



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA



Université Kasdi Merbah - Ouargla
Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Mécanique

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Spécialité : Génie Mécanique

Option : Génie Energétique

Présenté par :

MEKKAOUI ABDEL DJABAR

CHEBBOUB ABDEL MOUNEM

Thème :

**Épaisseur d'isolation optimale de bâtiment
à basse consommation d'énergie
dans les zones arides**

Soutenu publiquement le : 17/06/2021

Devant le jury composé de :

Dr. B. RECIOUI	MCB	Université Kasdi Merbah - Ouargla	Président
Dr. M.M. DRID	MCB	Université Kasdi Merbah - Ouargla	Examineur
Dr. H. BELAHYA	MCB	Université Kasdi Merbah - Ouargla	Encadreur

Année universitaire 2020 / 2021

Remerciements

*Avant tout, nous remercions ALLAH de mon
avoir donné le
Courage, la patience et la chance d'étudier et
suivre,
Au terme de ce modeste travail, nous tenons à
exprimer notre
Profonde gratitude et nos vifs remerciements à
Notre promoteur Dr. H. BELAHYA, pour ses
orientations, ses
Précieus conseils et sa contribution dans
l'élaboration de ce travail.
Nous tenons également à remercier :
Tous nos enseignants du Département de Génie
Mécanique,
Nous tenons, enfin, à remercier les Honorables
Membres du
Jury, d'avoir accepté de juger ce travail
Dr. B. RECIOUI et Dr. M.M. DRID comme
présidente et examinateur*

MEKKAOUI ABDELJABAR
CHEBBOUB ABDELMOUNEM

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail :
Aux Etre qui me sont les plus chères au monde :
Ma mère
Mon père
Aux mes frères et mes chères sœurs
Mes tantes et oncles
Mes grandes familles " Mekkaoui"
Tous ceux qui ont contribué à la réussite de ce
travail.*

MEKKAOUI ABDEL DJABAR

*Je dédie ce modeste travail :
Aux Etre qui me sont les plus chères au monde :
Mes très chers parents
Aux mes frères et mes chères sœurs
Mes tantes et oncles
Mes grandes familles " Chebboub "
Tous ceux qui ont contribué à la réussite de ce
travail*

CHEBBOUB ABDEL MOUNEM

Résumé :

Cette dernière décennie, nous assistons en Algérie à une réalisation multiple et intense de projets de bâtiments qui consomment trop d'énergie (énergivores), et ne sont malheureusement soumis à aucune exigence réglementaire sur le plan du confort thermique et de l'efficacité énergétique. Les paramètres de la conception sont d'ordre fonctionnel et architectural et la dimension énergétique du projet n'est pas toujours considérée comme significative, ce qui conduit à des bâtiments non confortables et énergivores.

La sur consommation d'énergie constitue une réalité dans le bâtiment du fait de son impact sur l'environnement et la facturation pour les habitants ; il est donc considéré comme un élément important de diminuer la consommation d'énergie et agir pour améliorer l'efficacité énergétique dans les bâtiments. Cette efficacité ne peut être assurée que par l'optimisation de l'isolation thermique, l'économie d'énergie et du critère de l'inertie thermique et bien sur la prise en considération des paramètres de l'architecture bioclimatique lors de sa conception en utilisant l'énergie renouvelable.

Pour une évaluation du point de vue de bâtiments moins énergivores et le confort thermique, nous avons essayé d'étudier la complexité de l'efficacité énergétique pour une moindre consommation d'énergie dans les bâtiments à travers les multiples interactions et trouver la meilleure conception pour réduire la consommation de conditionnement d'air à travers une étude technicoéconomique permet de déterminer l'épaisseur optimale selon le climat a choisi.

ملخص:

على مدى العقد الماضي شهدنا في الجزائر مشاريع متعددة ومكثفة من المباني التي تستهلك الكثير من الطاقة (الطاقة الفائقة)، والتي لا تخضع للأسف الى اي متطلبات تنظيمية من حيث الراحة الحرارية وكفاءة الطاقة. ان معايير الهندسة والتصميم في الجزائر لا تخضع إلا للمتطلبات العملية ولا يعتبر النظام المعماري وبعد الطاقة للمشروع دائما مهم مما يؤدي الى مباني غير مريحة ومستهلكة للطاقة .

استهلاك الطاقة هو حقيقة واقعة في المبنى بسبب تأثيرها على البيئة والفواتير للسكان، يعتبر جزءا هاما للحد من استهلاك الطاقة واتخاذ الإجراءات اللازمة لتحسين كفاءة استخدام الطاقة في المباني. هذه الكفاءة لا يمكن تحقيقها إلا عن طريق تحسين العزل الحراري وتوفير الطاقة ومعايير القصور الحراري وطبعا مع الأخذ بعين الاعتبار معالم العمارة المناخية البيولوجية في تصميمها استخدام الطاقة المتجددة.

وللتقييم من منظور المباني الفعالة في استخدام الطاقة والراحة الحرارية، حاولنا دراسة مدى تعقيد كفاءة استخدام الطاقة من أجل خفض استهلاك الطاقة في المباني من خلال تفاعلات متعددة وإيجاد أفضل تصميم للحد من استهلاك تكييف الهواء من خلال دراسة تكنولوجية اقتصادية تسمح بتحديد السمك الامثل وفقا للمناخ المختار.

Sommaire

<i>Remerciements</i>	II
<i>Dédicace</i>	III
Résumé :	IV
Sommaire	V
<i>Liste des tableaux</i>	VIII
<i>Liste des figures</i>	IX
<i>Liste des symboles</i>	XI
Introduction générale	1
Chapitre I : La consommation énergétique au secteur des bâtiments	3
I.0. Introduction	3
I.1. Situation énergétique dans le monde	3
I.1.1. Bilan mondial	3
I.1.2. Investissement mondiale et financement pour les bâtiments durables	5
I.1.3. Politique durable en construction des bâtiments	6
I.1.4. Codes énergétiques du bâtiment	6
I.2. La consommation énergétique en Algérie	7
I.2.1. La consommation énergétique par type d'énergie	9
I.2.2. La consommation énergétique par secteur	10
I.3. La consommation énergétique à Ouargla	11
I.3.1. La consommation d'électricité	11
I.3.2. La consommation du gaz naturel	12
I.4. Programme national d'efficacité énergétique à l'horizon 2030	13
I.4.1. Secteurs d'intervention de programme	14
I.4.2. Les axes d'interventions de programme	15
I.4.2.1. L'isolation thermique des bâtiments	15
I.4.2.2 Le développement du chauffe-eau solaire	15
I.4.2.3 La généralisation de l'utilisation des lampes à basse consommation d'énergie	15
I.4.2.4 L'introduction de la performance énergétique dans l'éclairage public	15
I.4.2.5 La promotion de l'efficacité énergétique dans le secteur industriel	15
I.4.2.6 La promotion du gaz de pétrole liquéfié carburant (GPL/c) et du gaz naturel carburant (GNc)	16
I.5. Les programmes nationaux pour la maîtrise d'énergie	16
I.6. Les techniques de construction en Algérie	17
I.6.1. Les matériaux de construction	17
I.6.2. Les problèmes énergétiques liés à la production des bâtiments	18
I.7. Conclusion	19

Chapitre II : L'isolation thermique des bâtiments et la modélisation physique.....	20
II.0. Introduction	20
II.1. Transfert de chaleur.....	20
II.1.1. Les modes des Transfert de chaleur	20
II.1.1.1. Transfert par conduction	20
II.1.1.2. Transfert par convection	21
II.1.1.3. Transfert par rayonnement.....	22
II.1.2. Notions thermiques.....	23
II.1.2.1. Flux thermiques.....	23
II.1.2.2. Conductivité thermique.....	23
II.1.2.3. Résistance thermique.....	23
II.1.2.4. Le coefficient de transmission calorifique.....	23
II.1.2.5. Capacité thermique massique	23
II.1.2.6. Capacité thermique.....	24
II.2. L'isolation thermique.....	24
II.2.1. Définition	24
II.2.2. Avantages d'isolation thermique	24
II.2.2.1. Avantage économique	24
II.2.2.2. Avantage environnemental	24
II.2.2.3. Réduire le niveau de bruit	24
II.2.2.4. Intégrité structurale d'un bâtiment	25
II.2.2.5. Empêchement de condensation de vapeur	25
II.2.2.6. Protection contre le feu	25
II.3. Classification des matériaux isolants.....	25
II.3.1. Les matériaux biosources	25
II.3.2. Les matériaux minéraux.....	27
II.3.3. Les matériaux synthétiques	28
II.4. Principe de l'isolation thermique.....	29
II.4.1. L'isolation par l'intérieure	30
II.4.2. L'isolation par l'extérieur	30
II.5. Modélisation physique des couches d'isolations	30
II.6. Conclusion.....	34

Chapitre III. : Resultats et discussions.....	35
III. 0. Introduction	35
III. 1. Données climatiques	35
III. 2. Description du mur étudié	38
III. 3. Étude Paramétrique	39
III. 4. Application à l'évaluation des besoins de chauffage et climatisation.....	45
III.4.1. Zone bayadh	45
III.4.2. Zone ouargla.....	49
III.4.3. Zone La Ghouat	53
III.4 .4. Zone Adrar	57
III.5. Conclusion	60
Conclusion générale	61
References bibliographiques	62
Annexes	65

Liste des tableaux

Tableau I. 1. La consommation énergétique par type d'énergie.	9
Tableau I. 2. La consommation énergétique par secteur.	10
Tableau I. 3. Secteurs d'intervention de programme.	14
Tableau III. 1. Caractéristiques thermiques des matériaux.	38
Tableau III. 2. Les paramètres utilisés dans l'analyse de variation.	39

Liste des figures

Figure I. 1. Part de la consommation d'énergie finale et d'émissions mondiales des bâtiments et de la construction, 2017.	4
Figure I. 2. Consommation d'énergie finale par source d'énergie du secteur mondial	5
Figure I. 3. Investissement mondial dans l'efficacité énergétique des bâtiments, 2017	6
Figure I. 4. Code énergétique du bâtiment par juridiction, 2017-2018.	7
Figure I. 5. Consommation finale par secteur d'activité en 2005.	7
Figure I. 6. Bilan des émissions de GES par secteur, an 2005 en Teq CO ₂ .	8
Figure I. 7. la consommation énergétique finale par type d'énergie en 2010.	10
Figure I. 8. la consommation énergétique finale par secteur d'activité en 2010.	11
Figure I. 9. La consommation d'électricité de la ville Ouargla (Période : 2010-2015).	12
Figure I. 10. La Consommation du gaz de la ville Ouargla (Période : 2010-2015).	13
Figure II. 1. Transfert de chaleur par conduction.	21
Figure II. 2. Transfert de chaleur par convection.	22
Figure II. 3. Transfert de chaleur par rayonnement.	22
Figure II. 4. Fibre de bois en panneau.	26
Figure II. 5. Béton de chanvre .	27
Figure II. 6. Laine de verre.	27
Figure II. 7. Laine de roche.	27
Figure II. 8. Fibragglos.	28
Figure II. 9. Brique mono mûr en terre cuite.	28
Figure II. 10. Le polystyrène.	29
Figure II. 11. Le polyuréthane.	29
Figure II. 12. isolation intérieur et extérieur des murs.	30
Figure III. 1. Fréquences cumulées annuelles de la température de l'air extérieur.	36
Figure III. 2. la température annule cumulée pendant une année pour les trois villes étudiées.	37
Figure III. 3. mur modèle.	38
Figure III. 4. effet de CDD sur Xopt ,c et le écon-energ.	40
Figure III. 5. effet de HDD sur Xopt h et le écon-energ.	40
Figure III. 6. effet de CDD sur Cop et le écon-energ.	41
Figure III. 7. effet de HDD sur Rend et le écon-energ.	41
Figure III. 8. effet de CDD sur K et le écon-energ.	42
Figure III. 9. effet de HDD sur K et le écon-energ.	42
Figure III. 10. effet de CDD sur Ce et le écon-energ.	43
Figure III. 11. effet de HDD sur Cf et le écon-energ.	43
Figure III. 12. effet de Xopt ,c sur CDD et le Cop.	44
Figure III. 13. effet de Xopt ,h sur HDD et le Rend.	44
Figure III. 14. effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le prix.	45
Figure III. 15. effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le Cop.	45
Figure III. 16. effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le prix.	46
Figure III. 17. effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le Rend.	47
Figure III. 18. effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le prix de polystyrène.	47
Figure III. 19. effet de l'isolation sur prix gaz et le prix électricité.	48
Figure III. 20. effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le prix.	49
Figure III. 21. effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et Cop.	49
Figure III. 22. effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le prix.	50

Figure III. 23. effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le Rend.	51
Figure III. 24. effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le prix de polystyrène.	51
Figure III. 25. effet de l'isolation sur le prix gaz et le prix électricité.	52
Figure III. 26. effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le prix.	53
Figure III. 27. effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le Cop.	53
Figure III. 28. effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le prix.	54
Figure III. 29. effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le Rend.	55
Figure III. 30. effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le prix de polystyrène.	55
Figure III. 31. effet de l'isolation sur le prix gaz et le prix électricité.	56
Figure III. 32. effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le prix.	57
Figure III. 33. effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le Cop.	57
Figure III. 34. effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le prix.	58
Figure III. 35. effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le Rend.	58
Figure III. 36. effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le prix de polystyrène.	59
Figure III. 37. effet de l'isolation sur le prix gaz et le prix d'électricité.	60

Liste des symboles

C : Capacité thermique (J.K)
C_c : Coût annuel de refroidissement (DAZ / m ²)
CDD : Degré-jour de refroidissement
C_e : Coût de l'électricité (DAZ / kWh)
C_f : Coût du gaz naturel (DAZ / m ³)
C_H : Coût de chauffage annuel (DZA / m ²)
C_{is} : Coût d'installation de l'isolation (DAZ / m ²)
COP : Coefficient de performance
C_P : Chaleur spécifique (J.kg ⁻¹ .C ⁻¹)
d : Taux d'intérêt
H₀ : Coefficient combiné de transfert de chaleur par convection et rayonnement (W / m ² ° C)
HDD : Degré-jour de chauffage
H_u : Pouvoir calorifique inférieur du gaz naturel (J / m ³)
i : Taux d'inflation
K : Conductivité thermique du matériau isolant (W / m ° C)
LT : Durée de vie (année)
PWF : Facteur de valeur actuel
q : Flux thermique (W.cal ⁻¹ . s ⁻¹)
q_c : Charge de transmission de refroidissement annuel par unité de surface de mur (J / m ²)
q_h : Charge de transmission de chauffage annuel par unité de surface du mur (J / m ²)
R : Résistance thermique (m ² . k. W ⁻¹)
R_{wt} : Résistances thermiques murales totales à l'exclusion de la couche isolante (m ² ° C / W)
T₀ : Température moyenne quotidienne de l'air extérieur (° C)
T_b : Température de base (° C)
T_{b,c} : Température de base pour le refroidissement (° C)

T_{b,h} : Température de base pour le chauffage (° C)
U : Coefficient de transmission calorifique (W.m ⁻² .K ⁻¹)
U_C : Coefficient de transfert thermique globale du mur (W / m ² ° C)
X : Epaisseur de l'isolation thermique (m)
X_{opt} : Epaisseur optimale de l'isolation thermique (m)
λ : Conductivité thermique (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Le problème de la surconsommation d'énergie pèse sur l'Algérie, notamment dans le sud, qui se caractérise par un climat sec et chaud en été, comme la ville d'Adrar, et froid en hiver, comme dans cette étude de la ville de Bayadh, Ouargla, Adrar et Laghouat sont considérés comme des références. En regardant les statistiques sur la valeur de la consommation d'énergie, nous remarquons une différence significative dans le pourcentage de consommation d'énergie, car le rapport CDD et HDD a un impact important sur la consommation d'énergie en hiver et en été. Par rapport aux autres saisons, et cela augmente le besoin de climatisation active. En plus des conditions climatiques, de nombreux facteurs affectent sur le bâtiment, tels que les matériaux de construction, la conception, l'ingénierie, etc.

La réduction de la consommation énergétique des bâtiments est un enjeu majeur au tournant du 21^{em} siècle. Réaliser des bâtiments à faible consommation d'énergie est un processus complexe qui nécessite le développement d'outils efficaces pour aider à leur conception, leur construction et leur maintenance.

Ainsi, l'efficacité énergétique des bâtiments est un indicateur précieux pour répondre en partie aux enjeux énergétiques actuels (économie des ressources, réduction des émissions de gaz à effet de serre et de carbone, recours aux énergies renouvelables, etc.), et l'isolation thermique est l'un des principaux axes d'action pour atteindre l'objectif de réduction de la consommation d'énergie dans le secteur bâtiment. Cette isolation est au cœur des packages de solutions labellisés pour les futures économies d'énergie. En travaillant sur les déperditions thermiques, l'isolation permet de moins chauffer en hiver et d'éviter d'avoir à utiliser la climatisation en été.

L'objectif de cette étude est d'identifier, d'analyser et de tenter d'améliorer les facteurs d'impact, d'un point de vue énergétique, sur les murs des bâtiments existants en utilisant les principales formulations physiques utilisées dans les bâtiments à faible consommation d'énergie. Ces formulations portent notamment sur l'aspect économique en basant sur l'épaisseur optimale du matériau isolant.

Le travail présenté dans ce document comporte trois chapitres. Le premier représente la consommation énergétique au niveau mondial, national et local, on va parler sur les performances bâtiments et une analyse climatique d'Algérie ainsi que les différents types de confort.

Le deuxième est consacré à l'isolation thermique, en donnant un aperçu sur les divers modes de transfert de chaleur, et les différents matériaux et les techniques d'isolation thermique.

On présente aussi dans ce chapitre les études qui sont réalisés sur l'isolation thermique des bâtiments pour améliorer la performance thermique et réduire les besoins énergétiques Dans le troisième chapitre Nous rassemblons les principaux résultats numériques de cette étude. Les commentaires et les discussions.

En fin nous terminons ce travail par une conclusion générale qui résume les principaux résultats obtenus et quelques recommandations pour les études futures qui sont émises.

**La consommation énergétique
au secteur des bâtiments**

Chapitre I : La consommation énergétique au secteur des bâtiments

I.0. Introduction

L'énergie est un produit vital, elle est utilisée dans l'activité humaine sous différentes formes notamment mécanique, thermique, chimique, électrique et nucléaire, permettant à chacune des utilisations différentes. Considérée aussi comme un bien social, l'énergie nous fait vivre et assure notre bien-être. Le bâtiment avec ses différents secteurs (habitation, tertiaire, résidentiel, ...) utilise cette énergie pour répondre aux multiples besoins et confort (éclairage, cuisson, chauffage, climatisation, etc.).

L'énergie utilisée pendant la construction, la rénovation et l'utilisation d'un bâtiment peut être calculée de façon globale et considérablement réduite. Une évaluation globale du bâtiment nécessite de prendre en compte la consommation d'énergie lors de sa fabrication, son fonctionnement et sa démolition.

La flambée de la consommation d'énergie dans le monde durant ces dernières décennies est un fait incontestable. Actuellement malgré un monde économique au ralenti, la consommation énergétique est restée très vorace.

Cette croissance a engendré de nouveaux défis, sur le plan environnemental et économique sachant que le changement climatique liée à l'augmentation des gaz à effets de serre est généré en grande partie par le CO₂ dû à la production et la consommation d'énergie.

I.1. Situation énergétique dans le monde

I.1.1. Bilan mondial

Les dernières tendances en matière d'émissions de carbone liées à l'énergie et à l'énergie L'industrie mondiale de la construction est différente et la consommation Croissance limitée des émissions énergétiques et des bâtiments. Faire des réserves L'exploitation des bâtiments représente 36 % de la consommation énergétique finale mondiale 40 % des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) liées à l'énergie en 2017 (Fig. I.1). Par conséquent, même si l'énergie liée aux bâtiments n'est pas incluse, les secteurs du bâtiment et de la construction représentent la plus grande part de la consommation d'énergie et des émissions. Construction utilisée pour transporter les matériaux de construction vers les chantiers de construction. [1]

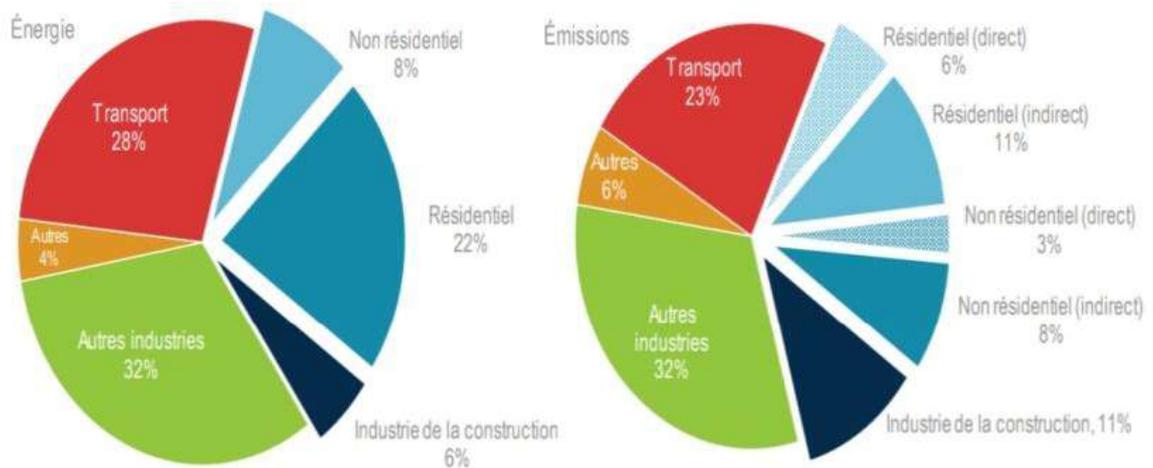


Figure I. 1 Part de la consommation d'énergie finale et d'émissions mondiales des bâtiments et de la construction, 2017 [2]

La demande énergétique finale dans les bâtiments a augmenté de 5 % depuis 2010 ; l'impact de la croissance de la surface de plancher et de la population dépassant l'impact des améliorations en matière d'efficacité énergétique. La croissance de la consommation électrique dans les bâtiments se conjugue avec celle des sources d'énergie renouvelables, dont la consommation a augmenté de 14 % entre 2010 et 2017. La consommation de gaz naturel a augmenté de près de 5 % au cours de cette période (Fig. I.2), une partie de celle-ci ayant remplacé l'utilisation moins efficace de charbon, qui a chuté de près de 8 % au niveau mondial depuis 2010. [3]

La consommation d'autres types de combustibles, dont le pétrole et la biomasse (usages traditionnels), est restée stable au cours de la même période. L'évolution de la consommation globale de combustible des bâtiments est en partie due à l'évolution de la consommation finale, à la croissance des climatiseurs domestiques et des appareils électroménagers, qui a conduit à une augmentation de la demande en électricité des bâtiments. De 2010 à 2017, la consommation mondiale d'énergie pour le refroidissement des locaux a augmenté de plus de 20 %, tandis que la demande d'électricité pour les appareils ménagers a augmenté de 18 % et que le chauffage des locaux a diminué d'environ 4 %. La réduction de la consommation d'énergie pour le chauffage des locaux, compte tenu de la forte utilisation de combustibles fossiles pour la production de chaleur par rapport à d'autres utilisations finales, contribue également à la part la plus importante de la consommation d'électricité dans les bâtiments.

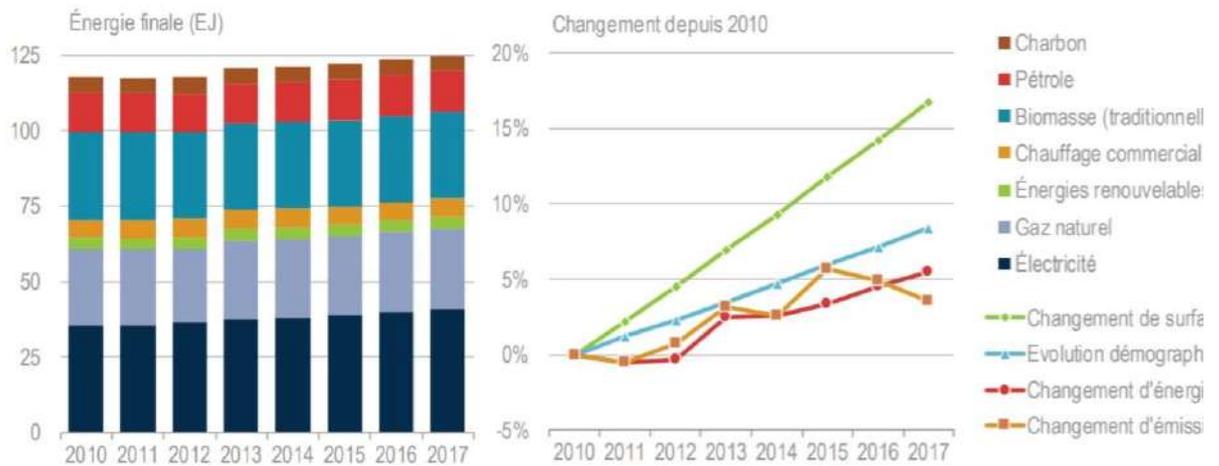


Figure I. 2 Consommation d'énergie finale par source d'énergie du secteur mondial

I.1.2. Investissement mondiale et financement pour les bâtiments durables

L'investissement supplémentaire dans l'efficacité énergétique dans les bâtiments, qui a augmenté de 4,7 % (l'augmentation de 3 % a été adaptée compte tenu de l'inflation), a atteint 140 milliards de dollars US en 2017. [1]

Constitue une mesure approfondie de l'investissement (Fig. I.3). L'investissement supplémentaire dans les bâtiments neufs ou rénovés correspond à la variation du coût des services (conception, livraison et installation, par exemple) et des produits (éclairage, équipements et matériaux, par exemple) qui permet d'obtenir une efficacité énergétique supérieure à l'investissement requis pour la performance minimale autorisée légalement.

Pour les types de bâtiment et les produits non soumis à des exigences en matière d'efficacité énergétique, ce coût correspond aux dépenses supplémentaires consacrées aux services et produits éco énergétiques au-delà de ce qui aurait autrement été dépensé (ce qui, dans certains cas, est nul). Pour l'investissement supplémentaire dans les bâtiments réalisé grâce à l'amélioration des politiques d'efficacité énergétique, ce coût correspond aux dépenses supplémentaires requises pour satisfaire aux nouvelles exigences de performance énergétique Au-delà du niveau antérieur auquel le marché s'était déjà adapté.

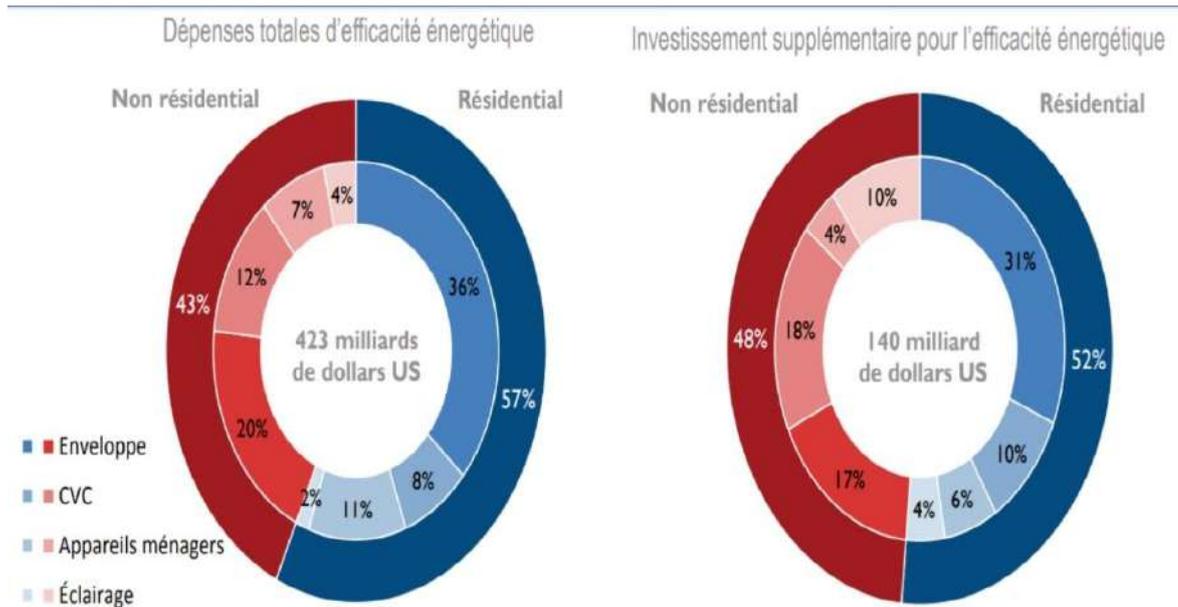


Figure I. 3 Investissement mondial dans l'efficacité énergétique des bâtiments, 2017. [5]

I.1.3. Politique durable en construction des bâtiments

La plupart des pays ont classé l'industrie de la construction comme Les domaines de réduction des émissions sont déterminés à leur niveau de contribution pays (CDN). Beaucoup incluent l'efficacité énergétique, la conversion de carburant, Planification et supervision des stratégies de réduction des émissions. Ces pays poursuivre la mise en œuvre et la mise à jour de la réglementation énergétique des bâtiments Et les politiques de certification, même si elles ne sont pas explicitement mentionnées dans le CDN. Ils assurent la mise en œuvre pour améliorer Durabilité du bâtiment et de la construction.

I.1.4. Codes énergétiques du bâtiment

Les codes ou normes énergétiques du bâtiment sont des exigences définies par les agences suivantes Juridiction (nationale ou internationale) visant à réduire la consommation d'énergie Finalement utilisé dans les bâtiments. Le nombre de codes du bâtiment mis en œuvre a augmenté au cours des dernières années Au cours des 10 dernières années. Actuellement, 69 pays ont promulgué des réglementations volontaires ou obligatoires sur l'énergie des bâtiments, et 8 autres pays sont en train de promulguer ces réglementations. (Fig. I.4).

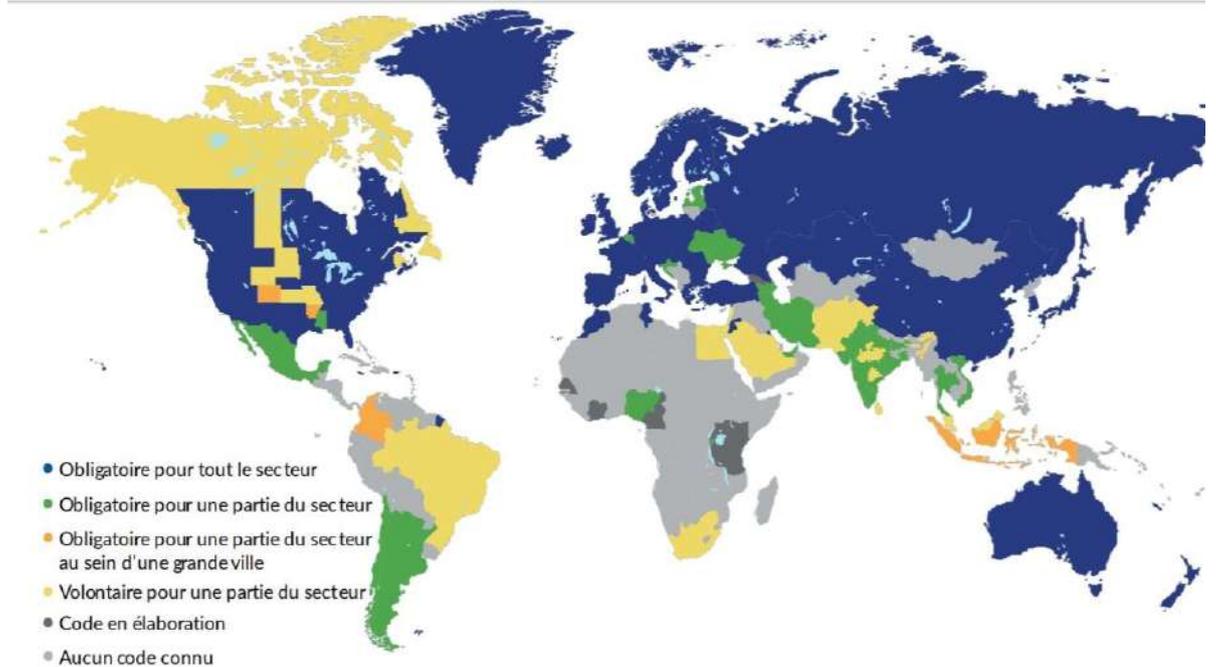


Figure I. 4 Code énergétique du bâtiment par juridiction, 2017-2018. [6]

I.2. La consommation énergétique en Algérie

La forte demande de consommation énergétique en Algérie est due principalement à l'augmentation du niveau de vie de la population et du confort qui en découle, ainsi qu'à la croissance des activités industrielles.

Le bâtiment est un secteur énergivore par excellence. Sa consommation représente plus de 40% (Fig. I.5) de la consommation finale d'énergie. [7]

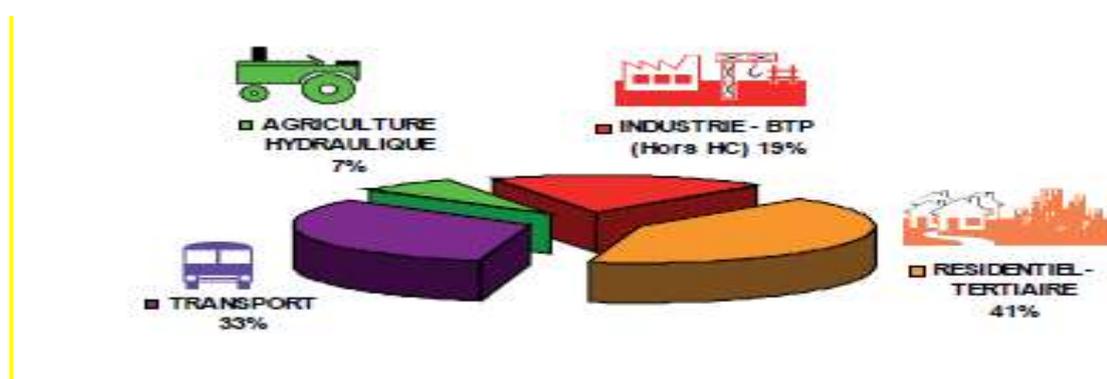


Figure I. 5 Consommation finale par secteur d'activité en 2005. [7]

Cette grande consommation énergétique a généré des émissions des gaz à effet de serre (GES) qu'ont atteint 40 milliers de Teq CO₂ en 2005. Le secteur d'industrie énergétique est le plus gros émetteur des gaz à effet de serre (GES) avec 47% des émissions globales, suivi du secteur du transport de 24% et en suite le secteur du bâtiment avec 16% (Fig I.6).

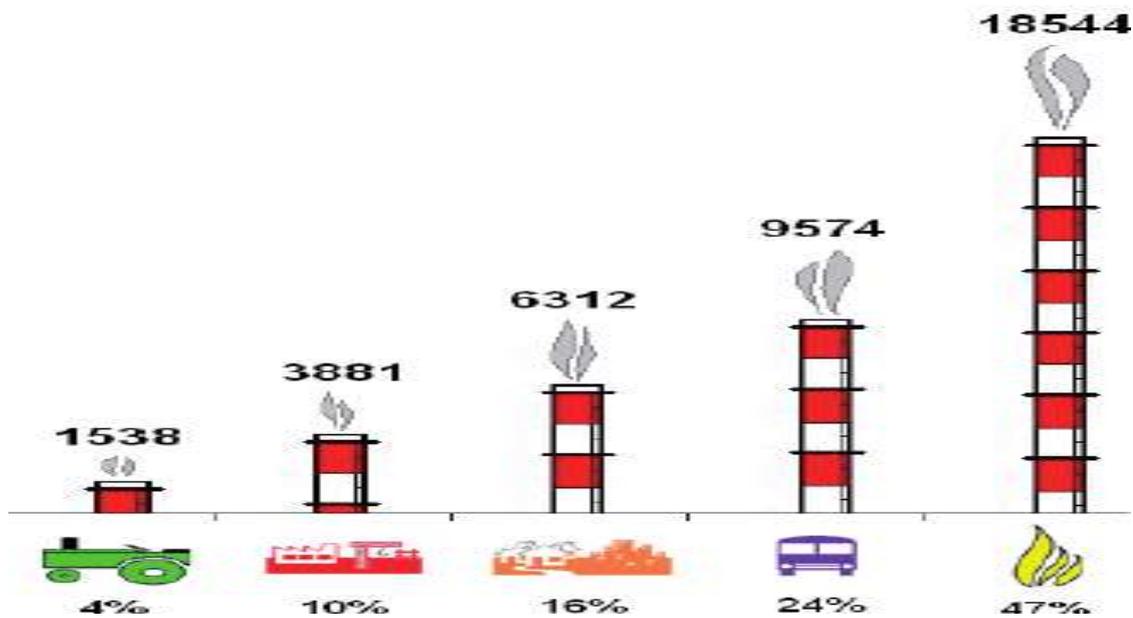


Figure I. 6 Bilan des émissions de GES par secteur, an 2005 en Teq CO₂. [7]

I.2.1. La consommation énergétique par type d'énergie

La consommation finale par type d'énergie est répartie comme suit [7] (Fig. I.7)

Tableau I. 1 La consommation énergétique par type d'énergie

Type d'énergie	La consommation
Produit pétroliers	La consommation finale de ce produit a augmenté de 7.9 million de TEP en 2005 à 12.3 millions de TEP en 2010. Ce produit est utilisé dans des usages multiples et différents et presque dans tous les secteurs d'activités (la production de chaleur pour l'industrie, le chauffage pour les ménages, le tertiaire et le transport...).
Gaz naturel	La consommation finale du gaz naturel a connu un taux de croissance annuel moyen (TCAM) de 6.14% entre 2000 et 2005, ce TCAM est élevé jusqu'à 12.42% entre 2005 et 2010 ce qui est exprimé par l'augmentation de 4.9 million de TEP en 2005 à 8 million de TEP en 2010.
Électricité	La consommation finale d'électricité a augmenté de 2.1 million de TEP en 2005 à 8.6 millions de TEP en 2010. La consommation de l'électricité en Algérie a été en forte progression, notamment dans le secteur résidentiel, à cause de la croissance démographique élevée, l'amélioration du niveau de vie, et le phénomène de l'urbanisation qui est de plus en plus important.



Figure I. 7 la consommation énergétique finale par type d'énergie en 2010 [8]

I.2.2. La consommation énergétique par secteur

La consommation énergétique par secteur d'activité est donnée comme suite [7] (Fig I.8)

Tableau I. 2 La consommation énergétique par secteur

les secteurs	La consommation
Le secteur industriel	La consommation énergétique de ce secteur a un taux de croissance annuel moyen de 5.86% entre 2000 et 2005 pour atteindre 3.2 million de TEP qui est augmenté à 8.0 million de TEP en 2010.
Le secteur de transport	Le taux de croissance annuel moyen de la consommation finale de ce secteur entre 2000 et 2005 est de 4.49% pour atteindre 5.5 million TEP. En 2010 la consommation est élevée jusqu'à 11.2 million TEP.
Le secteur ménages et autres	La consommation énergétique est augmentée de 31.4% entre 2000 et 2005 pour atteindre 7 million TEP. Cette consommation a atteint 12.4 million TEP en 2010. Ce qui est expliqué par les efforts d'électrification et amélioration du confort des ménages en matière d'équipement et d'appareils



Figure I. 8 la consommation énergétique finale par secteur d'activité en 2010 [8]

En Algérie, la part la plus importante de la consommation a été enregistrée dans le secteur des ménages et autre qui représente 40% de la consommation finale globale. Ainsi, la consommation électrique dans le secteur résidentiel a atteint 807 KTEP, elle représente 38% de la consommation totale d'électricité. En conséquent, ce secteur a un effet de 16% dans les émissions des gaz à effet de serre globale.

Donc, le secteur des ménages et autres constitue une priorité dans l'élaboration de la stratégie et des programmes de maîtrise d'énergie.

I.3.La consommation énergétique à Ouargla

Dans les régions du sud algérien le thermomètre affiche parfois des températures à l'ombre de 45 à 47 ° C. L'impact direct est l'appel de charge très important entre 13h et 18 h ou souvent le pic est enregistré entre 14 h et 16h. La climatisation pendant cette plage horaire est la cause non seulement de l'appel de charge demandée mais aussi au déclenchement des départs d'alimentation suite au surchauffe des conducteurs provoquant ainsi des incidents de coupures de courant. [9]

I.3.1. La consommation d'électricité

D'après les données recueillies auprès de la SONELGAZ de la ville d'Ouargla, La consommation de l'électricité à Ouargla est aussi en croissance sans cesse par abonne ordinaire . Les histogrammes de la (Fig I.9) montrent l'évolution de la consommation annuelle passant de 260.000.000 GWh en 2010, arrivant presque à 450.000.000 GWh en 2015.

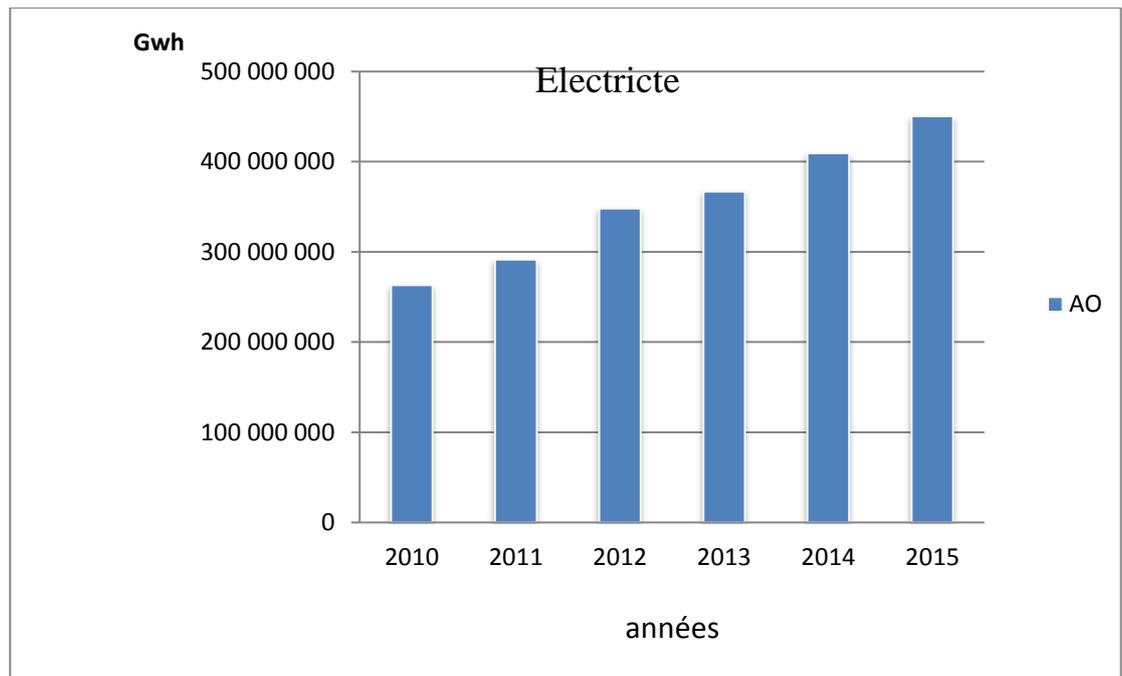


Figure I. 9 La consommation d'électricité de la ville Ouargla (Période : 2010-2015) [9]

I.3.2. La consommation du gaz naturel

D'après les données recueillies auprès de la SONELGAZ de la ville d'Ouargla, La consommation de l'électricité à Ouargla est aussi en croissance sans cesse par abonne ordinaire Les histogrammes de la (Fig. 1.10) montrent l'évolution de la consommation annuelle passant de 260.000.000 GWh en 2010, arrivant presque à 450.000.000 GWh

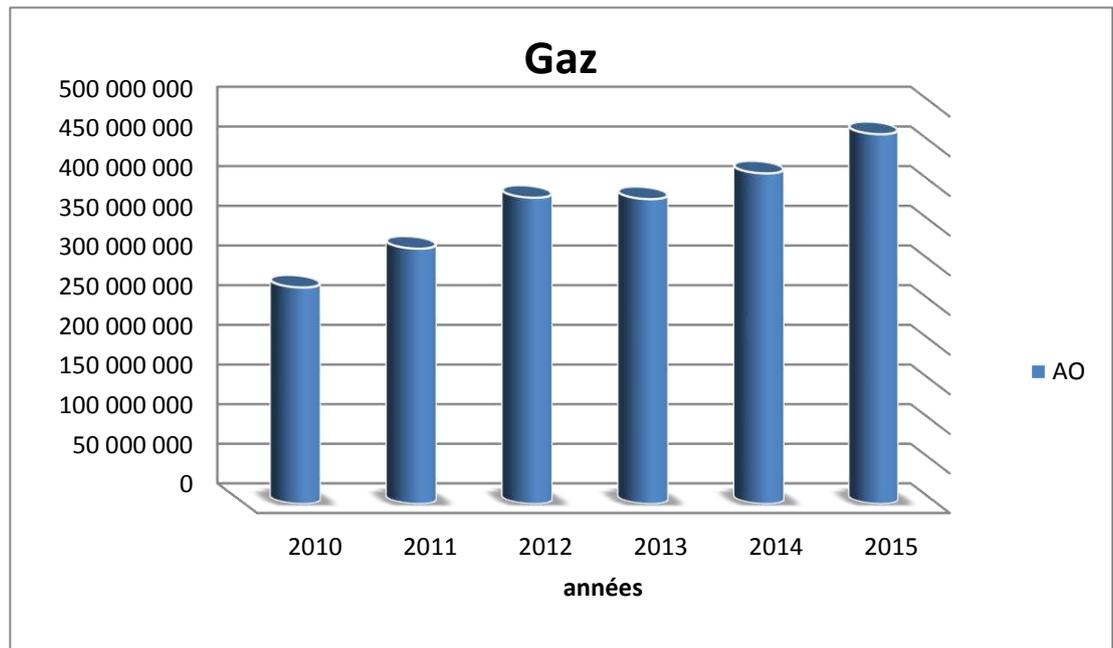


Figure I. 10 La Consommation du gaz de la ville Ouargla (Période : 2010-2015) [9]

I.4. Programme national d'efficacité énergétique à l'horizon 2030

Programme National d'Efficacité Énergétique Les projets seront réalisés en trois phases

1^{re} phase, à 2015 Réalisation de Projets pilotes afin de tester les différentes technologies ;

2^{eme} phase, à 2020 Début de déploiement du programme.

Phase finale, 2020-2030 Déploiement à grande échelle. [10]

I.4.1. Secteurs d'intervention de programme

Le programme se focalise sur les secteurs de consommation qui ont un impact significatif sur la demande d'énergie. Il s'agit principalement du bâtiment du transport et de l'industrie. [11]

Tableau I. 3 Secteurs d'intervention de programme

les secteurs	Les programmes
Pour le secteur du bâtiment	<p>Le programme vise à encourager la mise en œuvre de pratiques et de technologies innovantes, autour de l'isolation thermique des constructions existantes et nouvelles.</p> <p>Des mesures adéquates seront prévues au niveau de la phase de conception architecturale des logements. Il s'agit également de favoriser la pénétration massive des équipements et appareils performants sur le marché local, notamment les chauffe-eau solaires et les lampes économiques : l'objectif étant d'améliorer le confort intérieur des logements en utilisant moins d'énergie.</p> <p>La mise en place d'une industrie locale des isolants thermiques et des équipements et appareils performants (chauffe-eau solaires ; lampes économiques) constitue l'un des atouts pour le développement de l'efficacité énergétique dans ce secteur.</p> <p>Globalement, c'est plus de 30 millions de TEP qui seront économisées, d'ici 2030 répartie.</p>
Pour le secteur des transports.	<p>Le programme vise à promouvoir les carburants les plus disponibles et les moins polluants, en l'occurrence, le GPLc et le GNc : l'objectif étant d'enrichir la structure de l'offre des carburants et de contribuer à réduire la part du gasoil, en plus des retombées bénéfiques sur la santé et l'environnement. Ceci se traduirait par une économie, d'ici 2030, de plus de 15 millions de TEP.</p>
Pour le secteur de l'industrie.	<p>- Le programme vise à amener les industriels à plus de sobriété dans leurs consommations énergétiques. En effet, l'industrie représente un enjeu pour la maîtrise de l'énergie du fait que sa consommation énergétique est appelée à s'accroître à la faveur de la relance de ce secteur. Pour ce secteur, c'est plus de 34 millions de TEP qui seront économisées</p>

I.4.2. Les axes d'interventions de programme

I.4.2.1. L'isolation thermique des bâtiments

Le volet bâtiment du programme consiste en l'introduction et la diffusion des pratiques et des technologies innovantes autour de l'isolation thermique des constructions existantes et nouvelles. Pour ces dernières des mesures adéquates sont prévues au niveau de la phase de leur conception architecturale. L'objectif de ce programme à l'horizon 2030 est d'atteindre un gain cumulé d'énergie de 7,6 millions de tonnes équivalent pétrole (MTEP).

I.4.2.2 Le développement du chauffe-eau solaire

Concernant l'usage (individuel et collectif) de l'eau chaude sanitaire, la priorité accordée par les pouvoirs publics, par ce programme, est la substitution du chauffage de l'eau par les moyens classiques par le chauffage solaire. A ce titre, des efforts considérables seront fournis, en vue de favoriser la pénétration massive des chauffe-eau solaires avec une attention particulière pour leur fabrication locale à l'horizon 2030.

I.4.2.3 La généralisation de l'utilisation des lampes à basse consommation d'énergie

L'objectif, à terme, des actions prévues dans le cadre de ce volet est la substitution de la totalité des lampes à incandescence par des lampes énergétiquement performantes. Pour ce faire, il est prévu, dans une première étape, l'arrêt de l'importation des lampes à incandescence, et l'interdiction de leur commercialisation, dans une deuxième étape. Les gains en énergie escomptés, à l'horizon 2030 avoisineraient 19,5 millions de TEP. Par ailleurs, la production locale des lampes à basse consommation sera encouragée, notamment, par le recours au partenariat entre les producteurs locaux et étrangers.

I.4.2.4 L'introduction de la performance énergétique dans l'éclairage public

Le programme de maîtrise de l'énergie dédié aux collectivités locales consiste à substituer la totalité des lampes à mercure (énergivores et nocives) par des lampes plus efficaces (sodium haute pression). Ce qui permettra d'atteindre une économie d'énergie d'un million de TEP, à l'horizon 2030 et d'alléger la facture énergétique des collectivités.

I.4.2.5 La promotion de l'efficacité énergétique dans le secteur industriel

Le programme vise à amener les industriels à plus de sobriété et de pondération dans

leur consommation énergétique. En effet, l'industrie représente un enjeu pour la maîtrise de l'énergie du fait que sa consommation énergétique est appelée à croître à la faveur de la relance de ce secteur. A ce titre, l'objectif attendu en matière d'économie d'énergie est évalué à plus de 34 millions de TEP ; Pour plus d'efficacité énergétique, il est prévu :

- La généralisation des audits énergétiques et du contrôle des procédés industriels qui permettront d'identifier les gisements d'économie d'énergie substantiels et de préconiser des plans d'actions correctifs ;
- L'encouragement des opérations de réduction de la surconsommation des procédés industriels, travers un soutien de l'Etat financier au financement de ces opérations

I.4.2.6 La promotion du gaz de pétrole liquéfié carburant (GPL/c) et du gaz naturel carburant (GNc)

Le programme vise à promouvoir les carburants les plus disponibles et les moins polluants, en l'occurrence, le GPLc et le GNc.

L'objectif étant d'enrichir la structure de l'offre des carburants et de contribuer à atténuer les effets des carburants classiques sur la santé et l'environnement Ce programme prévoit, à terme, la généralisation de l'utilisation des carburants propres dans les transports individuels et collectifs, notamment, dans les grands centres urbains. [11]

I.5. Les programmes nationaux pour la maîtrise d'énergie

Le programme d'efficacité énergétique obéit à la volonté de l'Algérie de favoriser une utilisation plus responsable de l'énergie et d'explorer toutes les voies pour préserver les ressources et systématiser la consommation utile et optimale.

L'objectif de l'efficacité énergétique consiste à produire les mêmes biens ou services, mais en utilisant le moins d'énergie possible. Ce programme comporte des actions qui privilégient le recours aux formes d'énergie les mieux adaptées aux différents usages et nécessitant la modification des comportements et l'amélioration des équipements.

Ce programme prévoit l'introduction des mesures d'efficacité énergétique dans les trois secteurs du bâtiment, de transport et de l'industrie et aussi l'encouragement de la création d'une industrie locale de fabrication des lampes performantes, des chauffe-eau solaires, des isolants thermiques par l'encouragement de l'investissement local ou étranger.

Plan d'Action en Matière d'Efficacité Energétique

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

La mise en œuvre de ce plan à travers diverses actions et projets favorisera à terme l'émergence d'un marché durable de l'efficacité énergétique en Algérie. Les bénéfices économiques et sociaux de l'intégration de la dimension efficacité énergétique dans chaque secteur d'activité sont multiples. Une telle intégration peut non seulement améliorer le cadre de vie des citoyens, mais aussi constituer une réponse appropriée au défi de la maîtrise de l'énergie. Son impact bénéfique sur l'économie nationale, la création d'emplois et de richesse n'est pas seulement de protéger l'environnement. Le plan se concentre sur les secteurs de consommation qui ont un impact significatif sur la demande d'énergie. Il s'agit principalement de la construction, du transport et de l'industrie [12]

I.6. Les techniques de construction en Algérie

La construction en Algérie est caractérisée par une uniformisation des systèmes constructifs pour répondre à un objectif de rapidité avec une facilité d'exécution. Il s'agit d'une ossature en béton armé composé par la jonction poteau-poutre avec un remplissage en briques creuses en terre cuite. Cette structure est composée par des semelles isolées sous poteaux, des poteaux, poutres et poutrelles en béton armé coulées sur place. Le coffrage utilisé pour le coulage du béton armé est en bois. Les planchers sont composés par des poutrelles en béton armé, des hourdis en ciment préfabriqués ou en terre cuite et une couche de béton armé de 4cm. Les escaliers sont en béton armé.

Ce genre de système de construction est presque le même dans toute l'Algérie Les mêmes matériaux de construction. Pour les grandes entreprises, c'est le système de back bone le béton armé dans le mur porteur, le sol plein est en béton armé de 15 cm. c'est le système est rarement utilisé, il est destiné à la réalisation d'un grand ensemble. D'une manière générale, l'isolation en Algérie est un domaine délaissé. Construction de divers bâtiments. [13]

I.6.1. Les matériaux de construction

Les matériaux de construction sont presque standards suite à leur généralisation sur tout

le territoire national. Les différents types présents sur les chantiers sont :

La brique : Elle est en terre cuite ou en parpaing, c'est le matériau le plus utilisé pour le remplissage extérieur ou la séparation intérieure suite à la facilité de son utilisation dans la construction. La brique creuse en terre cuite est en deux types, la brique en 8 ou en 12trous. Les murs extérieurs sont en double parois en briques creuses séparées par une lame d'air. La brique pleine reste inutilisable.

Le béton armé : C'est un mélange du ciment, sable, gravier et de l'eau. Il est caractérisé par sa grande résistance mécanique. Son coulage est sur place dans le chantier par des planches en bois. Son utilisation est pour la structure, les planchers pleins, les escaliers, les linteaux...etc. [14]

L'acier : Il s'agit des barres de 12m utilisés pour armer le béton. Sa production reste insuffisante en Algérie.

Le bois : Il est utilisé pour la menuiserie, les charpentes, le coffrage...etc.

Le verre : Il est utilisé pour les vitrages des ouvertures, c'est du simple vitrage dans la plus part des cas. Le choix des systèmes et des matériaux de construction est selon la facilité de la mise en œuvre, la plasticité, la résistance mécanique...etc. Mais l'inconvénient majeur de ces systèmes est la faible résistance thermique. L'oubli de la contrainte du confort thermique va provoquer une sur consommation énergétique afin d'améliorer les ambiances intérieures. [15]

I.6.2. Les problèmes énergétiques liés à la production des bâtiments

Les obstacles sont essentiellement d'ordre politique, économique et technologique. Ils sont dus à un manque de soutien politique au niveau national et un renforcement insuffisant des compétences pour mener les actions d'efficacité énergétique. [13]. La réalité sur le terrain montre de nombreuses lacunes concernant la maîtrise de l'énergie dans les bâtiments, notamment :

-L'absence de moyens techniques et d'équipements pour la rationalisation de la consommation d'énergie, tels que l'utilisation d'ampoules basse consommation, ou le double vitrage qui, selon les experts, permettraient de réduire la consommation d'énergie de 30 % par rapport au simple vitrage ;

-Absence de mesures constructives et architecturales permettant de mieux contrôler la consommation des ressources énergétiques conventionnelles et de réduire l'impact des énergies fossiles sur l'environnement (emplacement et orientation, taille et emplacement des surfaces vitrées, volume et profondeur des locaux, composition des murs et choix des matériaux, isolation et inertie, ...) :

-Absence d'initiatives pour promouvoir l'utilisation d'énergies nouvelles et renouvelables, propres et durables ;

-Manque de motivation pour utiliser les énergies renouvelables.

-Souvent, les pays en voie de développement s'inspirent des réglementations thermiques d'autres pays pour élaborer la leur. S'opère alors un calquage de pratiques de construction de pays tiers non adaptées au contexte local : c'est le cas de l'Algérie, la réglementation thermique est inspirée de l'ancienne réglementation de la France.

-Les fournisseurs d'équipements et matériaux de construction, qui sont ignorants des solutions énergétiques et des matériaux nécessaires à leur application (matériaux d'isolation, appareils électroménagers performants, etc.). [16]

-En témoigne l'inefficacité du mécanisme de contrôle et de sanctions et par là même la non application de la réglementation thermique dans les bâtiments neufs. Pour répondre à la pénurie de logements, les critères de construction prioritaires sont la rapidité et le faible coût, et aucune réflexion sur la conception des bâtiments n'est engagée. C'est donc la hiérarchie des priorités qui ne s'est pas révélée favorable à l'application des dispositions prévues par la loi relative à la maîtrise de l'énergie.

-Les prix de l'énergie subventionnés impliquent des temps de retour sur investissement souvent très longs et rendent les projets de politiques d'efficacité énergétique non profitables. Ainsi, en Algérie, la période de remboursement des projets d'isolation thermique est longue et n'incite pas les particuliers à améliorer la performance énergétique de leur habitat.

-Les entreprises de construction qui ne disposent pas d'une main d'œuvre qualifiée dans ce domaine et capable de réaliser les solutions techniques dans les règles de l'art. A titre d'exemple, les performances thermiques attendues de l'isolation des murs peuvent être totalement détruites par les ponts thermiques que les maçons peuvent laisser au moment des travaux de construction.

Conclusion :

L'efficacité énergétique a confirmé son poids au niveau stratégique, elle se présente comme un passage indispensable pour le développement durable. Étant consciente de cette problématique, l'Algérie à travers son programme durable accentue la nécessité d'implication de toutes les parties concernées afin de parvenir aux véritables résultats concrétisés par des projets d'envergure exploitant ainsi l'énorme potentiel d'économie d'énergie.

**L'isolation thermique des
bâtiments
et la modélisation physique.**

Chapitre II : L'isolation thermique des bâtiments et la modélisation physique.

II.0. Introduction

La part importante de l'énergie consommée pour la climatisation des bâtiments a amené des chercheurs à se pencher sur le problème des échanges de chaleur entre les locaux et l'environnement. Ce problème très vaste et complexe dépend des paramètres tels que :

- La nature des matériaux servant à la construction,
- La forme des bâtiments qui influe sur le captage de l'énergie solaire,
- L'environnement climatique dans lequel se trouve le bâtiment,

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.

II.1. Transfert de chaleur

Le transfert de chaleur peut être défini comme le transfert d'énergie d'une zone à l'autre est sous l'influence de la différence de température. Il est contrôlé par la combinaison suivante Les lois de la physique. La littérature concernant le transfert de chaleur admet essentiellement trois Méthodes de transfert de chaleur : conduction, convection et rayonnement [17].

II.1.1. Les modes des Transfert de chaleur

On distingue habituellement trois modes de transfert de chaleur :

II.1.1.1. Transfert par conduction

La conduction est le moyen par lequel la chaleur circule de proche en proche dans un matériau ou passe d'un corps à un autre en contact physique direct, par simple interaction moléculaire. Les molécules du secteur le plus chaud se heurtent vivement entre elles et transmettent leur énergie de vibration aux molécules voisines.

Le flux de chaleur va toujours des zones chaudes vers les zones froides. Lorsque les particules s'échauffent à la surface du corps sous l'influence du rayonnement solaire, transférer cette chaleur aux molécules voisines, et la chaleur captée est étape par étape il est réparti dans tout le poids corporel jusqu'à ce qu'il atteigne l'état d'équilibre thermique.

La vitesse de progression du flux de chaleur à travers un corps, sa conductivité thermique, dépend de l'aptitude de ses molécules et de ses électrons à recevoir et à transmettre la chaleur. Par exemple, un métal paraîtra plus froid au toucher qu'un morceau de bois, pourtant à la même température. Cela tient au fait que le métal a une conductibilité plus élevée et que la chaleur s'écoule de la surface vers l'intérieur plus rapidement que dans le bois.

La sensation de froid est d'autant plus intense que la chaleur retirée de la main vers le métal par conduction est plus importante.

Les gaz sont généralement de mauvais conducteurs. Aussi, les matériaux comportant de nombreuses cellules d'air en grand nombre sont habituellement de mauvais conducteurs et donc de bons isolants. Les matériaux d'isolation utilisés dans la construction illustrent bien cela, ils renferment une multitude de petits espaces d'air et se caractérisent par leur légèreté [18].

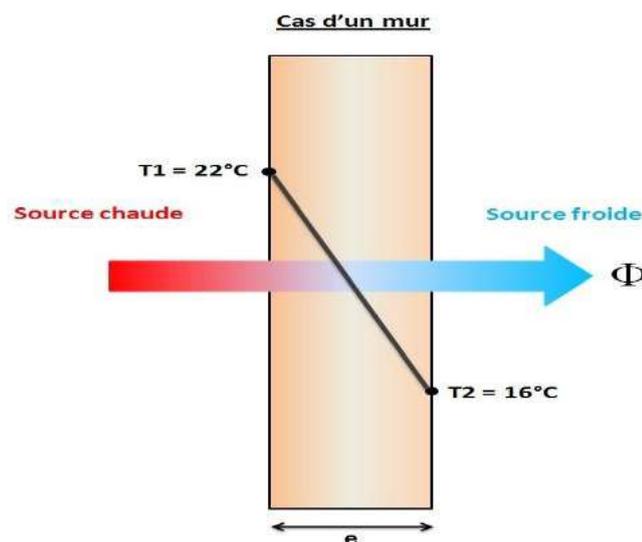


Figure II. 1 Transfert de chaleur par conduction. [19]

II.1.1.2. Transfert par convection

Le phénomène de convection implique le transfert de chaleur. Chaque fois que le fluide se déplace par rapport à un élément fixe. Quand ça arrive dans l'écoulement du fluide uniquement en raison de la différence de densité causée par le gradient de température, on dit que la convection est naturelle ou libre. En revanche, si l'exercice Le fluide est provoqué par une pompe ou un ventilateur, et ce processus est appelé convection forcée. [17]

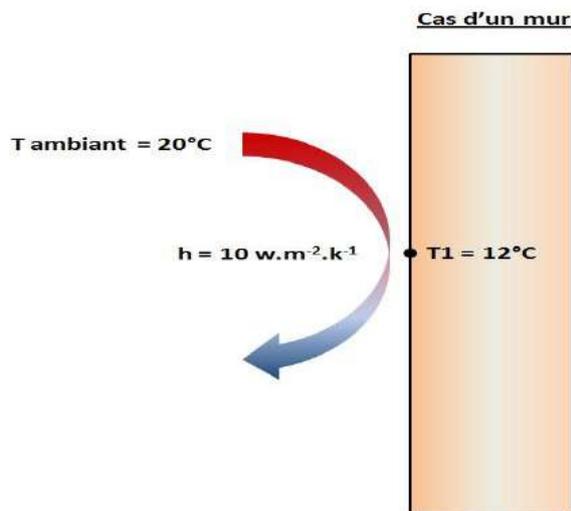


Figure II. 2 Transfert de chaleur par convection. [19]

II.1.1.3. Transfert par rayonnement

Dans la transmission de transfert de chaleur par rayonnement, le transfert de chaleur se produit dans vibration électromagnétique entre deux surfaces (même dans le vide). Aucun le contact entre eux, le déplacement d'une onde se propageant en ligne droite dans l'espace Sans aucun support matériel [20].

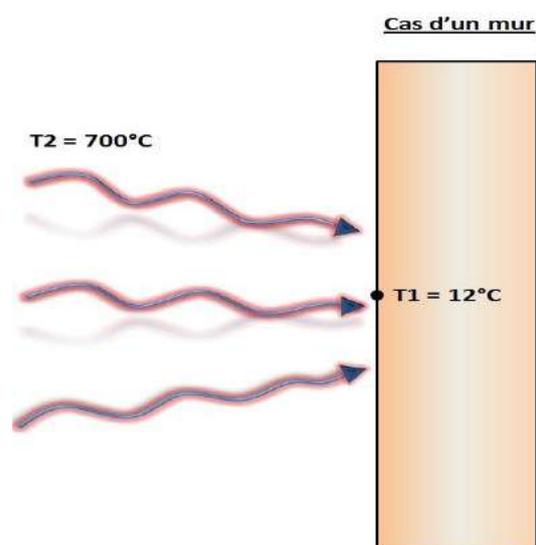


Figure II. 3 Transfert de chaleur par rayonnement.[19]

II.1.2. Notions thermiques

II.1.2.1. Flux thermiques

Le flux thermique est la quantité d'énergie thermique qui traverse une surface isotherme par unité de temps [21].

$$q = \frac{\partial Q}{\partial t} (w) \quad (2.1)$$

II.1.2.2. Conductivité thermique

C'est le pouvoir isolant du matériau. W/mc est utilisé pour exprimer la conductivité thermique du matériau (notée λ), en particulier la conductivité thermique du matériau isolant. Il est très important pour nous de choisir le matériau adapté à la besoins d'isolation du projet.[22].

$$\lambda = \frac{e}{\Delta T} (w/m.k) \quad (2.2)$$

II.1.2.3. Résistance thermique

Est la capacité d'un matériau à éviter et rendre difficile la transmission de chaleur. Elle s'exprime en $m^2.c^\circ/W$. elle dépend de deux paramètres importants (λ et l'épaisseur du matériau). [22].

$$R = \frac{e}{\lambda} (m^2. K/W) \quad (2.3)$$

II.1.2.4 Le coefficient de transmission calorifique

Le coefficient de transmission calorifique (notée U) caractérise les déperditions Thermiques d'un matériau ou d'une paroi. C'est l'inverse de la résistance thermique (R) [20].

$$U = \frac{1}{R} (w/m^2. K) \quad (2.4)$$

II.1.2.5. Capacité thermique massique

On appelle capacité thermique massique (Cp) la quantité de chaleur qu'il faut appliquer à 1kg de matière pour élever sa température de 1K [21].

II.1.2.6. Capacité thermique

La capacité thermique est l'énergie qu'il faut apporter à un corps pour augmenter sa Température de un 1K. Elle s'exprime en (J/K). C'est une grandeur extensive [21].

$$C = C_p \times m \tag{2.5}$$

II.2. L' isolation thermique

II.2.1. Définition

L'isolation est une caractéristique des matériaux de construction Réduire le transfert de chaleur entre les deux environnements. Il permet à la fois de réduire Consommation d'énergie de chauffage ou de climatisation (limite les déperditions en hiver et les apports en été) et augmenter le confort (maintenir la température et l'humidité à Confort en hiver et en été, résolvez le problème du mur froid en hiver l'été est chaud) [23].

II.2.2. Avantages d'isolation thermique

L'intérêt principal de l'isolation thermique c'est qu'elle permet de réduire la dépendance sur les systèmes (mécanique/ électrique) pour exploiter le bâtiment confortablement et, par conséquent, conserve l'énergie et les ressources naturelles associées [24].

II.2.2.1. Avantage économique

Des économies d'énergie importantes peuvent être atteintes à l'aide d'utilisation d'isolation thermique, avec peu de dépenses en capital. Il réduit les coûts d'exploitation de l'énergie.

II.2.2.2. Avantage environnemental

L'utilisation d'isolation thermique non seulement réduit les coûts d'exploitation de l'énergie, mais entraîne également des avantages environnementaux comme la valorisation des déchets rejetés qui causent des émissions polluantes.

II.2.2.3. Réduire le niveau de bruit

L'isolation peut réduire le bruit nuisible et stressant des espaces voisins ou de l'extérieur. Cela améliore le confort acoustique des bâtiments isolés.

II.2.2.4. Intégrité structurale d'un bâtiment

De forts changements de température peuvent provoquer un mouvement thermique Matériaux indésirables pouvant endommager la structure du bâtiment. Sauvegarder Les bâtiments avec des fluctuations de température minimales aident à protéger Intégrité de la structure du bâtiment. Ceci peut être réalisé en utilisant une isolation Chaleur, augmentant ainsi la durée de vie de la structure du bâtiment

II.2.2.5. Empêchement de condensation de vapeur

Bonne installation de l'isolation thermique aide à prévenir la condensation de vapeur sur la surface de bâtiment. Cependant, il faut faire attention à éviter les effets néfastes de la structure du bâtiment dommageable, qui peuvent résulter de mauvaise installation de matériaux d'isolation ou une mauvaise conception. En plus, les pare-vapeur sont généralement utilisés pour empêcher la pénétration d'humidité dans un isolant à basse température.

II.2.2.6. Protection contre le feu

Si le matériau isolant approprié est choisi et correctement installé, il peut aider à retarder la chaleur et à empêcher l'immigration de flamme dans la construction en cas d'incendie.

II.3. Classification des matériaux isolants

En thermique, un isolant thermique est un matériau ayant une faible conductivité thermique. Les principaux matériaux d'isolation disponibles actuellement vous sont présents dans les fiches suivantes, classes en 3 grandes familles selon l'origine de leur matière première [25].

II.3.1. Les matériaux biosources

Constitues principalement de fibres végétales ou animales. Leur matière première est donc largement issue de ressources renouvelables et valorise majoritairement des coproduits de l'agriculture ou de l'industrie du bois.

A la différence des autres types de matériaux d'isolation, la majeure partie des matériaux biosources présente un comportement hygroscopique qui associe forte perméabilité à la vapeur d'eau et régulation de l'humidité [25].

➤ Fibre du palmier dattier

Le palmier dattier est une plante qui pousse dans les régions aux climats très rudes Aride et semi-aride, cette espèce est inconnue à l'état sauvage. C'est généralement Planté dans l'oasis du

Sahara. Il existe plus de 2 600 espèces de palmiers. Le palmier dattier a développé plusieurs types de fibres. Parmi ces fibres, les fibres de surface Connue comme la vie au Sahara. Faites attention à la couche de fibre pour augmenter la durabilité Le tronc du palmier dattier et le protéger des chocs et dommages extérieurs Pour les animaux, il réduit également le stress causé par la très haute température de la saison. En raison de ces propriétés d'isolation thermique, il est plus faible en été et en hiver [26].

➤ **Fibres de bois**

Les fibres de bois sont obtenues par défibrage de chutes de bois résineux. Elles peuvent être utilisées en vrac ou transformées sous forme de panneaux. Pour ce faire une pâte épaisse est formée par adjonction d'eau et d'adjuvants [27].



Figure II. 4 Fibre de bois en panneau [28].

➤ **Béton de chanvre**

Le béton de chanvre est constitué d'un mélange à base de chènevotte, d'un liant généralement de la chaux formulée et d'eau. Le dosage en liant est très variable et dépend de l'usage qui en est fait : blocs préfabriqués, conglomerats banchés ou projetés à la machine, enduits isolants [29].



Figure II. 5 Béton de chanvre. [30]

II.3.2. Les matériaux minéraux

Constitues principalement de ressources minérales vierges ou issus en partie du recyclage Pour certains. Sous forme de laines de verre ou de roche, et des Fibragglos [29].

➤ La laine minérale

Les laines de verre et de roche sont les isolants conventionnels les plus utilisés dans le bâtiment. La laine de roche est obtenue à partir de la fusion de roche volcanique (basalte) de fondant et de coke industrielle. Une pâte est alors obtenue, fibrée et encollée par des liants chimique (résine phénoliques) avant d'être stabilisé par chauffage en étuve.

La laine de verre est obtenue par un procédé industriel similaire, mais à partir de la fusion de sable siliceux et /ou de verre recyclé



Figure II. 6 Laine de verre. [31]



Figure II. 7 Laine de roche. [31]

➤ **Terre cuite**

La terre cuite est composée d'argile séchée au soleil pendant un an qui sera mélangée à de l'eau, du sable et de la sciure de bois, le mélange obtenu sera broyé, humidifié, moulé et cuit. Les produits finis, utilisés encore aujourd'hui, restent les mulots (briques pleines) pour leur fonction décorative mais aussi les blocs à alvéoles verticale multiple ou Mono mûrs en terre cuite [29].



Figure II. 8 Fibragglos. [29]



Figure II. 9 Brique mono mûr en terre cuite. [29]

II.3.3. Les matériaux synthétiques

Issus de ressources pétrochimiques, donc non renouvelables et fortement émettrices de gaz à effet de serre. Pour la plupart dépourvus de toute sensibilité à l'humidité, ces matériaux peuvent être particulièrement indiqués pour le traitement des zones fortement soumises à l'humidité (soubassement, sous-dalle...) [25].

➤ **Le polystyrène (expansé et extrudé)**

Ces isolants sont produits par l'industrie du pétrole, le plus souvent à partir d'un ou de plusieurs dérivés du processus de raffinage. Le polystyrène expansé est obtenu par polymérisation des billes de styrène qui en sont issues avec de l'eau et du gaz pentane.

Le polystyrène extrudé est obtenu après polymérisation du styrène par extrusion sous pression d'une pâte de fusion grâce à un gaz lourd.

Le polystyrène expansé est un isolant synthétique qui peut être utilisé pour tout type d'isolation. [27].



Figure II. 10 Le polystyrène. [27]

➤ Les polyuréthanes

Le polyuréthane est le polymère le plus couramment utilisé pour fabriquer des mousses. Ce matériau trouve donc de nombreuses applications dans le secteur du bâtiment et de l'ameublement, ainsi que dans l'industrie automobile et nautique. Les mousses de polyuréthanes sont obtenues par catalyse et expansion à partir d'un mélange d'isocyanate, de polyol, et d'un gaz expansé (CO_2) avec ajout de stabilisant et d'ignifugeants. [27]



Figure II. 11 Le polyuréthane. [27]

II.4. Principe de l'isolation thermique

La fonction principale de l'isolation est de garder la chaleur à l'intérieur de la maison en hiver et frais en été. Une maison bien isolée réduit la consommation d'énergie pour le chauffage et la

climatisation, économisant ainsi tout en augmentant le confort Il existe deux manières d'isoler la structure

II.4.1. L'isolation par l'intérieure

Consiste à isoler un bâtiment de l'intérieur en apposant un isolant derrière une cloison maçonnée ou une ossature, procédé le plus utilisé par les constructeurs à cause de sa facilité de mise en œuvre. Son inconvénient est qu'il annule l'inertie thermique de la paroi isolée et n'évite pas les ponts thermiques sur la maçonnerie.

II.4.2. L'isolation par l'extérieur

Consiste à installer l'isolant sur la surface extérieure du mur. Ce souvent la solution la plus couteuse mais aussi la plus performante. Elle constitue la meilleure isolation pour le confort d'été et d'hiver car elle permet de conserver l'inertie thermique forte des murs intérieurs et supprime les ponts thermiques. Un bon isolant est évidemment un mauvais conducteur de la chaleur.

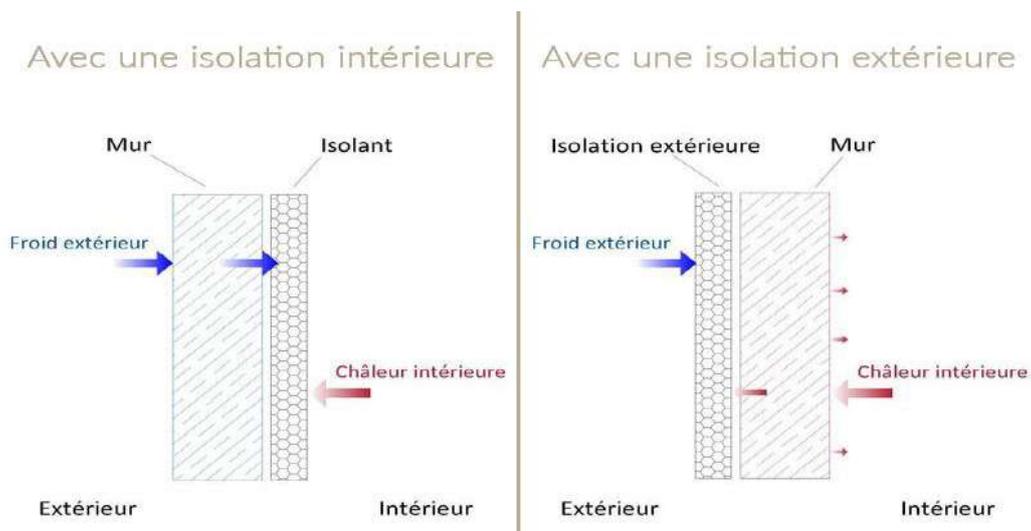


Figure II. 12 isolation intérieur et extérieur des murs. [32]

II.5. Modélisation physique des couches d'isolations

➤ Méthode de calcul : [33]

La perte de chaleur de la surface de l'unité (m^2) du mur extérieur est donnée par

$$q = U \times (T_b - T_0) \quad (2.6)$$

Où U est le coefficient global de transfert de chaleur, T_b est la température de base et T_o est la température quotidienne moyenne. Les pertes et gains de chaleur annuels survenant à la surface de l'unité sont calculés en utilisant (U).

Charge annuelle de transmission de chaleur par unité de surface de mur (J / m^2)

$$q_{A,H} = 86400 \times HDD \times U \quad (2.7)$$

Charge de transmission de refroidissement annuelle par unité de surface de mur (J / m^2)

$$q_{A,C} = 86400 \times CDD \times U \quad (2.8)$$

Où : **HDD** correspond aux degrés-jours de chauffage et **CDD** aux degrés-jours de refroidissement

$$HDD = \sum_1^{365} |T_b - T_o| \quad / T_o = 20 \text{ °C} \quad (2.9)$$

$$CDD = \sum_1^{365} |T_o - T_b| \quad / T_o = 26 \text{ °C} \quad / [20 \text{ _ } 26] \quad (2.10)$$

Le besoin énergétique annuel peut être calculé en divisant la perte de chaleur annuelle par le rendement du système de chauffage (η).

$$E_{A,H} = \frac{86400 \times HDD \times U}{\eta} \quad (2.11)$$

De même, la charge de refroidissement annuelle peut être déterminée dans une expression analogue comme

$$E_{A,C} = \frac{86400 \times CDD \times U}{COP} \quad (2.12)$$

Coefficient de transfert thermique global du mur ($W / m^2 \text{ °C}$)

$$U = \frac{1}{R_i + R_w + R_{ins} + R_o} \quad (2.13)$$

Où : R_i et R_o représentent respectivement les résistances thermiques des films d'air intérieur et extérieur, tandis que R_w est la résistance thermique totale du mur sans l'isolant, et R_{ins} est la résistance thermique de la couche isolante.

$$R_{ins} = \frac{x}{k} \quad (2.14)$$

Où x est l'épaisseur de la couche isolante : k est la conductivité thermique du matériau isolant. Si R_{wt} est la somme de R_i et R_w , tandis que R_o est la résistance thermique du mur à l'exclusion de la résistance de la couche isolante. Et alors l'équation (8) peut être réécrite comme suit.

$$U = \frac{1}{R_{wt} + R_{ins}} \quad (2.15)$$

Le besoin énergétique annuel pour le chauffage ($E_{A,H}$) est calculé comme suit.

$$E_{A,H} = \frac{86400 \times HDD}{\left(R_{wt} + \frac{X}{K}\right) \times \eta} \quad (2.16)$$

Alors que le besoin énergétique annuel pour le refroidissement ($E_{A,C}$) est calculé comme suit

$$E_{A,C} = \frac{86400 \times CDD}{\left(R_{wt} + \frac{X}{K}\right) \times COP} \quad (2.17)$$

Où : **COP** est le coefficient de performance du système de refroidissement

Le coût énergétique annuel pour la surface unitaire ($C_{A,H}$) et ($C_{A,C}$)

$$C_{A,H} = \frac{86400 \times HDD \times C_f}{\left(R_{wt} + \frac{X}{K}\right) \times H_u \times \eta} \quad (2.18)$$

$$C_{A,C} = \frac{86400 \times CDD \times C_e}{\left(R_{wt} + \frac{X}{K}\right) \times COP} \quad (2.19)$$

Où : C_f en (DAZ / m³) est le prix unitaire du combustible, H_u est la valeur calorifique du combustible, η est le rendement du système de chauffage et C_e est le coût de l'électricité. Le coût total de chauffage est évalué avec le facteur de valeur actuelle (**PFV**) pour la durée de vie de N années. Le **PFV** dépend du taux d'inflation (g) et du taux d'intérêt (i)

$$\begin{aligned} \text{Si } : i > g, \\ r = \frac{i-g}{1+g} \end{aligned} \quad (2.20)$$

$$\begin{aligned} \text{Tandisque, si } : i < g, \\ r = \frac{g-i}{1+i} \end{aligned} \quad (2.21)$$

Facteur de valeur actuelle

$$PFV = \frac{(1+r)^N - 1}{r \times (1+r)^N} \quad (2.22)$$

Où N est la durée de vie et on suppose qu'elle est de 10 ans. Si $i = g$, alors

$$PFV = \frac{N}{1+i} \quad (2.23)$$

Le coût de l'isolation (C_{ins}) en (DZA / m²) est donné par.

$$C_{ins} = C_i \times X \quad (2.24)$$

Où : (C_i) en (DAZ / m³) est le coût du matériau isolant et (x) est l'épaisseur de la couche isolante. Le coût total de chauffage du bâtiment isolé est donné par

Coût de chauffage annuel (DAZ / m²)

$$C_{t,H} = C_{A,H} \times PWF + C_i \times X \quad (2.25)$$

Alors que, le coût total de refroidissement du bâtiment isolé est donné par

Coût annuel de refroidissement (DAZ / m²)

$$C_{t,c} = C_{A,C} \times PWF + C_i \times X \quad (2.26)$$

Par conséquent, les coûts totaux de chauffage et de climatisation du bâtiment isolé sont calculés comme suit

$$C_{t,H,C} = C_{A,H} \times PWF + C_{A,C} \times PWF + C_i \times X \quad (2.27)$$

L'épaisseur optimale de l'isolant minimisant le coût total de chauffage est calculé à l'aide de l'équation suivante.

$$X_{Opt,H} = 293.94 \times \left(\frac{HDD \times C_f \times PWF \times K}{H_u \times C_i \times \eta} \right)^{1/2} - K \times R_{wt} \quad (2.28)$$

Alors que l'épaisseur optimale de l'isolation minimisant le coût total de refroidissement est calculée à l'aide de l'équation suivante

$$X_{Opt,C} = 293.94 \times \left(\frac{CDD \times C_e \times PWF \times K}{C_i \times COP} \right)^{1/2} - K \times R_{wt} \quad (2.29)$$

Par conséquent, l'épaisseur optimale de l'isolation minimisant les coûts totaux de chauffage et de refroidissement est calculée à l'aide de l'équation suivante

$$X_{opt,H,C} = 293.94 \times \left(\frac{HDD \times C_f \times PWF \times K}{H_u \times C_i \times \eta} + \frac{CDD \times C_e \times PWF \times K}{C_i \times COP} \right)^{1/2} - K \times R_{wt} \quad (2.30)$$

II.6. Conclusion

L'isolation est un moyen efficace de réduire le coût de conditionnement d'air et d'améliorer le confort de divers endroits. Il existe des produits d'isolation adaptés à toutes les situations : murs, sols ou plafonds, fenêtres, intérieurs ou extérieurs. Des solutions techniques diversifiées permettent de traiter efficacement chaque cas.

En plus de réduire la consommation énergétique, l'installation d'isolant permet :

- D'offrir des garanties de performance et de qualité d'usage, de sécurité ou encore de solidité.
- De protéger l'environnement, et d'offrir d'économies financières d'offrir plus de confort, une meilleure qualité de vie et un rendement meilleur.

L'installation de l'isolant dans les bâtiments représente environ 20 % du budget total du projet. Il est vrai que ce pourcentage représente au début un surcoût important, mais du côté du rendement énergétique et économique, cela va nous aider à avoir des gains importants de la consommation d'énergie à long terme.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Chapitre III. : RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.0. Introduction

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

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

Objectif de l'étude

L'objectif de la présente étude est d'évaluer l'évolution des besoins énergétiques en fonction des mesures d'efficacité énergétique passives et les conditions de confort thermique, d'un bâtiment de base créé selon des paramètres qui reflètent au plus pris la réalité de la construction résidentielle en Algérie. On va essayer de trouver la meilleure épaisseur pour chaque ville à étudier selon la valeur de CDD et HDD en prenant l'aspect techno économique.

III. 1. Données climatiques

Zones climatique en Algérie

L'Algérie occupe une vaste étendue territoriale, sa superficie est de 2.381. 741 Km². Elle est comprise entre les latitudes 18° et 38° Nord, et entre 9° de longitude Ouest, et 12° de longitude Est, le méridien international 0 Greenwich passant près de Mostaganem. Les distances entre le Nord et le Sud, l'Est et l'Ouest varient de 1500 à 2000 Km. Plus de 4/5 de sa superficie est désertique. D'où une large variété géographique et climatique allant du littoral au désert.

les paramètres des modèles sont fortement dépendants des conditions météorologiques. Ceci nous a conduits à déterminer un modèle pour chaque climat étudié.

En Algérie, la règlementation thermique définit le sud Algérien comme une seule zone climatique aride. Nous retenons dans cette étude quatre villes sont discutées et classées en quatre catégories, à savoir :

- Climats aride à caractère très froid : Bayadh
- Climats aride à caractère froid : Laghouat
- Climats aride à caractère chaud : Ouargla
- Climats aride à caractère très chaud : Adrar

Ville	CDD	HDD
Bayadh	1160	5859
Laghouat	2538	4246
Ouargla	3075	3709
Adrar	4293	2758

La (Fig. III. 1) montre les fréquences cumulées de la température de l'air extérieur ainsi que a (Fig. III.2) présente la température annule cumulée en Degré heurs et au Pourcentage pendant une année pour les villes étudiées.

pour la ville de Bayadh le Degrée heurs de climatisation est 1160 H qui représente 13.24% soit beaucoup plus grand que celles au Degrée heurs de chauffage qui représente 5859 H soit 66.68%.pour la ville de Laghouat le Degrée heurs de climatisation est 2538 H qui représente 28.97% soit beaucoup plus grand que celles au Degrée heurs de chauffage qui représente 4246 H soit 48.47%.Pour la ville de Adrar on constate l'inverse le besoin de climatisation 4293H qui représente 49.01% contre 2758H soit 28.31% .Pour la ville de Ouargla on constate l'inverse le besoin de climatisation 3075H qui représente 35.10% contre 3709H soit 42.34%

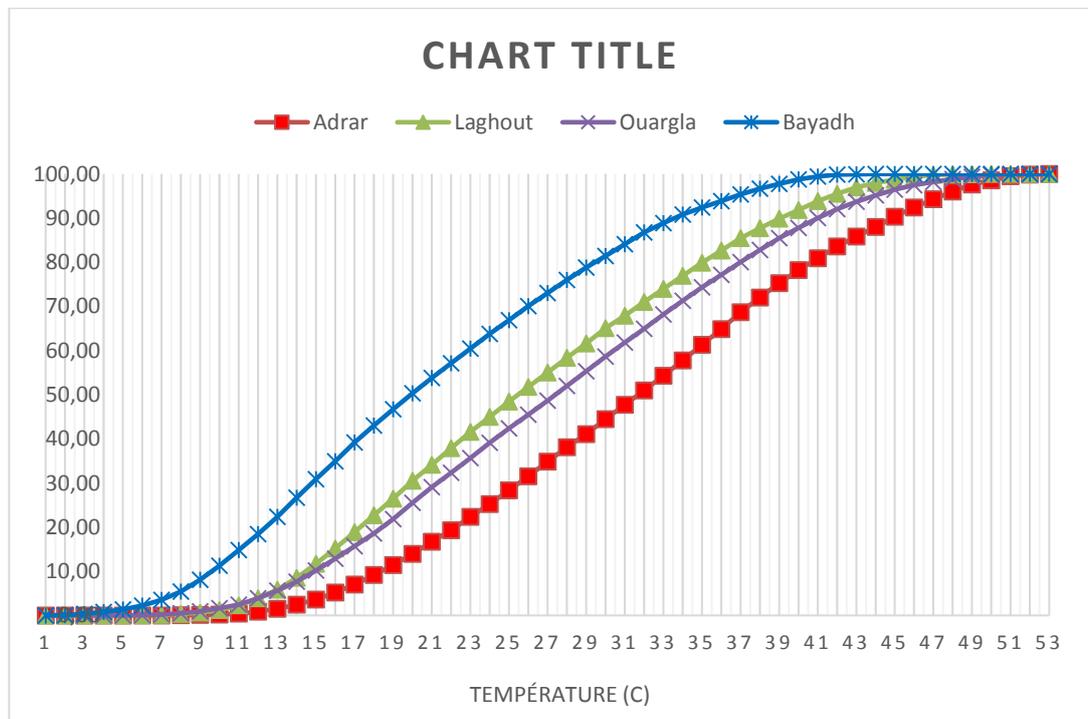


Figure III. 1 Fréquences cumulées annuelles de la température de l'air extérieur

On constate que les quatre villes ont le même ordre de grandeur que celui des heures nature où la température est entre 20 et 26 C° cet intervalle varie entre 19.87% et 22.68%. En outre, l'effet de cet intervalle est très faible sur les besoins énergétiques. Pour le climat chaud (Adrar), la (Fig. III.2) montre que la solution préférable est celle de climatisation contre la solution de chauffage pour la ville de Bayadh. Pour la ville d'Ouargla et La Ghouat on constate que la solution de climatisation a le même ordre que celle de chauffage.



Figure III. 2 la température annule cumulée pendant une année pour les quatre villes étudiées

III. 2. Description du mur étudié

Le type qui a été choisi pour cette étude est le plus utilisé en Algérie et en particulier au Sud. Ce type est composé de deux murs conçus de briques creuse épais de 10 cm à l'extérieur avec un enrobage en ciment de 2 cm et à l'intérieur une épaisseur de 15 cm et couvert de plâtre épais de 1,5 cm. Soit une lame d'air (vide en air) comme séparateur entre les briques creuses intérieure et extérieure de 4 à 5 cm (pour nombre de Peclet à l'ordre de l'unité).

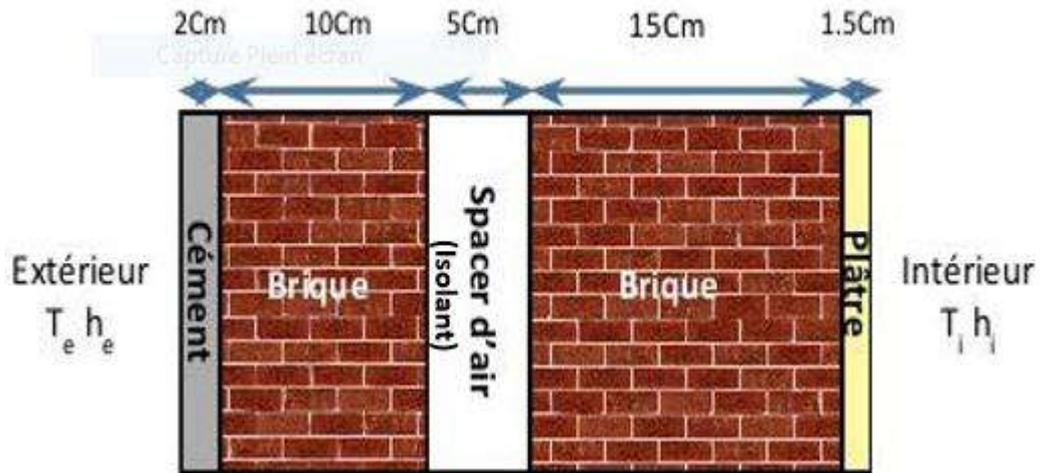


Figure III. 3 mur modèle

Caractéristiques thermiques des matériaux

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

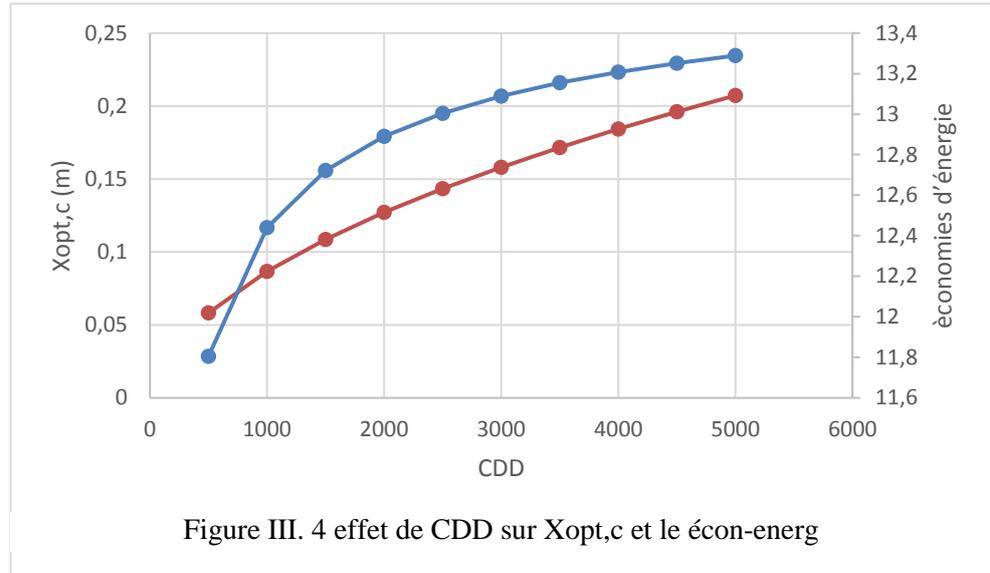
Tableau III. 1 Caractéristiques thermiques des matériaux

Matériaux	Conductivité thermique (W/m.K)	Epaisseur (cm)
Cément	1,16	2
Brick	0,48	15
Isolation (Espace d'air)	0,31	5
Brick	0,48	10
Plâtre	0,35	1,5
Polystyrène	0,034	/

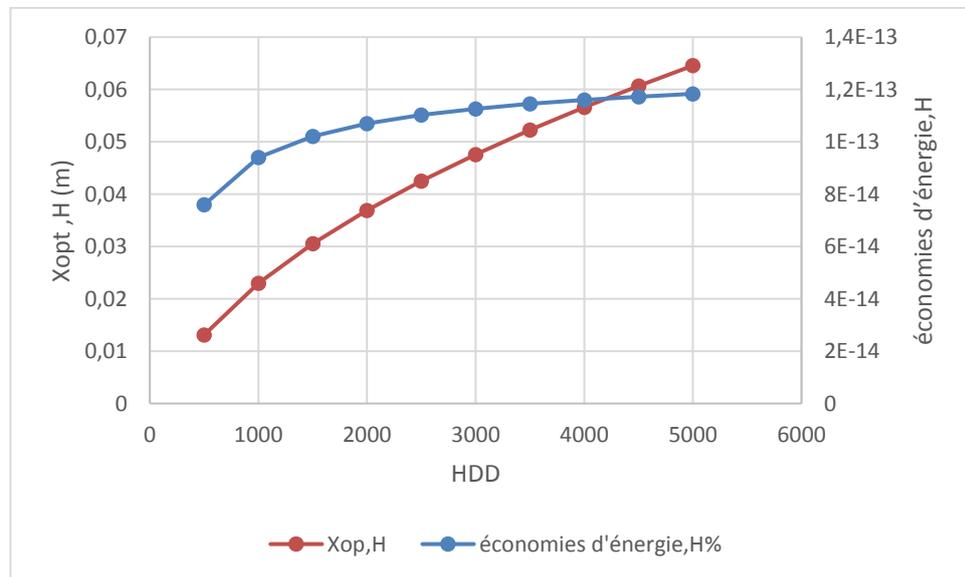
III. 3. Étude Paramétrique

Tableau III. 2 Les paramètres utilisés dans l'analyse de variation [années]

/	HDD	CDD	LT Année	i/d %	Cis DAZ/m ³	Ce DAZ/W	Cf DAZ/m ³	Rwt m ² k/W	COP	K W/m.K	Rend
1	500-6000	500	25	9/11	21600	0.00013	1350	0.617	2.5	0.034	0.7
2	2000	250-2000	25	9/11	21600	0.00013	1350	0.617	2.5	0.034	0.7
3	2000	500	5-30	9/11	21600	0.00013	1350	0.617	2.5	0.034	0.7
4	2000	500	25	0-12	21600	0.00013	1350	0.617	2.5	0.034	0.7
5	2000	500	25	9/11	12000-24000	0.00013	1350	0.617	2.5	0.034	0.7
6	2000	500	25	9/11	21600	0.00003-0.00023	1350	0.617	2.5	0.034	0.7
7	2000	500	25	9/11	21600	0.00013	150-2550	0.617	2.5	0.034	0.7
8	2000	500	25	9/11	21600	0.00013	1350	0.3-0.8	2.5	0.034	0.7
9	2000	500	25	9/11	21600	0.00013	1350	0.617	1.5-4	0.034	0.7
10	2000	500	25	9/11	21600	0.00013	1350	0.617	2.5	0.02-0.05	0.7
11	2000	500	25	9/11	21600	0.00013	1350	0.617	2.5	0.034	0.3-0.9



La figure III. 4 représente les changements CDD pour Xopt, c et écon-energ : La CDD passe de 500 à 500 (la valeur de Xopt, c passe de 0,05 à 0,2) m et la valeur d'écon-energ passe à 13,5 %.



La figure III. 5 : représente les changements de HDD pour Xopt, h et écon-energ : Le HDD passe de 500 à 5500 (Xopt, c passe de 0,012 à 0,065) m et la valeur d'écon-energ augmente jusqu'à ce que E-13 atteigne 1,2 %.

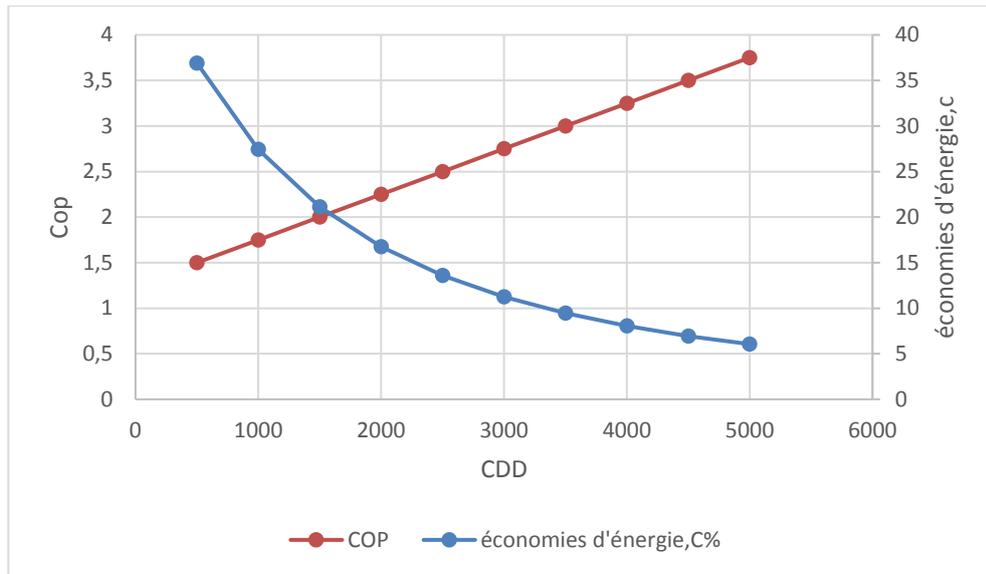


Figure III. 6 effet de CDD sur Cop et le écon-energ

La figure III. 6 : représente les changements CDD pour le COP et écon-energ, où la CDD passe de 500 à 5000 (la valeur du COP passe de 1,5 à 3,8) et le écon-energ diminue à moins de 5%.

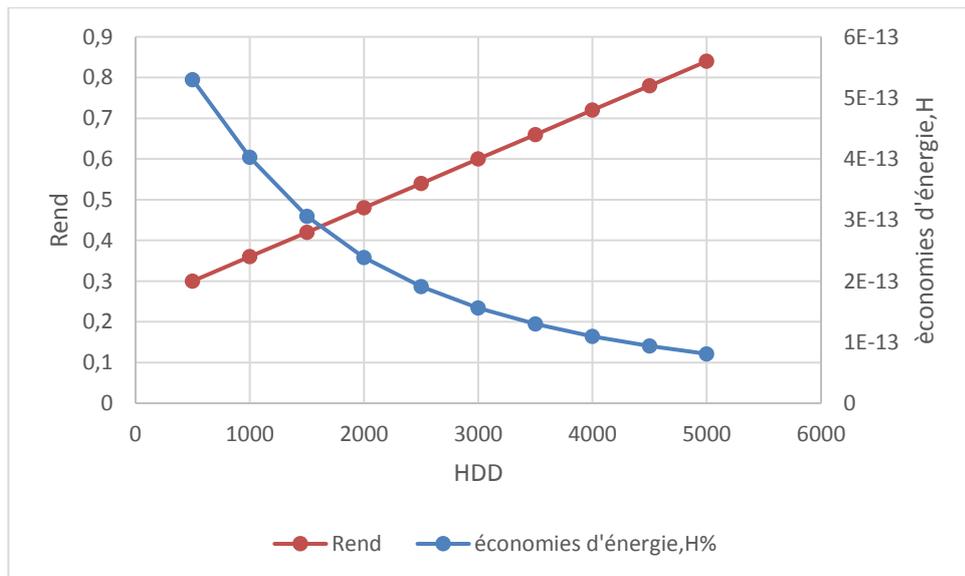


Figure III. 7 effet de HDD sur Rend. et le écon-energ

La figure III.7 : représente les changements HDDBR et econ-energ : HDD passe de 500 à 50000 (Rand. passe de 0,3 à 0,999) et la valeur d'econ-energ diminue à moins de 1E-13%

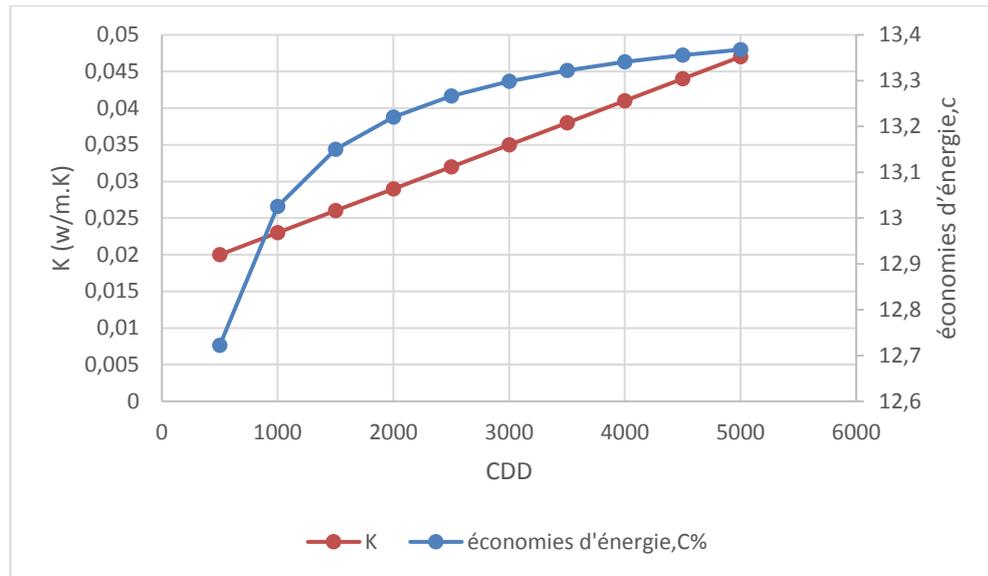


Figure III. 8 effet de CDD sur K et le écon-energ

La figure III.8 : représente les changements CDD pour K et econ-energ : La CDD passe de 500 à 5000 (la valeur de K passe de 0,02 à 0,05) et la valeur d'econ-energ passe à moins de 13,5 %.

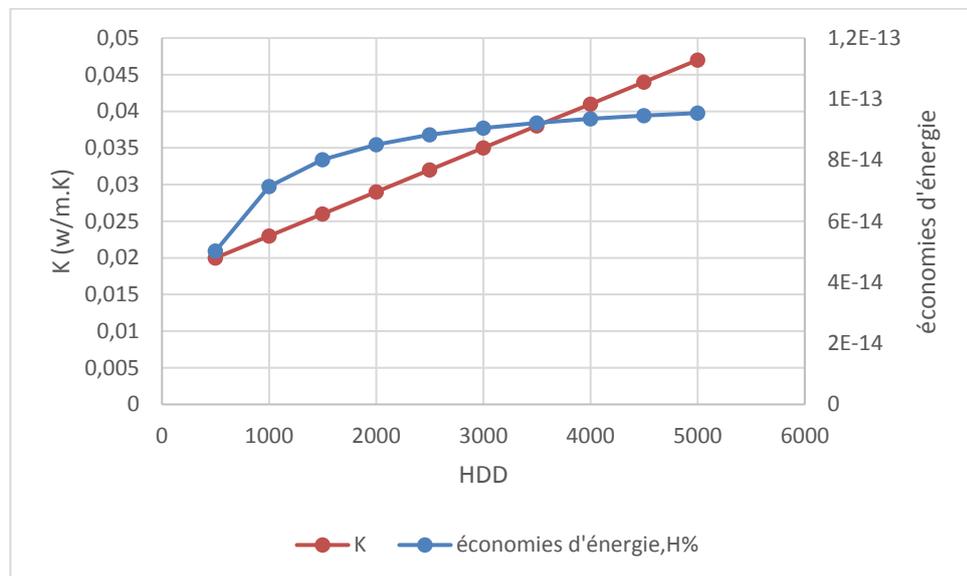


Figure III. 9 effet de HDD sur K et le écon-energ

La figure III.9 : représente les changements de HDD pour K et econ-energ : HDD augmente de 500 à 50000 (K augmente de 0,02 à 0,05) et la valeur de econ-energ augmente jusqu'à ce que prouvée à 1,1E-13%

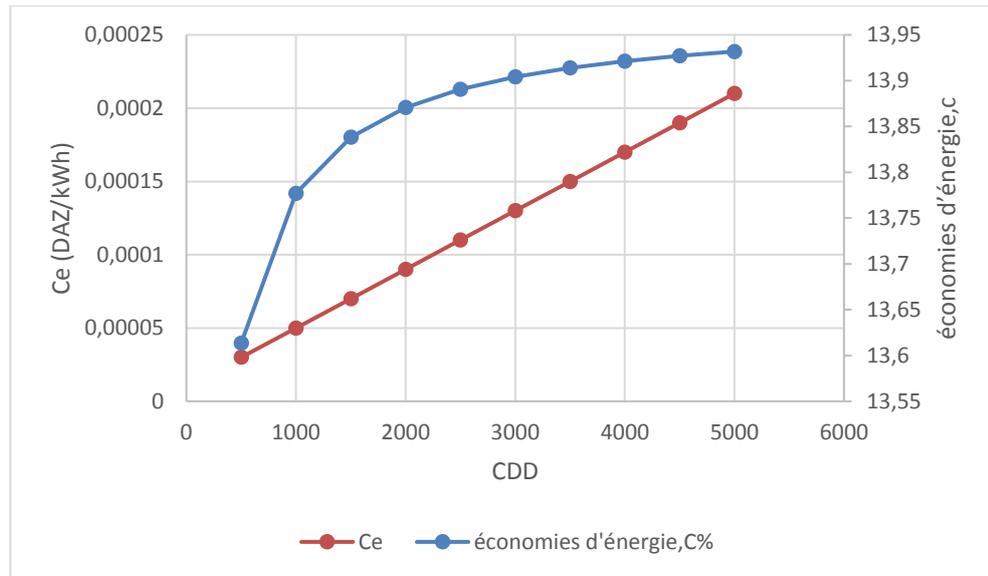


Figure III. 10 effet de CDD sur Ce et le écon-energ

La figure III.10 : représente les changements CDD pour CE et econ-energ : CDD augmente de 500 à 50000 (Ce augmente de 0,02 à 0,22) et econ-energ augmente à 13,95%.

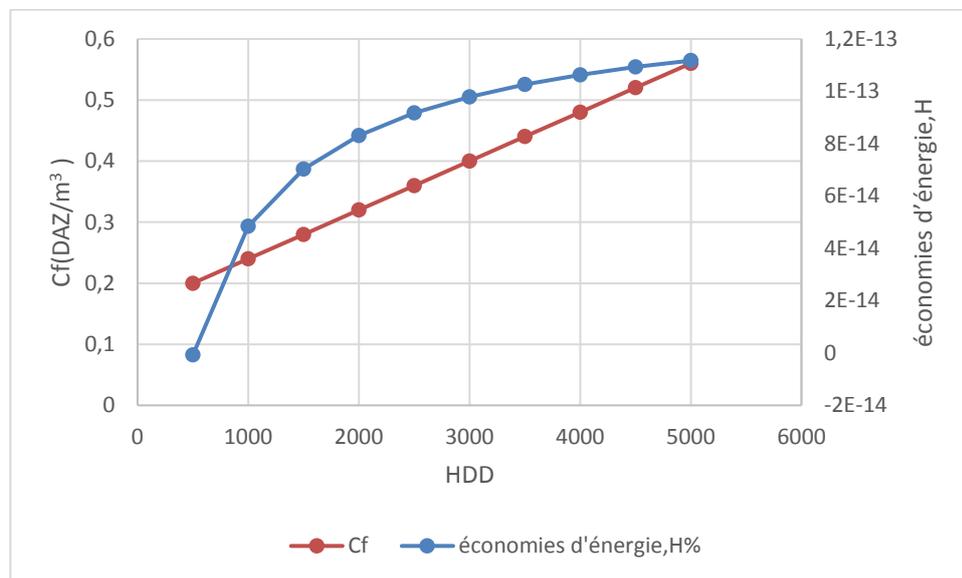


Figure III. 11 effet de HDD sur Cf et le écon-energ

La figure III.11 : représente les variations du HDD en termes de Cf et d'econ-energ, où le HDD passe de 500 à 5000 (Cf passe de 0,2 à 0,6) et l'econ-energ augmente jusqu'à atteindre 1,2 E-13%.

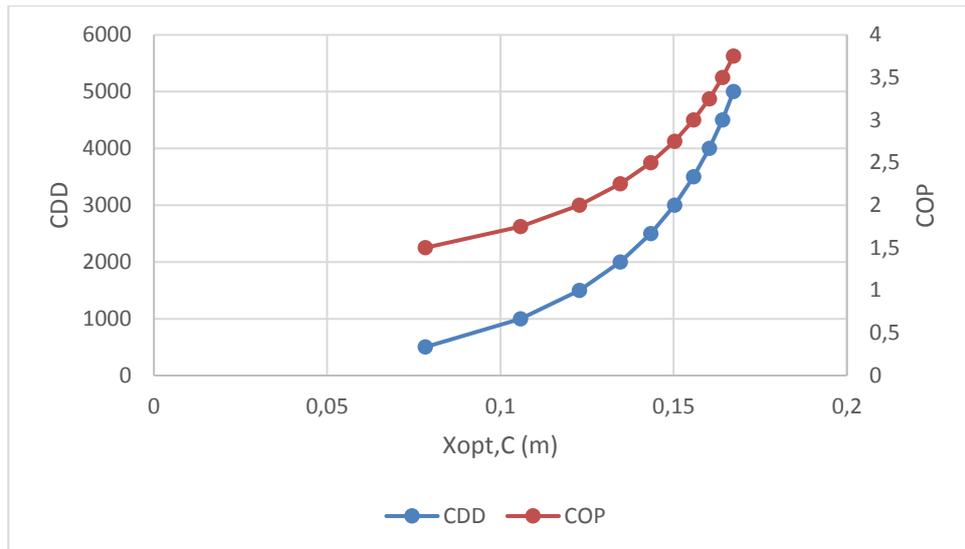


Figure III. 12 effet de Xopt,c sur CDD et le Cop

La figure III.12 : représente les changements de Xopt, c pour CDD et COP : Avec une augmentation de Xopt, c de (0,08 à 0,17) (les CDD passent de 500 à 5000) et la valeur de COP passe à 3,8

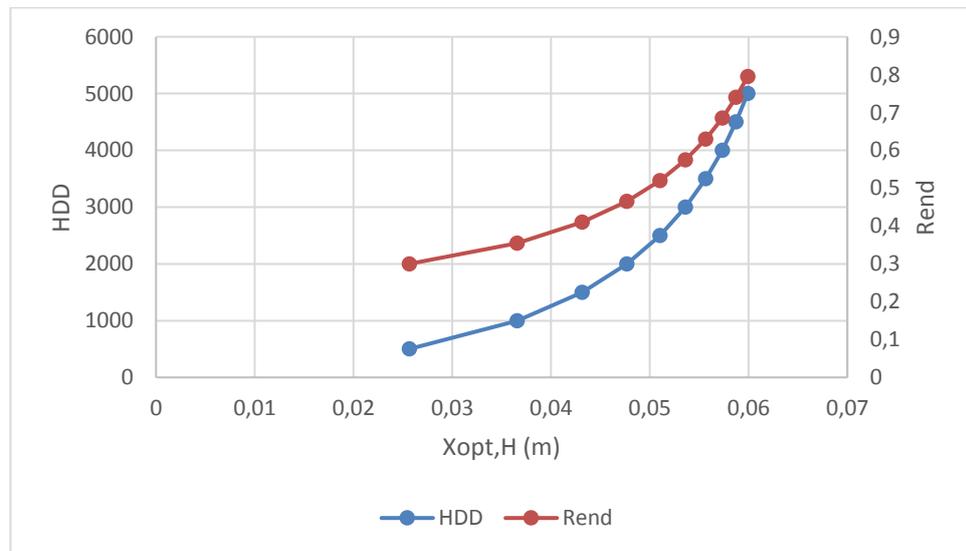


Figure III .13 effet de Xopt,h sur HDD et le Rend

La figure III. 13 : Xopt change, h pour le disque dur et Rend : Xopt, h, passe de (0,025 à 0,06m) les disques durs passent de (500 à 5500) et Rend passe de 0,9

III. 4. Application à l'évaluation des besoins de chauffage et climatisation

III.4.1. Zone Bayadh

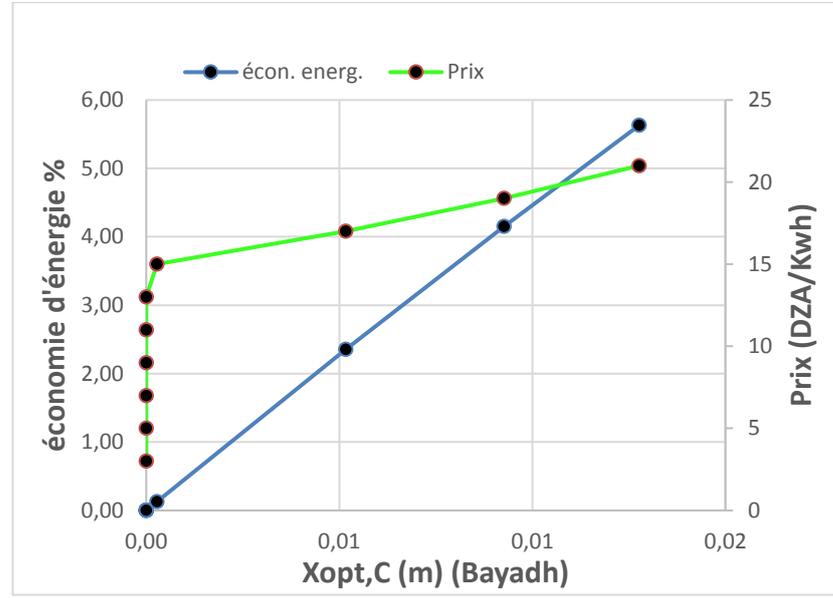


Figure III. 14 effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le prix

La figure III. 14 : représente les variations de $X_{opt, C}$ pour l'énergie économique et les prix : X_{opt} augmente de (0 à 0,013m) la valeur de prix augmente à 23DZA et la valeur d'écon-energ augmente à 5 %. Et puisque le taux d'économie d'énergie est de 6 %, l'épaisseur d'isolation est de 0,013m, ce qui signifie que cette zone n'a pas besoin d'être isolée les jours de refroidissement annuels, cela montre que le prix de 16 DZA représente le seuil.

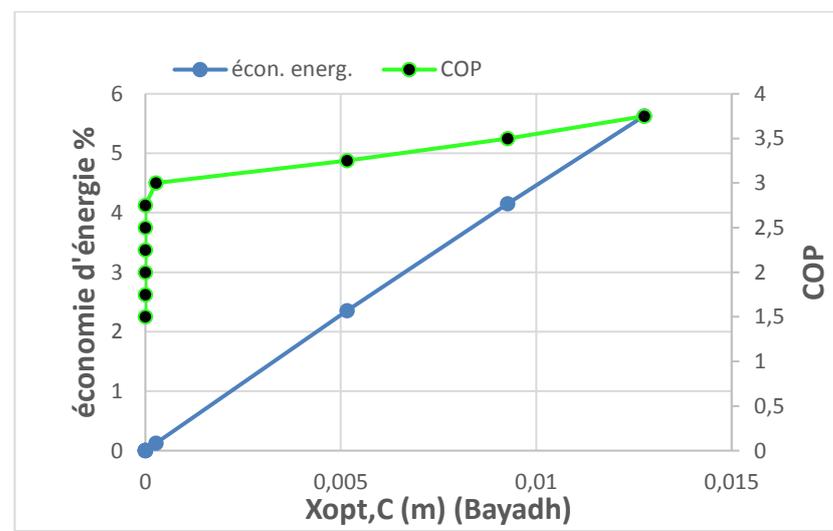


Figure III. 15 effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le Cop

La figure III.15 représente : Les variations de X_{opt} , C pour econ-energ et Cop : avec une augmentation de X_{opt} de (0 à 0,013 m), la valeur de Cop augmente à 3,8 et la valeur d'écon-energ augmente légèrement à 5,5%.

L'un des facteurs les plus importants pour déterminer l'épaisseur optimale de l'isolant est qu'en augmentant l'épaisseur de l'isolant, le prix augmente, ce qui incite le coefficient de refroidissement à augmenter, ce qui permet d'économiser plus d'énergie

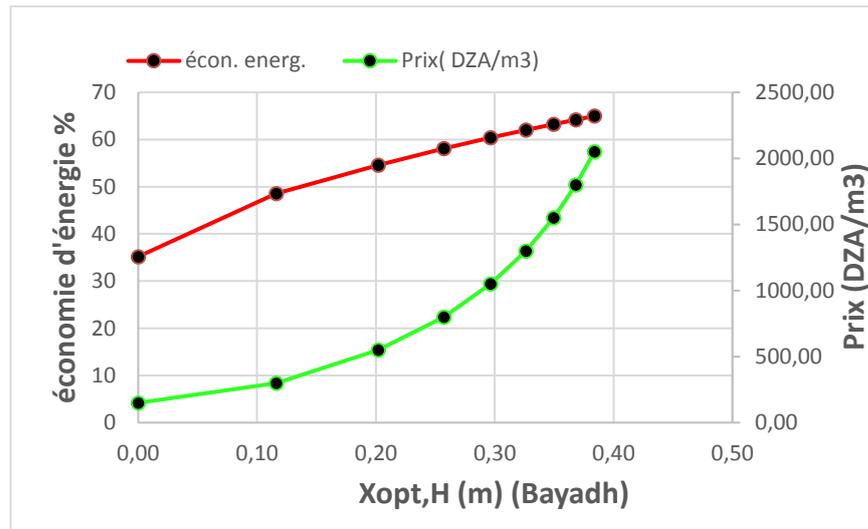


Figure III.16 effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le prix

La figure III.16 représente : les variations de X_{opt} , H pour econ-energ et prix : avec X_{opt} augmentant de (0 à 0,4m) la valeur du Prix augmente à 2000 DZA et la valeur de l'écon-energ augmente à un maximum de 65%. Puisque l'économie d'énergie dépasse 67 pour cent et l'épaisseur de l'isolant atteint 0,48 m, ce qui signifie que la zone des œufs a besoin d'une isolation optimale les jours de chauffage annuels.

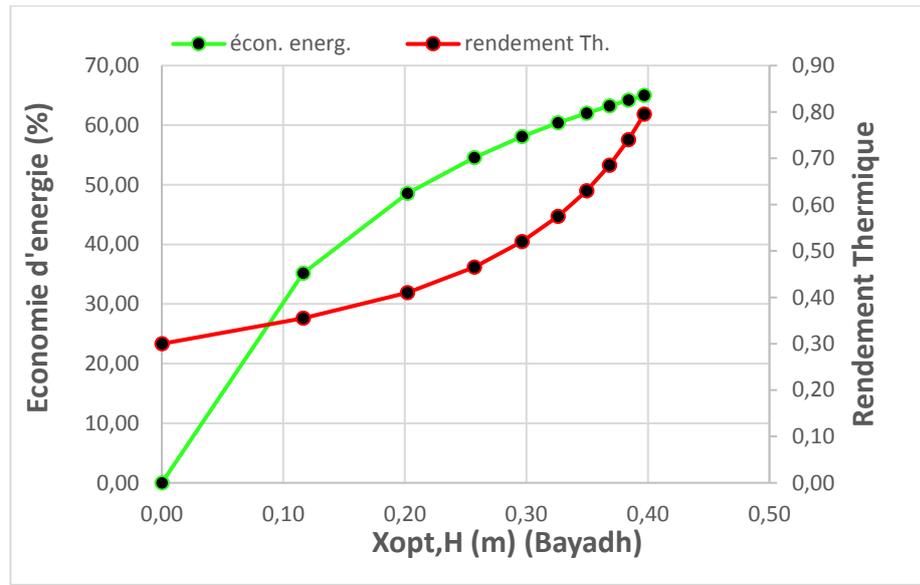


Figure III .17 effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le Rend

La figure III.17 représente : $X_{opt,H}$, econ-energ et Rendement thermique Changements thermiques : Avec une augmentation de X_{opt} de (0 à 0.4m), la valeur de Rendement thermique augmente à 0.8m, et la plus grande valeur augmente à % 65.

Les prix de l'énergie pour le chauffage sont parmi les facteurs les plus importants affectant l'épaisseur d'isolation optimale, d'où nous concluons qu'en augmentant l'épaisseur d'isolation, les augmentations de prix, qui affectent le rendement élevé, permettant des économies d'énergie positives.

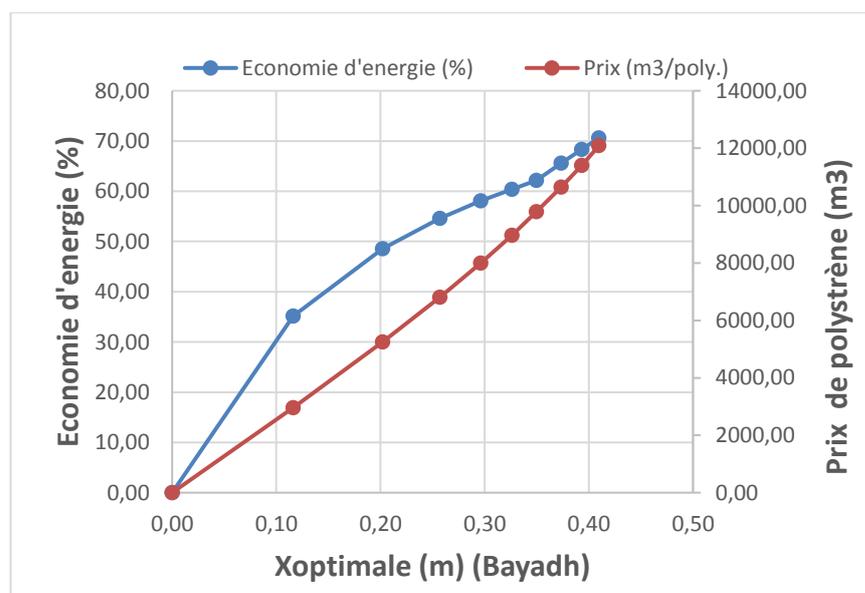


Figure III. 18 effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le prix de polystyrène

La figure III.18 représente les changements du X_{opt} à l'écon-energ et le prix de polystyrène : Avec une augmentation du X_{opt} de (0 à 0.4m), la valeur du prix de polystyrène augmente à 1200.00 m³ et la valeur de l'écon-energ augmente à 70%.

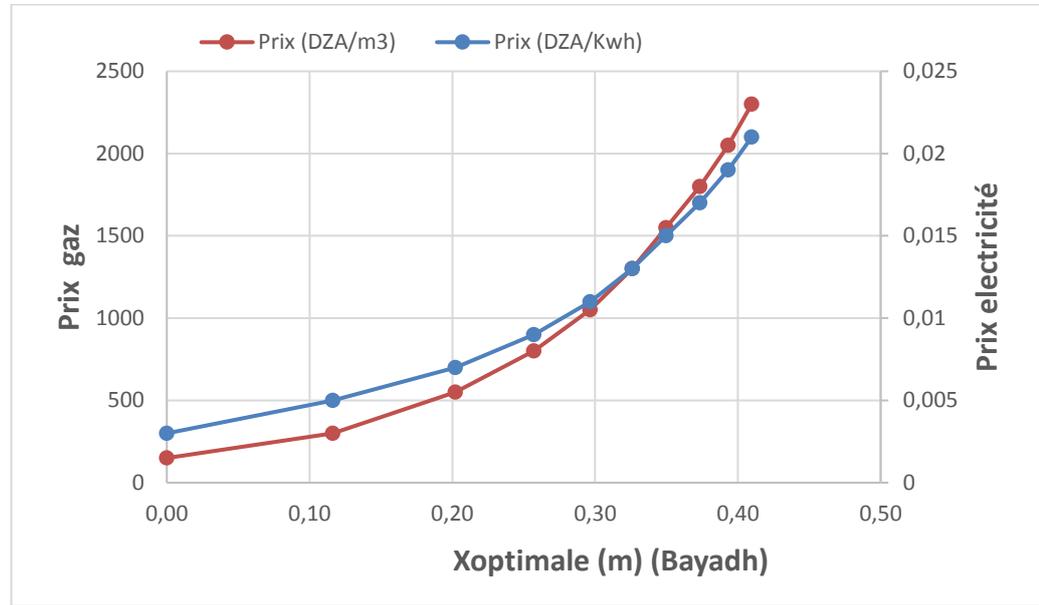


Figure III .19 effet de l'isolation sur prix gaz et le prix électricité

La figure III.19 représente les changements suivants : X_{opt} pour Prix et Prix électricité : avec X_{opt} qui passe de (0 à 0,4), la valeur de Prix électricité augmente à 0,023DZA et la valeur de Prix augmente à 2300 DZA.

Les prix de l'énergie pour l'électricité et le gaz sont une condition préalable à l'optimisation de l'épaisseur d'isolation, car l'électricité est le refroidissement le plus utilisé et le gaz comme source majeure de chauffage. La zone de Bayadh consomme plus de gaz que l'électricité, qui a besoin ici de plus de chaleur que de refroidissement, ce qui est très faible.

III.4.2. Zone Ouargla

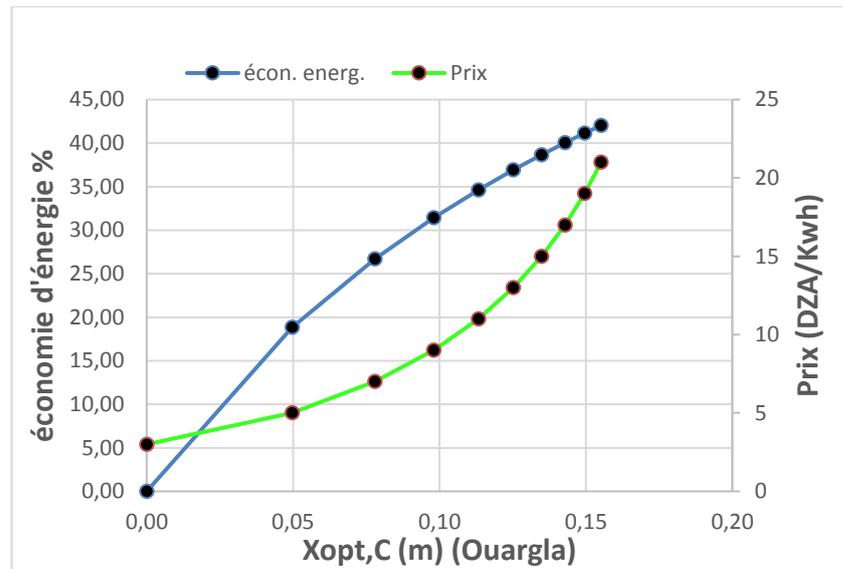


Figure III. 20 effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le prix

La figure III.20 représente : les changements de X_{opt}, C pour econ-energ et prix : X_{opt}, C augmente de (0 à 0,015 m) la valeur du Prix augmente à 22DZA et la valeur de econ-energ augmente à 43%. . Puisque le taux d'économie d'énergie est de plus de 42 pour cent et l'épaisseur d'isolation est de plus de 0,16 m, ce qui signifie que la région de Ouargla a besoin d'isolement les jours de refroidissement annuels.

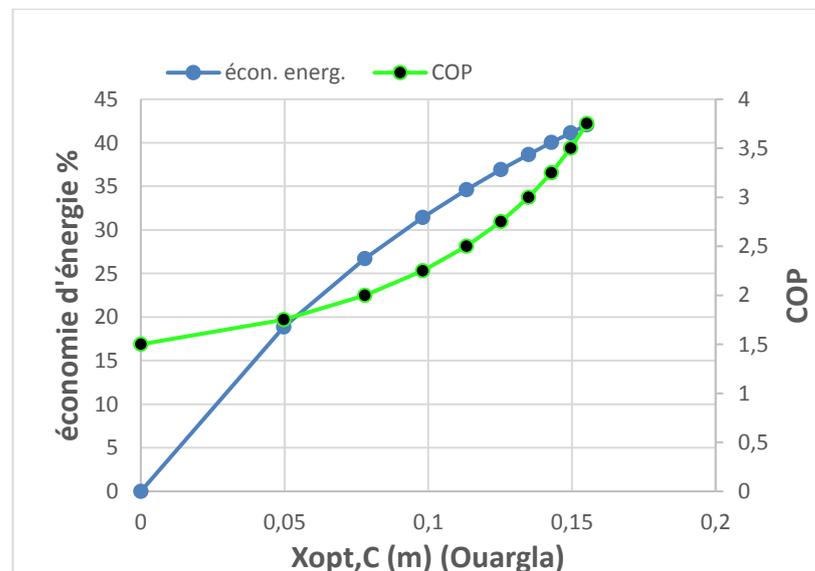


Figure III. 21 effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et Cop

La figure III.21 représente : Changements X_{opt} , C pour econ-energ et COP : Où X_{opt} augmente de (0 à 0,015) la valeur de Cop augmente jusqu'à ce qu'elle atteigne 3, La valeur d'écon-energ augmente légèrement à 43%, dont nous concluons qu'en augmentant l'épaisseur d'isolation, les augmentations de prix, qui incitent le coefficient de refroidissement à augmenter, ce qui permet de fournir plus d'énergie pour l'énergie.

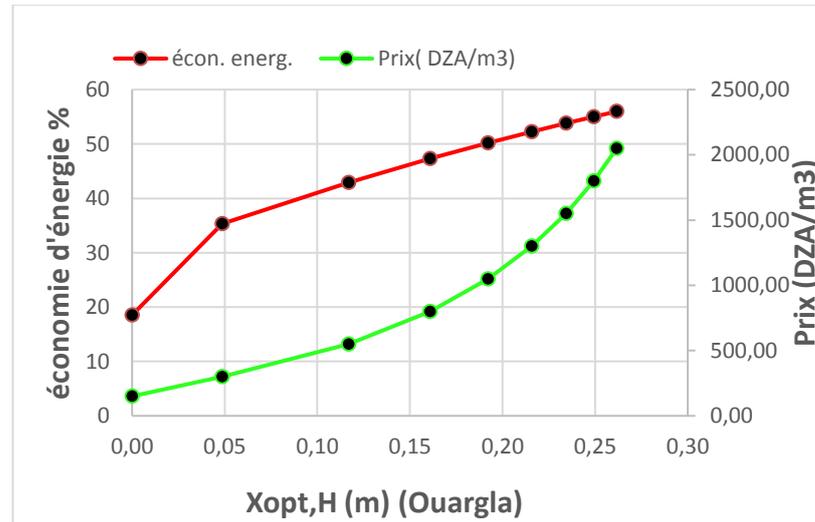


Figure III. 22 effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le prix

La figure III.22 représente : les changements de X_{opt} , H pour econ-energ et prix : Avec une augmentation de X_{opt} de (0 à 0.25m), le Prix augmente à 2000 DZA, et la valeur de econ-energ augmente à une valeur maximale de 55%, depuis l'économie d'énergie dépasse 55% et l'épaisseur d'isolation atteint 0.25m, ce qui signifie que la région Ouargla a besoin d'être isolée les jours de chauffage annuels.

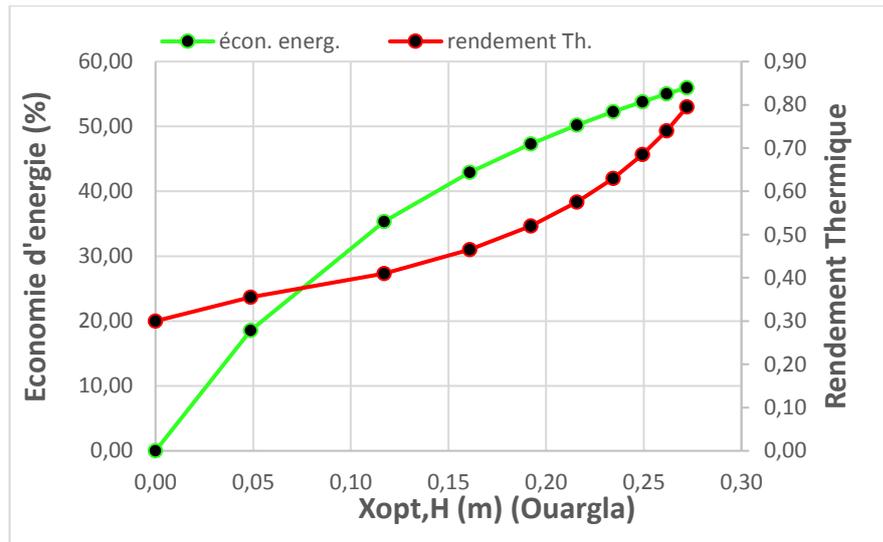


Figure III. 23 effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le Rend.

La figure III.23 représente : Xopt, H, econ-energ et Rendement thermique Changements thermiques : Avec une augmentation de Xopt de (0 à 0,25m), la valeur de Rendement thermique augmente à 0,8,8 et la plus grande valeur augmente à 55%.

Les prix de l'énergie pour le chauffage sont parmi les facteurs les plus importants affectant l'épaisseur d'isolation optimale, d'où nous concluons qu'en augmentant l'épaisseur d'isolation, les augmentations de prix, qui affectent le rendement élevé, permettant des économies d'énergie positives.

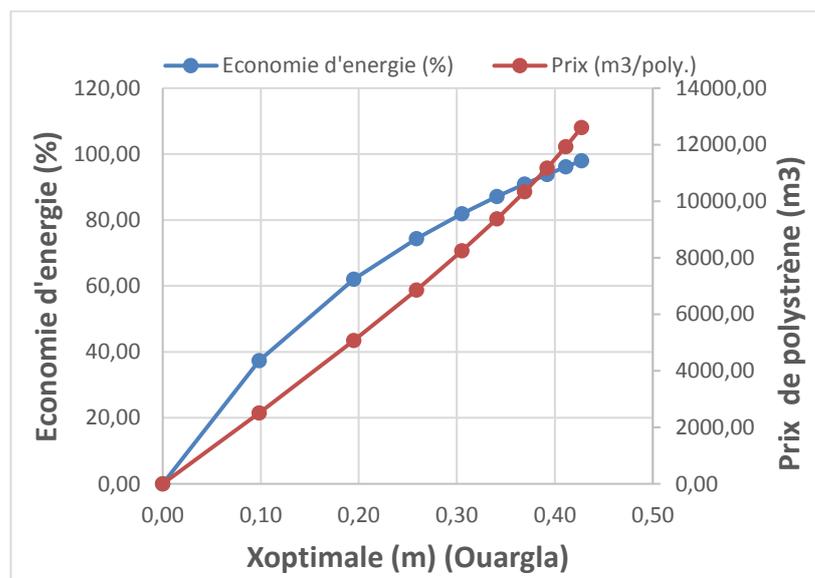


Figure III. 24 effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le prix de polystyrène

La figure III.24 représente les changements de l' X_{opt} à l'écon-energ et le prix de polystyrène : Avec l'augmentation de X_{opt} de (0 à 0,43m), la valeur du prix de polystyrène augmente à 13000,00m³ et la valeur de l'écon-energ augmente à % 95.

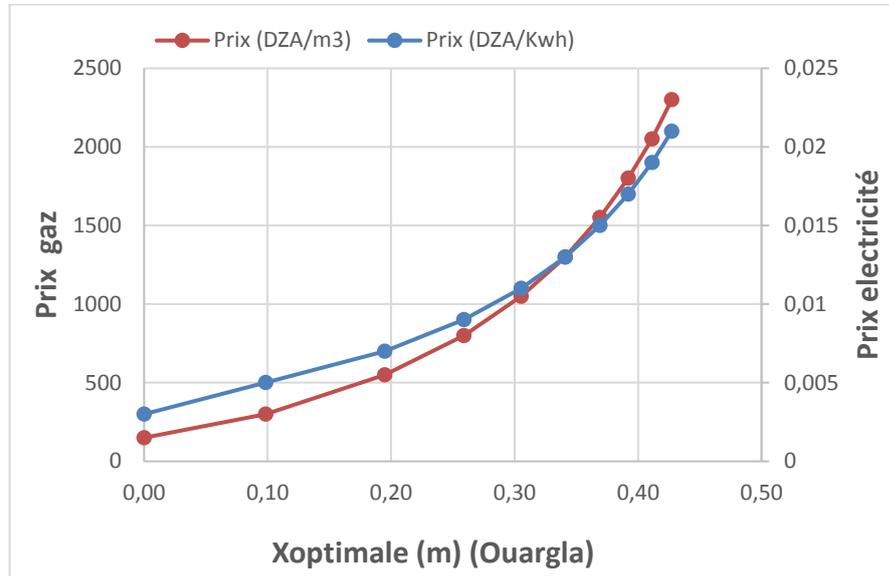


Figure III. 25 effet de l'isolation sur le prix gaz et le prix électricité

La figure III.25 représente les changements suivants pour Prix et Prix d'électricité : avec X_{opt} qui passe de (0 à 0,43), la valeur de Prix d'électricité augmente à 0,023 DZA et la valeur de Prix augmente à 2300 DZA.

Énergie les prix de l'énergie pour l'électricité et le gaz sont une condition préalable à l'optimisation de l'épaisseur d'isolation, car l'électricité est le refroidissement et le gaz les plus utilisés comme source majeure de chauffage. La région de Ouargla consomme un peu moins de gaz que l'électricité, qui nécessite ici plus de refroidissement que de chauffage.

III.4.3. Zone La Ghouat

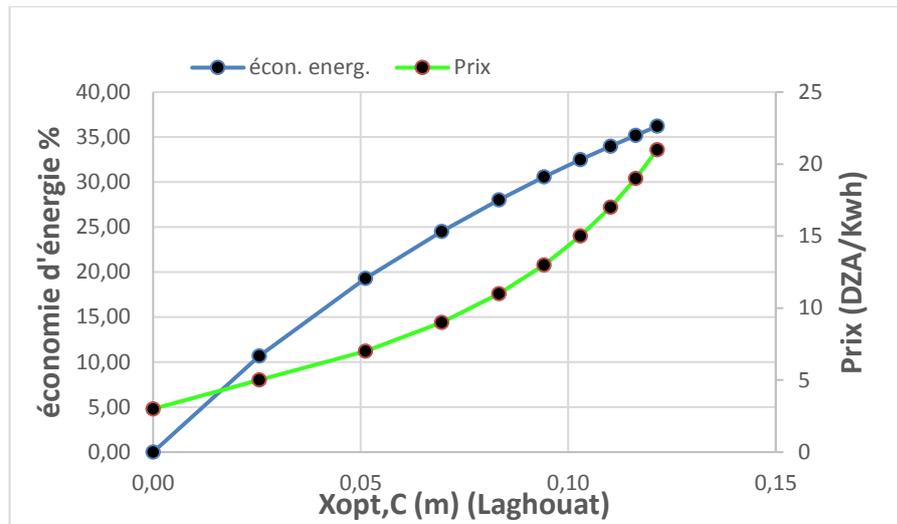


Figure III. 26 effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le prix

La figure III.26 : représente les variations de Xopt, C pour l'énergie écono et les prix : Xopt augmente de (0 à 0,13 m) La valeur de Prix augmente à 23DZA et la valeur d'écon-energ augmente à 37%. Et puisque le taux d'économie d'énergie est de plus de 35%, l'épaisseur d'isolation est seulement de 0,13 m, ce qui signifie que la zone de La Ghouat a besoin d'isolement les jours de refroidissement annuels.

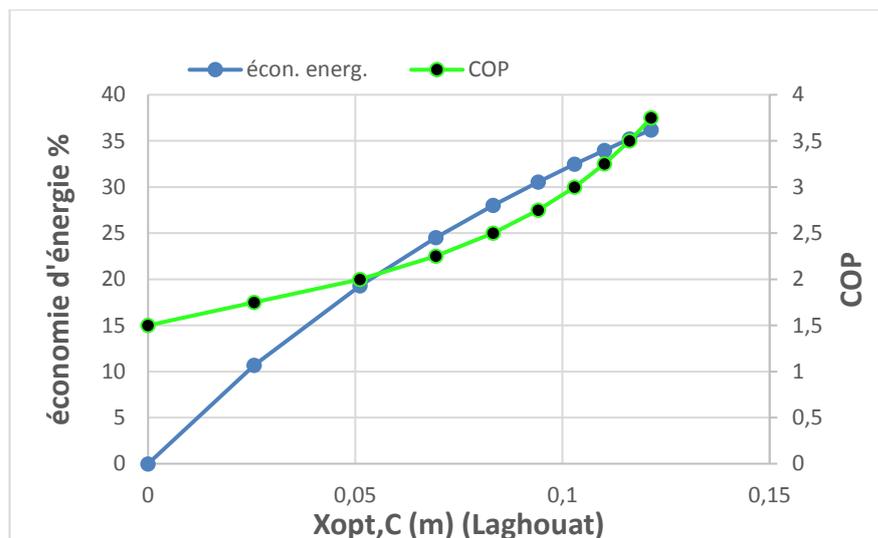


Figure III. 27 effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le Cop

La figure III.27 représente : Les changements de X_{opt} , C pour econ-energ et Cop : avec X_{opt} augmentant de (0 à 0.13m), la valeur de Cop augmente à 3.8 et la valeur d'écon-energ augmente légèrement à 37%.

L'un des facteurs les plus importants pour déterminer l'épaisseur optimale de l'isolant est qu'en augmentant l'épaisseur de l'isolant, le prix augmente, ce qui incite le coefficient de refroidissement à augmenter, ce qui permet d'économiser plus d'énergie.

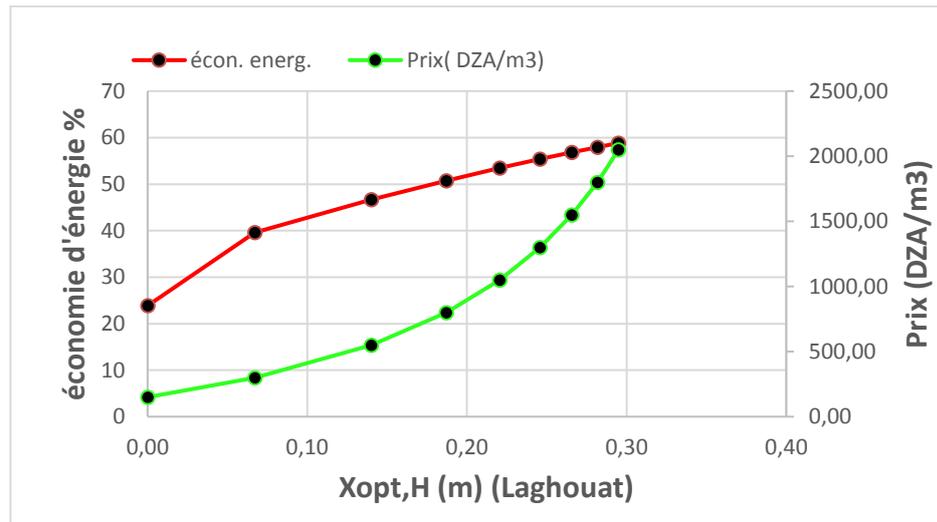


Figure III . 28 effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le prix

La figure III.28 représente : les variations de X_{opt} , H comme econ-energ et prix : avec X_{opt} passant de (0 à 0.3m), la valeur du Prix augmente à 2000DZA et la valeur de l'écon-energ augmente à une valeur maximale de 60%. Comme le taux d'économie d'énergie n'est que de 60 %, l'épaisseur de l'isolant est de 0,3 m, ce qui signifie que la région des aurores boréales doit être isolée les jours de chauffage annuels.

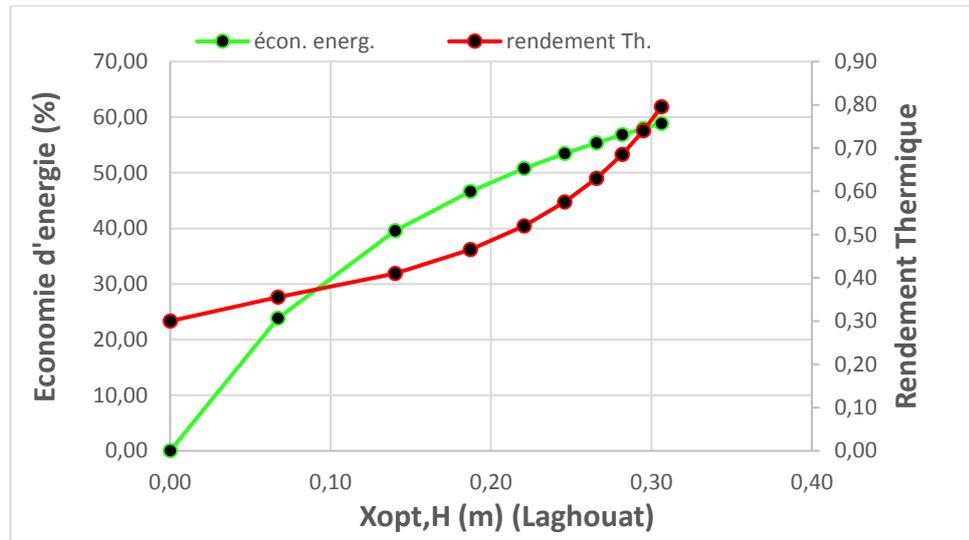


Figure III. 29 effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le Rend

La figure III.29 représente : Xopt, H, econ-energ et Rendement thermique Changements thermiques : Avec une augmentation de Xopt de (0 à 0,3m), la valeur de Rendement thermique augmente à 0,8 et la valeur la plus élevée augmente à 62%.

Les prix de l'énergie pour le chauffage sont parmi les facteurs les plus importants affectant l'épaisseur d'isolation optimale, d'où nous concluons qu'en augmentant l'épaisseur d'isolation, les augmentations de prix, qui affectent le rendement élevé, permettant des économies d'énergie positives

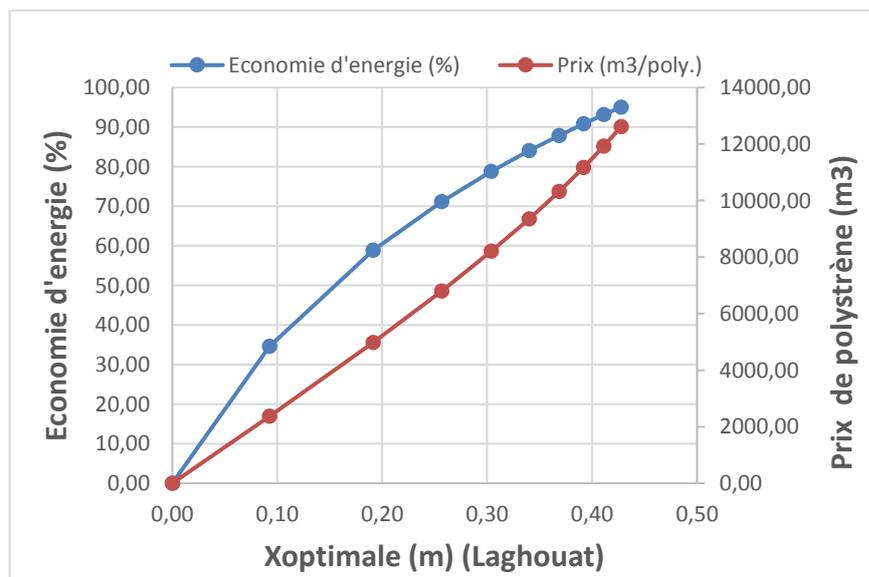


Figure III. 30 effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le prix de polystyrène

La figure III.30 : représente les changements de l' X_{opt} à l'écon-energ et le prix de polystyrène : Avec l'augmentation de X_{opt} de (0 à 0,43m), la valeur du prix de polystyrène augmente à 13000,00m³ et la valeur de l'écon-energ augmente à % 95.

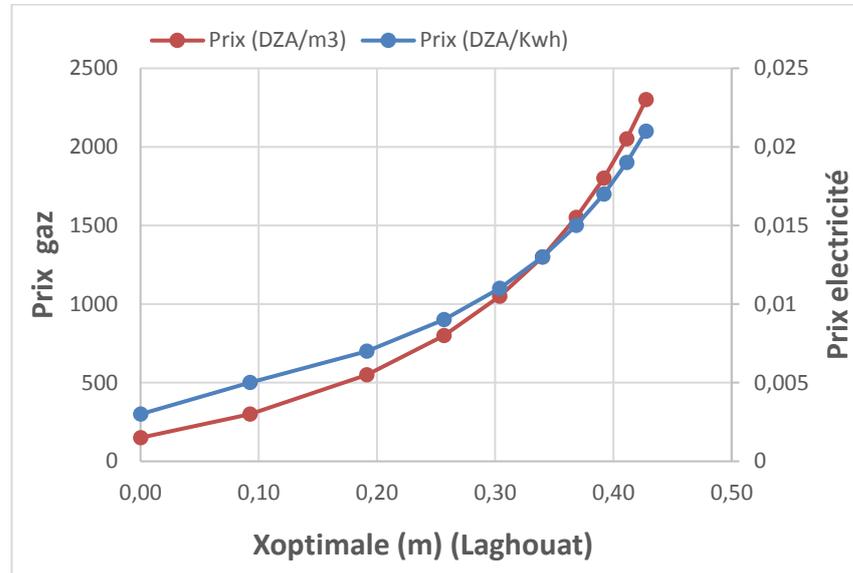


Figure III. 31 effet de l'isolation sur le prix gaz et le prix électricité

La figure III.31 : représente les changements suivants pour Prix et Prix d'électricité : avec X_{opt} qui passe de (0 à 0,43), la valeur de Prix d'électricité augmente à 0,023DZA et la valeur de Prix augmente à 2300DZA.

Les prix de l'énergie pour l'électricité et le gaz sont une condition préalable à l'optimisation de l'épaisseur d'isolation, car l'électricité est le refroidissement le plus utilisé et le gaz comme source majeure de chauffage. Et la zone de fusion consomme un peu plus de gaz que d'électricité, donc il y a plus de chauffage que de refroidissement.

III.4 .4. Zone Adrar

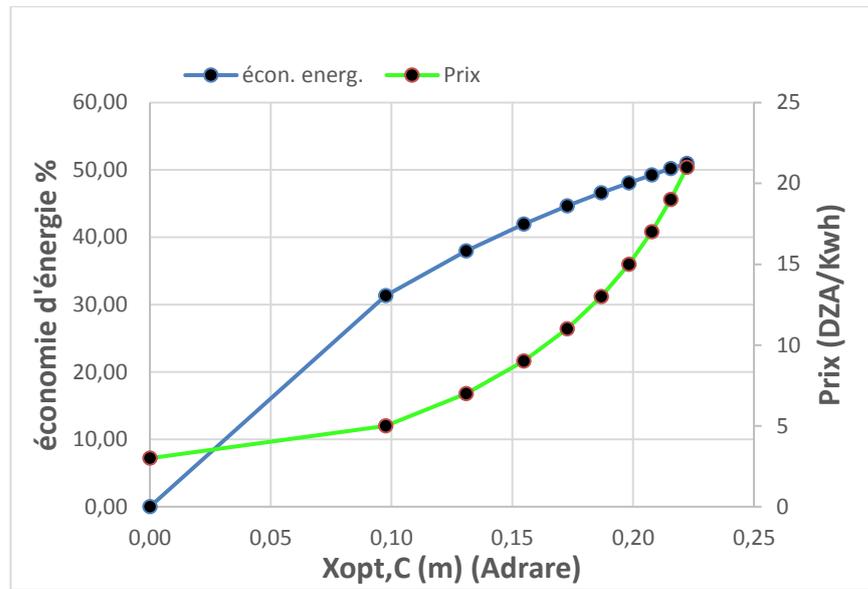


Figure III. 32 effet de l’isolation sur l’économie d’énergie et le prix

La figure III.32 : représente : Les variations de Xopt, C pour econ-energ et prix : Xopt augmente de (0 à 0,23 m) Prix augmente en valeur jusqu’à ce qu’il atteigne 22 DZA et la valeur de econ-energ augmente à 50% et puisque le rapport d’économie d’énergie dépasse 50% et l’épaisseur d’isolation est supérieure à 0,2m

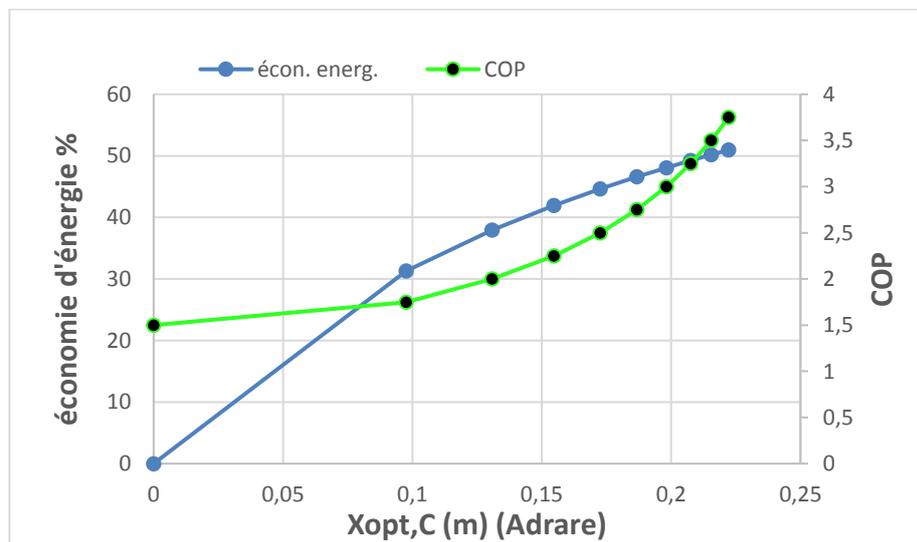


Figure III. 33 effet de l’isolation sur l’économie d’énergie et le Cop

La figure III.33 représente : Les changements de Xopt, C pour econ-energ et Cop : avec Xopt augmentant de (0 à 0.23m), la valeur de Cop augmente à 3.8 et la valeur d’écon-energ augmente légèrement à 50%.

L'un des facteurs les plus importants pour déterminer l'épaisseur optimale de l'isolant est qu'en augmentant l'épaisseur de l'isolant, le prix augmente, ce qui incite le coefficient de refroidissement à augmenter, ce qui permet d'économiser plus d'énergie.

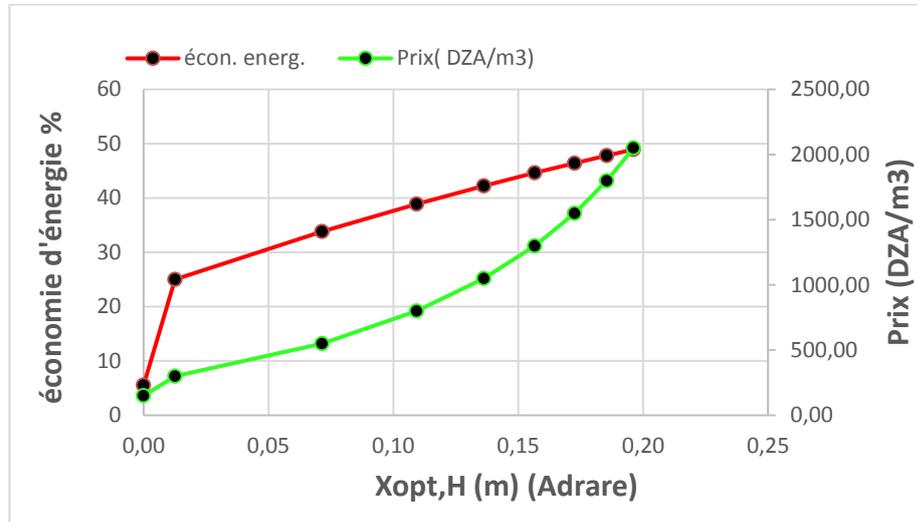


Figure III . 34 effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le prix

La figure III.34 représente : les variations de Xopt, H pour econ-energ et prix : avec Xopt augmentant de (0 à 0,2m) la valeur du Prix augmente à 2000 DZA et la valeur de l'écon-energ augmente à une valeur maximale de % 50. Les économies d'énergie étant supérieures à 45 %, l'épaisseur d'isolation peut atteindre 0,2 m, ce qui signifie que la zone d'Adrars doit être isolée les jours de chauffage annuels.

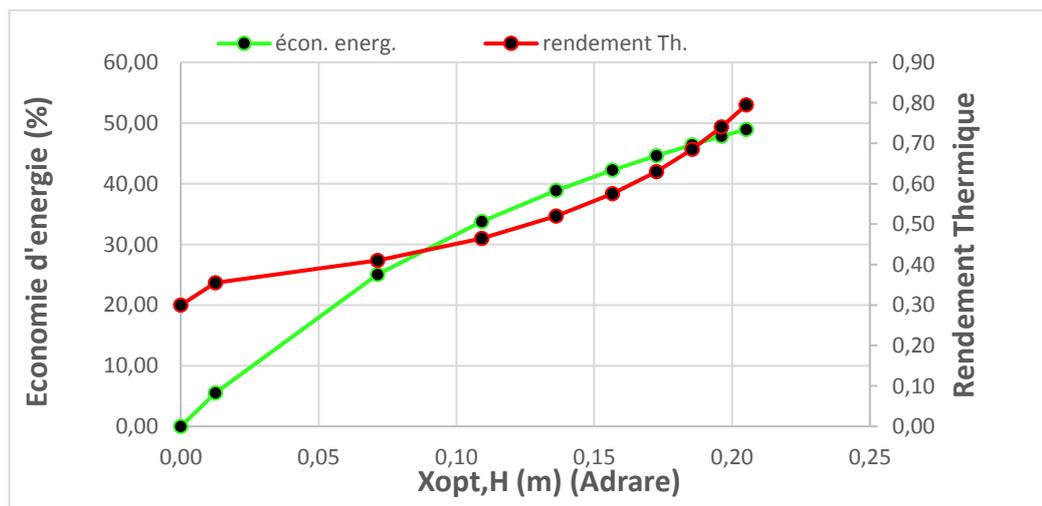


Figure III. 35 effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le Rend.

La figure III.35 représente : X_{opt} , H, econ-energ et Rendement thermique Changements thermiques : Avec une augmentation de X_{opt} de (0 à 0,2m), la valeur de Rendement thermique augmente à 0,8m, et la valeur la plus élevée augmente à % 50.

Les prix de l'énergie pour le chauffage sont parmi les facteurs les plus importants affectant l'épaisseur d'isolation optimale, d'où nous concluons qu'en augmentant l'épaisseur d'isolation, les augmentations de prix, qui affectent le rendement élevé, permettant des économies d'énergie positives.

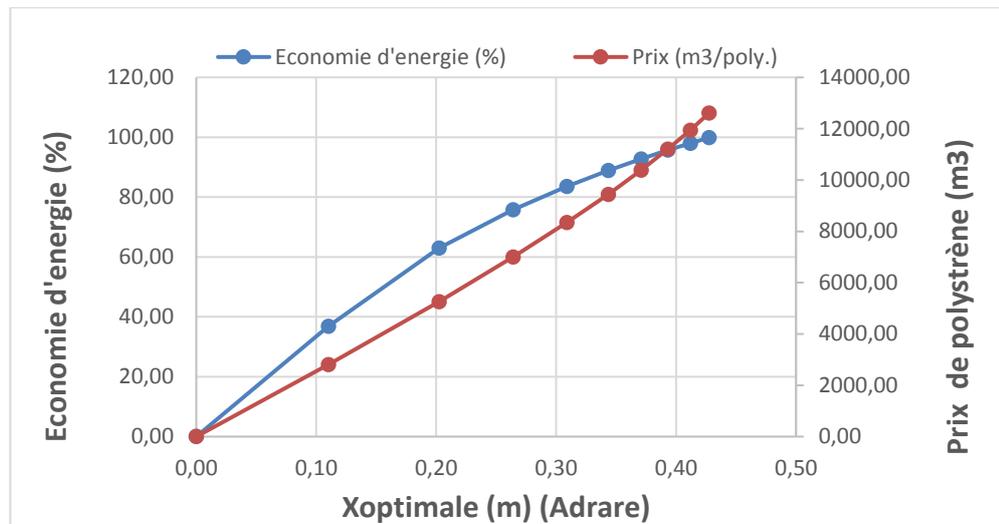


Figure III. 36 effet de l'isolation sur l'économie d'énergie et le prix de polystyrène

La figure III.36 représente les changements de l' X_{opt} à l'écon-energ et le prix de polystyrène : Avec l'augmentation de X_{opt} de (0 à 0,43m), la valeur du prix de polystyrène augmente à 13000,00 m³ et la valeur de l'écon-energ augmente à % 98.

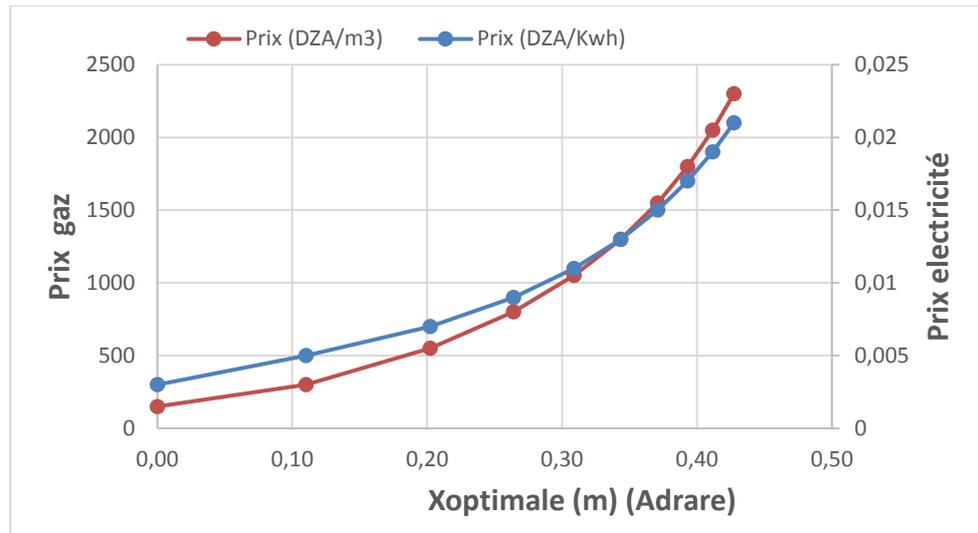


Figure III. 37 effet de l'isolation sur le prix gaz et le prix électricité

La figure III.37 : représente les changements suivants pour Prix et Prix d'électricité : avec X_{opt} qui passe de (0 à 0,43), la valeur de Prix d'électricité augmente à 0,023DZA et la valeur de Prix augmente à DZA 2300.

Énergie Les prix de l'énergie pour l'électricité et le gaz sont une condition préalable à l'optimisation de l'épaisseur d'isolation, car l'électricité est le refroidissement et le gaz les plus utilisés comme source majeure de chauffage. Et la zone d'Adrar consomme moins d'énergie de gaz que l'électricité, ce qui est plus de refroidissement que de chauffage.

Conclusion :

Cette étude a été présentée les résultats d'une analyse paramétrique réalisée sur l'effet de divers paramètres qui ont une relation mathématique avec l'épaisseur d'isolation optimale des parois extérieures en considérant une période de récupération et un coût total. Les paramètres étudiés dans la présente analyse sont les suivants respectivement, l'énergie du chauffage et du refroidissement, la durée de vie du bâtiment, les taux d'inflation et d'actualisation, le coût de matériau isolant, coût d'installation de l'isolant, coûts des sources d'énergie pour le chauffage et le refroidissement (en particulier le gaz naturel et l'électricité conventionnelle), la résistance totale de la paroi, la conductivité thermique de l'isolant et le COP.

Cette étude a également montré que les paramètres ayant le plus d'effet sur l'optimisation de l'épaisseur d'isolation thermique sont les besoins en énergie, le LT du bâtiment et le coût de l'isolation, cependant, le coût de l'électricité, la résistance des parois, la conductivité thermique de l'isolation, l'étude montre aussi que le contexte économique joue le rôle le plus important pour déterminer le choix de matériau et leur épaisseur optimale.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

L'objectif principal de cette étude est de contribuer à la conception de l'enveloppe du bâtiment. En zone aride plus, et d'optimiser le choix des facteurs affectant sur la consommation énergétique tel que le COP et le rendement, et réduire la consommation énergétique à travers les échanges thermiques avec l'environnement extérieur et trouvez la meilleure conception d'épaisseur dans les villes étudiées

L'analyse des différents résultats obtenus à partir de la simulation nous montre clairement que le prix de l'énergie et le prix de matériau d'isolation jouent le rôle le plus important, on a constaté que pour un prix faible de l'énergie (soutenue par l'état) l'isolation devenir moins important, et peut être négligeable, pour cela il faut un prix raisonnable pour le matériau isolant et de l'énergie qui permet de voir une épaisseur d'isolation raisonnable.

Afin d'assurer une bonne conception au point de vue énergétique, nous devons analyser plusieurs paramètres qu'ont lié au climat tel que CDD et HDD et d'autre ont des critères techno économique, d'après notre étude la réglementation énergétique doit être supporter la solution durable qui représente un soutien de l'installation des matériaux d'isolation une fois pour toute contre le soutien de prix de l'énergie qui provoque une consommation énorme.

En effet, nous avons montré que la solution du choix des paramètres peut réduire les besoins énergétiques pour le conditionnement d'air, ce choix et lié au particulièrement en deux facteurs, le prix de l'énergie et le cout de l'isolation, l'étude techno économique prouve que pour une bonne solution énergétique, le prix de l'isolation doit être soutenir plus que du prix de l'énergie.

Les résultats montrent que la conception énergétique peut diminuer la consommation d'énergie jusqu'à 60% et la création d'un espace de vie convenable et confortable. En effet, une bonne conception conduit à des choix d'équipement plus économique de puissance est plus petite. Nous avons également trouvé que l'utilisation d'isolant en polystyrène est une solution plus efficace qui donne les meilleurs résultats en termes d'économie d'énergie. Comme perspectives de notre travail, nous proposons de généraliser cette étude sur tout le territoire national.

Références bibliographiques

- [1] Global ABC. Bilan mondial, vers un secteur des bâtiments et de la construction à émission zéro efficace et résilient ». Troisième édition, United Nations Environment Programme. (2018).
- [2] Sources : International Energy Agency , World Energy Statistics and Balances 2018, www.iea.org/statistics et AIE Energy Technology Perspectives buildings model, www.iea.org/buildings.
- [3] IEA (International Energy Agency). Energy Efficiency 2018, OECD/IEA, Paris, www.iea.org/efficiency2018 . (Consulté le 13 Janvier 2019) (2018).
- [4] Sources: (IEA, 2018), World Energy Statistics and Balances 2018, (Husain Jafri & Bharti, 2018) www.iea.org/statistics et AIE Energy Technology Perspectives buildings model, www.iea.org/buildings.
- [5] Source :(AIE, 2018), calculs établis à partir des données d'Energy Efficiency Investment Database, www.iea.org/buildings.
- [6] Source : AIE (2018c), calculs établis à partir des données d'Energy Efficiency Policies: Buildings.
- [7] [APRUE] consommation énergétique finale de l'Algérie. Chiffres clés année 2005. Donnée et indicateurs, APRUE, Alger, 11p.(2007).
- [8] Ministère de l'énergie et des mines (Bilan énergétique national de l'année 2010) (MEN,2011).
- [9] Service SONALGAZ d'Ouargla, (2014), la consommation d'énergie d'électricité et du gaz d'Ouargla
- [10] [APRUE] « Programme d'Efficacité Énergétique en Algérie » Ministère de l'Énergie .<https://globalelectricity.org/content/uploads/Presentations-Group-1.pdf>.
- [11] APRUE. Programme de développement de l'efficacité énergétique à l'horizon 2030. (2015), Disponible sur : <http://www.aprue.org.dz/documents/prog.develop.energ-2030.pdf>
- [12] Bilan Énergétique National Année 2010, Ministère de l'Énergie Algérie, Edition(2018).
- [13] Chabane, L. Contribution méthodologique à la définition d'une procédure d'Audit énergétique dans l'habitat en Algérie, mémoire du magister, l'EPAU, Alger. (2010).

- [14] Harraoubia, I. La qualité du logement social en Algérie, regard sur les ouvrages dugros oeuvres », mémoire du master, école nationale supérieure d'architecture,Marseille,France. (2011).
- [15] Benoudjfer, et al. Etude comparative relative à l'efficacité énergétique de deux appartements situés à Bechar, Algérie, revue des énergies renouvelables, volume 15, N° 1,Alger. (2012).
- [16] BouamamaWahiba. Au sujet de la politique d'efficacité énergétique en Algérie :approche systémique pour un développement durable cas de : programme Eco-bat. Thèse de doctorat (2013).
- [17]HADDAD Abdelkrim, Transferts thermiques un cours de base pour les étudiants en cycle de graduation avec plus de 100 problèmes et exercices, Texte imprimé, Alger 2001
- [18] P. Latif et M. Jiji, Heat Conduction, New York.
- [19] <https://energie2maison.wordpress.com/2011/01/18/calculer-flux-thermique/>
- [20] CLONED J., « Les matériaux isolantes thermiques pour le bâtiment », Centre d'animation régional en matériaux avancé, Mai 2010.
- [21] HAKKOUM Soumia, « Etude des caractéristiques thermiques et mécaniques des briques en terre cuite traditionnelles dans les régions de la wilaya de Ouargla », Mémoire de Magister, Université de Ouargla 2015
- [22] HOLLAERT, Laurie « Analyse de la rentabilité financière et des avantages liés à l'isolation thermique : étude de cas adaptés au modèle belge » Mémoire de Master, Université libre de Bruxelles 2014.
- [23] Mazari, M. Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public/ Cas du département d'Architecture de Tamda (Tizi ousou), mémoire de magistère, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou. 2012.
- [24] Dr. Mohammad S. Al-Homoud, "Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials," Building and Environment, vol. 40, pp. 353-366, 2005
- [25] Guide technique « Guide des matériaux isolants », énergienvie.info

- [26] LEMTENNECHE ABDALLAH et BOUGUENNOUR TAREK, Etude expérimentale des transferts thermiques dans un local muni d'un isolant à base végétale, Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2017
- [27] Hafssi_fouad, Contribution à l'étude de l'isolation thermique des bâtiments dans les zones désertiques. Mémoire de Magister, Université d'Ouargla, 2010
- [28]<https://conseils-thermiques.org/contenu/laine-de-bois.php>
- [29] "Guide des matériaux isolants," Espace info: Energie C.A.U.E. de la Haute-Loire, 16 rue Jean Solvain, 43000 Le Puy En Velay. www.eie43.fr
- [30] https://www.caue77.fr/architecture-et-patrimoine/le-beton-de-chanvre_13
- [31] <https://deavita.fr/design-interieur/difference-laine-verre-laine-roche/>
- [32]<https://www.megastructures.fr/isolation-interieure-ou-exterieure-que-choisir/>
- [33]Khalid, Eltahir."Optimum Thermal Insulation Thickness for Building Under Different Climate Regions-A Review" 59 (2019) 254-268

Annexes

Table 1: Fréquence de Température à Bayadh

Température	Fréquence (h)						
-1	56	11	371	23	244	35	61
0	74	12	340	24	229	36	36
1	113	13	321	25	233	37	09
2	165	14	317	26	235	38	04
3	234	15	301	27	187	39	00
4	281	16	295	28	171	40	00
5	308	17	291	29	136	41	00
6	319	18	291	30	129	42	00
7	340	19	272	31	135	43	00
8	383	20	277	32	109	44	00
9	366	21	263	33	100	45	00
10	356	22	260	34	83	46	00

Table 3: Fréquence de Température à La Ghouat

Température	Fréquence (h)						
-1	0	11	319	23	282	35	177
0	2	12	335	24	305	36	149
1	10	13	332	25	249	37	126
2	16	14	352	26	273	38	91
3	28	15	317	27	257	39	63
4	53	16	330	28	262	40	54
5	95	17	323	29	258	41	41
6	139	18	302	30	243	42	08
7	170	19	305	31	244	43	05
8	234	20	288	32	200	44	03
9	277	21	289	33	190	45	00
10	307	22	290	34	167	46	00

Table 2: Fréquence de Température à Ouargla

Température	Fréquence (h)						
-1	0	11	249	23	295	35	196
0	5	12	257	24	288	36	178
1	10	13	285	25	278	37	146
2	26	14	320	26	272	38	128
3	39	15	311	27	289	39	110
4	63	16	286	28	273	40	92
5	72	17	293	29	267	41	64
6	123	18	305	30	243	42	58
7	153	19	280	31	253	43	44
8	176	20	276	32	245	44	35
9	226	21	275	33	233	45	15
10	230	22	292	34	202	46	4

Table 4: Fréquence de Température à Adrar

Température	Fréquence (h)	Température	Fréquence (h)	Température	Fréquence (h)	Température	Fréquence (h)
-1	00	11	155	23	264	35	232
0	00	12	192	24	293	36	233
1	01	13	196	25	290	37	197
2	03	14	222	26	284	38	193
3	05	15	240	27	289	39	202
4	10	16	233	28	305	40	180
5	19	17	265	29	312	41	164
6	36	18	253	30	308	42	155
7	55	19	269	31	336	43	138
8	84	20	278	32	393	44	83
9	105	21	294	33	281	45	81
10	137	22	284	34	265	46	37