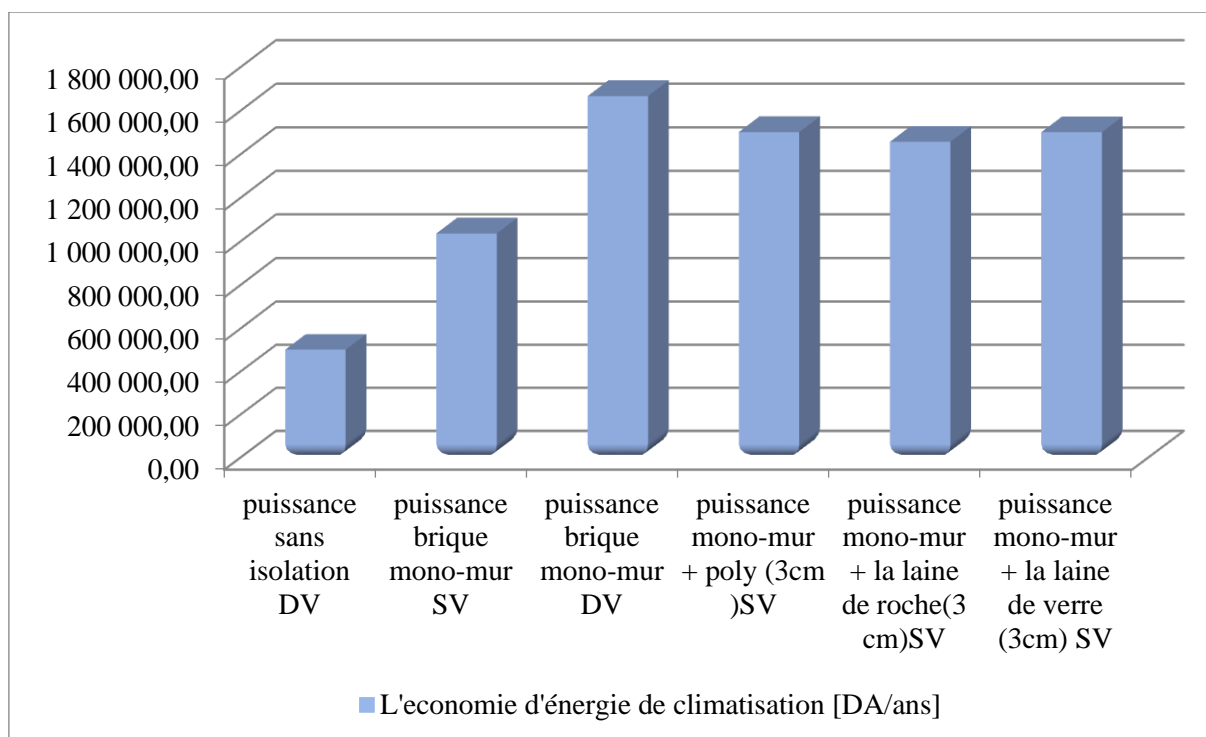


Figure IV. 4: L'économie d'énergie de chauffage du bloc R+9.

Le tableau **IV. 6** et la figure **IV. 4** présentent les économies d'énergie de climatisation réalisées, en DA/ans, des différents types de rénovation d'un bloc R+9 avec une climatisation en électricité.

Les résultats montrent que le double vitrage sans isolation à l'économie d'énergie la plus faible, soit 504 050 DA/ans. La brique mono-mur simple vitrage à une économie de 1 038 936 DA/ans, tandis que la brique mono-mur avec double vitrage à l'économie d'énergie la plus grande, soit 1 669 393 DA/ans. L'isolation avec 3cm de polystyrène et brique mono-mur présente une économie d'énergie, soit 1 504 180 DA/ans. La laine de roche de 3cm avec brique mono-mur donne une économie de 1 459 504 DA/ans, tandis que la laine de verre de 3cm avec brique mono-mur à l'économie de 1 503 391 DA/ans. Il est constaté que les économies d'énergie de climatisation sont plus importantes que celles de chauffage en Algérie car l'électricité est plus chère que le gaz naturel.

Estimation des temps de retour (amortissement) de chauffage et climatisation

Tableau IV. 7: La comparaison entre l'économie et le temps d'amortissement de chauffage et climatisation pour le bloc R+9.

Types de rénovation	CLIMATISATION	CHAUFFAGE	CHAUFFAGE ET CLIMATISATION	CHAUFFAGE ET CLIMATISATION
	Le temps d'amortissement par ans	Le temps d'amortissement par ans	Le temps d'amortissement par ans	L'économie d'énergie en DA/ans
Double vitrage sans isolation	3.53	37,16	41	811 605.24
Brique mono-mur SV	0.11	1,79	2	1 607 433.72
Brique mono-mur DV	1.13	17,11	18	2 545 444.01
Brique mono-mur + poly (3cm) SV	1.45	5,64	7	2 300 227.96
Brique mono-mur + la laine de roche (3 cm) SV	2.00	7,87	10	2 239 386.25
Brique mono-mur + la laine de verre (3cm) SV	2.24	8,53	11	2 298 658.16

Le tableau IV.7 présente le temps nécessaire pour rentabiliser le coût du bloc R+9, qui contient 40 appartements, en utilisant différentes techniques de rénovation telles que le remplacement du simple vitrage par du double vitrage, le remplacement de la brique creuse

par de la brique mono-mur, et l'utilisation de trois types d'isolation thermique intérieure pour le mur de béton (polystyrène, laine de roche, laine de verre). Le chauffage fonctionne au gaz naturel, et la climatisation est électrique.

Les résultats du tableau IV.7 montrent que le temps d'amortissement pour la climatisation est plus long que celui pour le chauffage, car le prix du gaz naturel est plus bas que le prix de l'électricité. En outre, nous avons également remarqué que le temps d'amortissement pour le double vitrage est plus long que pour les autres solutions, et précisément 41 ans. Cette longue période est due au fait que la réduction de la consommation d'énergie pour le chauffage et la climatisation est très faible pour le double vitrage par rapport au coût de la rénovation.

Le temps d'amortissement pour la brique mono-mur est plus court que pour les autres solutions, et précisément de 2ans, avec une économie d'énergie de 1 607 433.72 DA par an.

Pour l'utilisation du brique mono-mur avec double vitrage à un coût initial élevé, mais le temps d'amortissement est de 18ans, avec une économie d'énergie annuelle de 2 545 444.01 DA par an, ce qui peut en faire une option intéressante pour le propriétaire à long terme.

En ce qui concerne les isolants, le temps d'amortissement de la meilleure isolation thermique est le polystyrène, estimé à 7ans avec une économie d'énergie (électricité et gaz) de 2 300 227.96 DA par an. Les murs en béton isolé avec la laine de verre ont un temps d'amortissement élevé de 11ans par rapport aux autres isolants, malgré une économie énergétique importante de 2 298 658.16 DA par an. Le temps d'amortissement élevé est dû au cout élevé de la laine de verre par rapport à son effet sur l'économie d'énergie. Pour la laine de roche le temps d'amortissement est de 10ans avec une économie d'énergie (électricité et gaz) de 2 239 286.25 DA par an.

Conclusion

En conclusion, pour une rénovation énergétique réussie, il est important de choisir les bonnes solutions d'isolation. La brique mono-mur avec polystyrène est une solution très efficace pour l'isolation intérieure des murs. Elle permet de réaliser des économies d'énergie importantes tout en étant rentable.

En générale, le polystyrène est considéré comme la meilleure solution d'isolation pour une rénovation énergétique réussie.

Conclusion générale

Ce travail concrétise une étude relative à L'impact de la brique mono-mur et vérifier la conformité thermique d'un bloc R+9 et l'appartement F3 du dernier étage à la réglementation algérienne en hiver et en été, le bâtiment avant et après la rénovation (bâtiment isolé).

Une rénovation de différents types a été suggérée dans le but de diminuer la consommation d'énergie .ainsi que l'optimisation énergétique de notre bâtiment en termes d'électricité et de gaz naturel.

En utilisant le DTR et l'application LOGRT, pour effectuer la vérification du confort thermique, qui nous a permis de déterminer les besoins en chauffage et en climatisation pour différents types de rénovations énergétiques, ainsi que de les comparer entre eux.

D'après les calculs effectués Les résultats montrent que l'utilisation de la brique mono-mur, les différents types d'isolants et le double vitrage sont des solutions qui a un impact sur le confort thermique et la réduction de la consommation énergétique.

Suite à une étude technico-économique approfondie, nous avons déterminé que la rénovation la plus efficace pour réduire la consommation d'énergie est celle de la brique mono-mur et du polystyrène. Cette solution offre un niveau d'isolation supérieur aux autres options telles que la laine de roche, la laine de verre et le double vitrage, avec un temps d'amortissement de 7 ans en termes d'économie énergétique. De plus, cette solution présente le meilleur rapport qualité-prix parmi les différentes options de rénovation énergétique envisagées.

L'objectif de ce travail ayant été de tester la brique mono-mur comme solutions avec variation des isolants. Celles qui semblent constituer un bon compromis sont les suivantes : l'intégration de la brique mono-mur, l'isolation intérieure des murs en béton du bâtiment, l'utilisation de double vitrage au lieu de simple vitrage. La mise en œuvre de ces différentes mesures a permis de réduire les consommations d'énergie pour le chauffage et la climatisation avec proportion importante.

Références bibliographiques

- [1] guide-efficacité-énergétique. (Vers un bâtiment durable : l'équipement et solution d'efficacité énergétique) Septembre 2011.
- [2] www.Youmatter.world/fr Dernière modification le 30 janvier 2023 .
- [3] HADJADJ AbdEssamia et KHENFER Oussama. « Etat de l'art des bâtiments à énergie positive avec des réflexions sur le contexte Algérien » Université KASDI Merbah d'Ouargla, Faculté des Sciences Appliquées Département de Génie Mécanique. Mémoire Présenté pour l'obtention du Diplôme de MASTER ACADEMIQUE, soutenue en 2019
- [4] Guide relatif à l'efficacité énergétique dans les bâtiments : application à un établissement scolaire. « Ministère de l'économie et des finances », Groupe d'étude des marches. mars 2013.
- [5] guide de bonnes pratiques «mener à bien un projet d'efficacité énergétique bâtiments et collectivités » 2008.
- [6] observatoire-electricite.fr. «l_efficacite_energetique.pdf ».
- [7] YOUNES EL JAOUHARI. Mémoire présentée dans le cadre du programme de maîtrise en ingénierie en vue de l'obtention du grade de maître en sciences appliquées. « AUDIT ÉNERGÉTIQUE D'UN BÂTIMENT INSTITUTIONNEL : STRATÉGIES D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ». Université du QUEBEC A RIMOUSKI. décembre 2020.
- [8] « Javier Cárcel Carrasco, Elisa, Peñalvo López, José Ramón Albiol Ibáñez, José Manuel Gandía Romero » .L1_fr_Efficacité-énergétique-et-construction-durable-. Project CONDAP.
- [9] « Les bonnes pratiques de l'efficacité énergétique dans le bâtiment » .Agence Marocaine pour l'efficacité énergétique.
- [10] «Bâtiment BasseConsommation»,guideAITF.2013(PDF)Paris.
- [11] BENBOUABDELLAH Daouia ZERARI Fadia. « Evaluationdesperformancesénergétiquesd'unbâtiment intelligent ».Université SaadDAHLABBlida1.Départementdesénergiesrenouvelables. Mémoirede mastersoutenuen2021.
- [12] www.crai.archi.fr /eco.mod
- [13] www.lemoniteur.fr. Article. Une technique durable réinventée le mur trombe.
- [14] MR. BOURSAS ABDERRAHMANE « étude de l'efficacité énergétique d'un bâtiment d'habitation à l'aide d'un logiciel de simulation ». Diplôme de magistère. Université Constantine1. Faculté des sciences de l'ingénieur. Département de génie climatique. 2012-2013.
- [15] Par Xavier LASSUDRIE DUCHENE et Arnaud NOUAILHAS de ARP. « Xpair.com » Astrance .19 Janvier 2023.
- [16] « Natural ventilation in non-domestic building». Guide CIBSE, 2005

- [17] ANSAR AHMED MOUNIR, DJEBAILI IMED ABD ERRAHMANE. « L'efficacité énergétique dans le bâtiment architectural. Cas d'étude : Évaluation des performances énergétiques du rectorat de l'université d'Oum El Bouaghi» Université larbi ben mhidi - OUM EL BOUAGHI, Faculté des sciences de la terre et d'architecture, département d'architecture, Mémoire de master soutenue en 2017.
- [18] Mr CELINE VARENIO « L'efficacité énergétique dans les bâtiments existants : déficit d'investissement, incitations et accompagnement ». Thèse Pour Obtenir Le Grade De Docteur De L'université De Grenoble Spécialité Sciences Economiques. Le 20 Décembre 2012.
- [19] MR SOFIANE RAHMOUNI. « Evaluation et amélioration énergétique de bâtiment dans le cadre du programme national d'efficacité énergétique ». Université Mostepha Ben Boulaid-Batn 2. Institut d'Hygiène et Sécurité. Laboratoire de recherche en prévention industrielle (LRPI). 2019- 2020
- [20] BRAGDI HARKAT, « Contribution des techniques passives et actives sur les performances énergétiques dans le bâtiment collectif ». Université Salah Boubnider-Constantine 3. Faculté d'architecture et d'urbanisme. Département D'architecture. 2020-2021
- [21] AMIOUR Yahia, BOUBEDNIKH Oussama. « L'effet de la nature des matériaux isolants sur L'efficacité énergétique des bâtiments ». Université Saâd Dahlab, Blida-1, Faculté de Technologie, Département des Énergies Renouvelables 2020/2021
- [22] BENBOUABDELLAHDaouia. ZERARIFadia. . « Evaluation des performances énergétiques d'un bâtiment intelligent ». ». Université Saad Dahleb. Blida-1. Faculté de Technologie. Département des Energies Renouvelables. :2020/2021
- [23] REZZIK Sahbi, KIRAD Mohammed Abdelbasset, «Contribution à l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments en panneaux sandwichs préfabriqués », Université Saad DAHLAB Blida1, Faculté de technologie, Département des énergies renouvelables, 2020/2021.
- [24] RIM SLIMANE ZITOUNE ,DOUAA MAZOUZA. « La conformité des bâtiments à la réglementation algérienne en hiver et en été ». Université Saad Dahleb. Blida-1. Faculté de Technologie. Département des Energies Renouvelables. Octobre 2022.
- [25] <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/8-materiaux-de-construction-innovants-meconnus-29376/>matériaux de construction innovants et méconnus : (avril 2023)
- [26]guide des matériaux isolants :
http://www.cg43.fr/sites/cg43/IMG/pdf/guide_des_materiaux_isolants.pdf .(avril 2023)
- [27]AILTO JUNIOR, Le guide des matériaux pour l'isolation thermique, Academia :http://doctechno.free.fr/IMG/pdf/EDF_Guide_isolation_thermique.pdf.(avril 2023)
- [28] Matériaux innovants : https://www.cotemaison.fr/on-aime/9-materiaux-innovants-que-vous-ne-connaissez-peut-etre-pas_35335.html (avril 2023) .
- [29] <https://www.laterlite.fr/qui-sommes-nous/granulats-legers-argile-expandee/proprietesargile/>(Avril 2023)

- [30] Le polystyrène extrudé, Les dossiers de Binette & Jardin ,La maison ,Travaux et construction ,Isolation : <https://jardinage.lemonde.fr/dossier-2430-polystyrene-extrude-isolant-thermique.html>.
- [31] Les isolants thermiques d'origine végétale ou animale, Mai 2014 : http://www.cifful.ulg.ac.be/images/stories/outil_materiaux_durables_16.05.14.pdf
- [32] Nouveaux matériaux qui transforment la construction 22.07.2022 : <https://www.planradar.com/fr/nouveau-materiaux-construction/#4>
- [33] Matériaux De Construction Novateurs : <https://proest.com/fr-ca/la-construction/des-conseils/innovative-materials/> (avril 2023) .
- [34] By Lucas tournoux, Janvier 2023 : <https://www.forcemat.fr/quel-isolant-thermique-choisir-ouate-de-cellulose-laine-de-bois-laine-de-chanvre/#Conclusion>(mai 2023).
- [35] <https://www.forestiere-taure.fr/actualites/le-bois-transparent#:~:text=Le%20bois%20transparent%20est%20un,combl%C3%A9es%20avec%20de%20l%C3%A9poxy> (avril 2023)
- [36] De la fibre de lin dans le béton,22 février 2018 : <https://www.lelin-cotenature.fr/FR/de-la-fibre-de-lin-dans-le-beton-169.html>
- [37] Brique Monomur : <https://www.travaux-maconnerie.fr/brique-monomur-avantages-inconvenients-pose-prix>(juin 2023).
- [37] Brique mono-mur : qu'est-ce que c'est :<https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/maison-brique-monomur-5418/>(Mai 2023)
- [38] Guide des matériaux isolants - renofute.fr https://www.infoenergie38.org/wpcontent/uploads/guide_materiaux_isolants.pdf. en: <https://renofute.fr/wp-content/uploads/2022/03/2020-guide-des-materiaux-isolants-climaxion-2.pdf> .
- [39] La brique mono-mur :<https://www.renovationettravaux.fr/la-brique-monomur#:~:text=La%20brique%20monomur%20est%20con%C3%A7ue,brique%20traditionnelle%20en%20terre%20cuite>. (juillet 2023)
- [40]Guide de mise en œuvre de la brique terre cuite mono mur :<https://www.biobric.com/documents/682> (juillet 2023)

