

# Effacité énergétique des bâtiments résidentiels en Tunisie : Étude des cas

Rahma Ben Amor<sup>#1</sup>, Naima Guedich<sup>\*2</sup>

<sup>#</sup>*Département Génie Civil, Institut Supérieur des Études Technologiques de Nabeul, campus universitaire Mrezgua Nabeul, Tunisie*

<sup>1</sup>rahmabenamor@gmail.com

<sup>\*</sup>*Département Génie Civil, Institut Supérieur des Études Technologiques de Sfax, route mahdia km 2.5 Sfax, Tunisie*

<sup>2</sup>naima.guedich@hotmail.fr

**Résumé**— En Tunisie l'évolution du bilan énergétique a été marquée par la détérioration du solde et l'augmentation de la consommation d'énergie. Le secteur bâtiment et surtout les logements sont fortement concernés puisqu'ils représentent un grand gisement d'économie. L'enjeu consiste à maîtriser les besoins en énergie pour réduire les rejets polluants, notamment de CO<sub>2</sub>. Face à ce contexte une stratégie nationale de maîtrise de l'énergie a été élaborée, parmi ces orientations la réduction des besoins par l'amélioration de la qualité thermique de l'enveloppe du bâtiment. Pour pouvoir réaliser des économies il faut pouvoir prédire le flux d'énergie, afin d'agir où les mesures d'économie d'énergie seront les plus efficaces et qui permettent d'offrir un confort élevé et une qualité meilleure d'environnement. Cette étude a été élaborée dans ce cadre, elle a pour but d'étudier l'effet de l'isolation dans la réduction des déperditions énergétiques et par la suite réduction des émissions des gaz toxiques.

L'objectif de ce travail est d'étudier les différentes résidences qui présentent des différentes orientations et spécifications architecturales pour mettre en évidence l'économie d'énergie réalisée.

Pour vérifier la conformité de ces bâtiments vis à vis du règlement tunisien, une étude thermique sera présentée. Le résultat est comparé par rapport à un référentiel thermique qui constitue une performance énergétique minimale au-delà de laquelle le projet étudié doit se situer pour être réglementaire.

**Mots clés** — économie d'énergie, bâtiments à usage résidentiel, consommation d'énergie, isolation, Règlement tunisien, gaz toxiques, protection de l'environnement.

## I. INTRODUCTION

Aujourd'hui, l'énergie est un enjeu planétaire, tant en termes d'effet de serre que de raréfaction des ressources, ce qui a des impacts politiques et économiques aux niveaux régional, national et international.

En dépit d'une production d'hydrocarbures relativement faible, le secteur de l'énergie a joué un rôle important dans le développement économique et social de la Tunisie. Le bilan énergétique a évolué d'une situation excédentaire vers un équilibre entre l'offre et la demande d'énergie voir vers un déficit qui devrait s'accroître dans les années à venir. L'évolution sectorielle de la consommation finale des énergies commerciales publiées par l'Observatoire National d'énergie

permet de conclure que le taux de croissance de la part énergétique du secteur du bâtiment dépassera le taux de croissance de la consommation totale à l'horizon 2030 [1].

Pour faire face à cette situation l'autorité tunisienne a mis en place une politique énergétique compatible avec un développement viable du pays basé sur la maîtrise de l'énergie dans tous les secteurs.

Afin de réaliser réellement des économies d'énergie des arrêtés fixant la performance énergétique minimale dans le secteur tertiaire et résidentiel ont été mis en œuvre. Les bâtiments à usage résidentiel sont concernés par l'arrêté du 1er juin 2009 qui fixe les spécifications techniques minimales de maîtrise de l'énergie. Le permis de bâtir n'est accordé que si le bâtiment ou l'extension répondent aux exigences minimales de consommation de l'énergie [2].

Ce travail s'inscrit dans ce cadre, il a pour objectif d'étudier la performance thermique des bâtiments à usage résidentiel, il comporte quatre principales parties. Le but de la première est de décrire la situation énergétique de la Tunisie, la deuxième explique la démarche adoptée. La troisième fournit une analyse et une interprétation des résultats trouvés des cas étudiés. La dernière partie présente une conclusion avec des recommandations concernant cette étude.

## II. DEMARCHE ADOPTEE

L'enveloppe thermique d'un bâtiment est la surface qui sépare le volume intérieur chauffé du bâtiment de l'environnement extérieur. C'est autour de cette enveloppe qu'opèrent les échanges de chaleur qui influenceront sur les besoins de chauffage ou de rafraîchissement du bâtiment. Les sources de déperditions thermiques dans un bâtiment sont multiples, ils sont estimés aux portions suivants : Murs 25%, fenêtre 13%, toiture 30%, ponts thermiques 5%, sol 3%, [3].

La toiture, les murs et les fenêtres représentent les principales sources de déperditions ainsi une bonne isolation des parois et du vitrage permet de réduire d'une façon significative les pertes d'énergie causées par ces parties.

La démarche adoptée dans cette étude, est décomposée en trois phases distinctes :

On commencera par un calcul des déperditions, le calcul est élaboré selon les deux combinaisons suivantes :

- Bâtiment simple sans isolation (double cloison avec lame d'air + simple vitrage + plancher sans isolant)
- Bâtiment avec isolation (double cloison avec isolant + double vitrage + plancher avec isolant).

Dans le but de démontrer l'intérêt de l'insertion de l'isolant dans les différents éléments d'une structure et son efficacité dans la réalisation des économies.

On vérifie par la suite la conformité des cas étudiés par rapport à la réglementation tunisienne en étudiant leurs performances énergétiques. L'étude thermique est élaborée en utilisant un logiciel de simulation numérique « CLIP », le principe de la simulation est de diviser le bâtiment en éléments simples murs, planchers et vitrage.

Le logiciel permet de situer dans chaque cas, la consommation énergétique du bâtiment par rapport à la réglementation thermique tunisienne et de donner la classe de consommation.

#### A. Description des cas étudiés

##### 1) Aspect architectural

###### Cas 1

Le bâtiment étudié est situé à Sfax, il est constitué d'un simple rez-de-chaussée et d'un étage dont la façade principale est orientée Sud - Ouest. La superficie habitable de chacun est d'environ 163 m<sup>2</sup>. Le bâtiment comporte 4 façades exposées au vent, chacune est constituée par des murs extérieurs et des fenêtres. La figure 1 représente les façades Sud - Ouest et Nord - East du cas d'étude choisi.



Fig. 1. Façades Sud - Ouest et Nord - East du premier cas.

###### Cas 2

Le deuxième bâtiment étudié est situé encore à Sfax, le choix d'avoir les deux bâtiments dans la même région est pour avoir le même climat ainsi pouvoir comparer les résultats trouvés. Le choix de la région est justifié par son emplacement au sud tunisien connu par des températures élevées en été et des températures relativement faibles en hiver. Le bâtiment étudié est constitué d'un simple rez-de-chaussée et d'un étage. La superficie habitable de chaque niveau est d'environ 151 m<sup>2</sup>. Le bâtiment comporte également 4 façades exposées au vent.

La figure 2 représente les façades Sud-Est et Nord-Est du cas d'étude choisi.

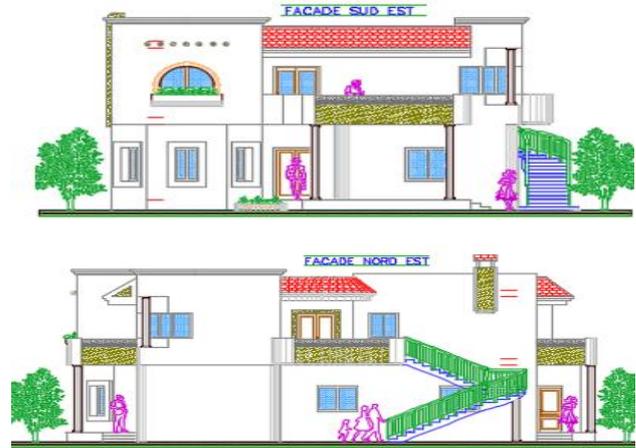


Fig. 2. Façades Sud-Est et Nord-Est du deuxième cas.

##### 2) Caractéristiques thermo -physique de l'enveloppe du bâtiment :

La description de la composition des différentes parois du bâtiment est effectuée de l'extérieur vers l'intérieur. On se propose également d'identifier le coefficient de transmission thermique U.

###### Cas 1

Combinaison 1 : (sans isolation)

- Parois

-Murs extérieurs : ils sont formés en double cloison d'épaisseur 40 cm. Les caractéristiques de différentes couches constituant les murs extérieurs sont données dans le tableau 1.

TABLEAU I  
COMPOSITION DES MURS EXTERIEURS.

Matériaux	Enduit de mortier	Briques de 12 sur chant	lame d'air	Briques de 8 sur chant	Enduit de mortier
Épaisseur e (cm)	2.5	20	5	11	1.5
Conductivité (W/mK)	1.15	0.471	0.3	0.471	1.15

Le coefficient de transmission thermique des murs est égal à 0.97W/m<sup>2</sup>K avec un coefficient de transfert convectif de 9.09 W/m<sup>2</sup>K pour la face interne et de 16.66 W/m<sup>2</sup>K pour la face externe [4].

-Le plancher haut terrasse : Il est accessible et possède la même surface du plancher haut rez-de-chaussée. Les épaisseurs et la conductivité thermique de différentes couches sont présentés par le tableau 2.

TABLEAU II  
COMPOSITION DU PLANCHER HAUT TERRASSE.

Matériaux	Épaisseur e (cm)	Conductivité (W/mK)
Carrelage	3	0.47
Mortier	2.5	1.15
Lit de sable	2	0.33
Étanchéité	0.4	0.23
Enduit de ravaillage	1	1.15
Béton	15	1.75
Corps creux	16	0.94
Mortier	2	1.15

Le coefficient de transmission thermique du plancher est égal à 1.48 W/m<sup>2</sup>K avec un coefficient de transfert convectif interne de 5.88 W/m<sup>2</sup>K et externe de 16.66 W/m<sup>2</sup>K [4].

- Vitrage

-Les fenêtres : Elles sont coulissantes, en menuiseries aluminium avec volet, en simple vitrage clair de 6mm d'épaisseur et de coefficient de transmission U = 6,172 W/m<sup>2</sup>K et de facteur solaire SC = 0,95 [4].

Combinaison 2 : (avec isolation)

- Parois

-Murs extérieurs : ils sont formés en double cloison d'épaisseur 40 cm tel que la lame d'air est remplacée par la laine de roche de conductivité thermique 0.041 W/mK. L'intercalation de cette couche d'isolant a permis de baisser le coefficient de transmission des murs extérieurs à une valeur de 0.48W/m<sup>2</sup>K.

-Le plancher haut terrasse : Il comporte les mêmes couches avec ajout d'une couche de polystyrène extrudé de conductivité thermique 0.037 W/mK et d'épaisseur 6 cm. La nouvelle valeur du coefficient de transmission de la toiture obtenue est U = 0.43W/m<sup>2</sup>K.

- Vitrage

-Les fenêtres : Elles sont coulissantes, avec menuiseries aluminium, en double vitrage constituées par 2 couches de verre de 6 mm séparées par une lame d'air de 8 mm. Le coefficient de transmission U = 3.163 W/m<sup>2</sup>K.

Cas 2

Combinaison 1 : (sans isolation)

Le deuxième cas étudié comporte la même composition pour le plancher et le même type de vitrage, les murs extérieurs se différencient uniquement par leurs épaisseurs de 35 cm ou lieu de 40 cm et par la nature de l'enduit intérieur. Les caractéristiques de différentes couches constituant les murs extérieurs sont données dans le tableau 3.

TABLEAU III.  
COMPOSITION DES MURS EXTERIEURS.

Matériaux	Enduit de plâtre	Briques de 12 sur chant	lame d'air	Briques plâtrières	Enduit de mortier
Épaisseur e (cm)	1	20	5	6.5	2.5
Conductivité (W/mK)	0.35	0.471	0.3	0.471	1.15

Le coefficient de transmission thermique des murs est égal à 1.05 W/m<sup>2</sup>K avec les mêmes coefficients de transfert convectif intérieur et extérieur que le premier cas étudié.

Combinaison 2 : (avec isolation)

L'insertion de la laine de roche de conductivité thermique 0.041 W/mK dans la double cloison a permis d'obtenir un coefficient de transmission de 0.50 W/m<sup>2</sup>K.

### III. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

#### A. Méthode de calcul de déperditions

Le flux dissipé est calculé en régime continu indépendamment du système de chauffage il comprend :

- Le flux par transmission à travers les parois
- Le flux par renouvellement d'air
- Le flux par transmission linéique entre les parois

Hypothèses :

- On néglige les déperditions par le sol
- On estime le flux linéique à une valeur de 10% du flux total

#### B. Résultats

##### 1) Isolation

Les résultats montrent qu'on peut économiser une quantité significative d'énergie en isolant les parois et en utilisant le double vitrage.

##### Cas 1

Le tableau 4 présente les valeurs de flux dissipé avant et après l'isolation, pour tout le bâtiment, on peut atteindre un pourcentage de réduction moyen de 45.7%.

TABLEAU IV  
DEPERDITIONS AVEC ET SANS ISOLATION POUR LE PREMIER CAS

	Flux sans isolation (W)	Flux avec isolation (W)	Gain réalisé (%)
RDC	7082.4	4117.72	41.8
Étage	10315.29	5175.11	49.7%

##### Cas 2

Pour le deuxième cas d'étude la valeur moyenne du gain réalisé par rapport à un bâtiment simple non isolé est égale à 43.9%, le tableau 5 illustre les différentes valeurs trouvées.

TABLEAU V  
DEPERDITIONS AVEC ET SANS ISOLATION POUR LE DEUXIEME CAS.

	Flux sans isolation (W)	Flux avec isolation (W)	Gain réalisé (%)
RDC	6177.26	3716.19	39.8 %
Étage	9625.44	4987.23	48.18 %

Les résultats illustrés sur les figures 3 et 4 aident à présenter d'une façon plus claire les résultats trouvés.

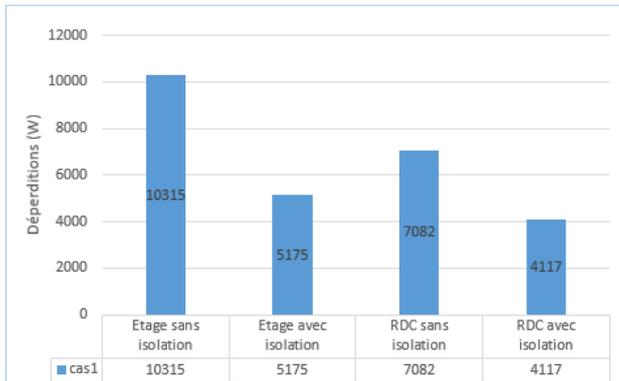


Fig. 3. Représentation graphique des résultats des déperditions pour le premier cas.

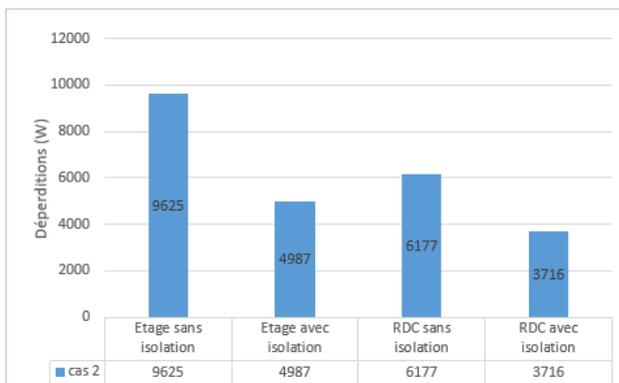


Fig. 4. Représentation graphique des résultats des déperditions pour le deuxième cas.

## 2) Étude énergétique

Le logiciel de simulation numérique « CLIP » permet de fournir les besoins énergétiques annuels liés au confort thermique des bâtiments étudiés. Le calcul se fait en déterminant les besoins énergétiques annuels pour le chauffage sur la période d'hiver pour une température intérieure de base de 20°C (BECh) et des besoins énergétiques annuels pour le refroidissement sur la période d'été pour une température intérieure de base de 26°C (BERef) [2].

Les bâtiments doivent répondre aux performances thermiques des classes 1 à 5 pour être réglementaires.

En calculant les besoins énergétiques annuels pour chaque cas avant l'application de l'isolation, on obtient les résultats mentionnés dans le tableau 6.

TABLE VI  
BESOINS ENERGETIQUES DU BATIMENT AVANT ISOLATION.

Cas étudiés	BECh [kWh/an]	BERef [kWh/an]	besoins annuels [kWh/(m2.an)]	Classe énergétique
Cas 1	39	60	99	Classe 8
Cas 2	40	45	85	Classe 7

Les résultats obtenus montrent que la consommation dépasse la classe 5 pour les deux cas d'étude, ainsi le permis de bâtir n'est pas accordé. L'application de l'isolation apparaît

nécessaire afin d'améliorer l'ambiance thermique des bâtiments.

Le tableau 7 montre les résultats obtenus pour les deux cas après l'isolation des parois et l'utilisation du double vitrage.

TABLEAU VII  
BESOINS ENERGETIQUES DU BATIMENT APRES ISOLATION.

Cas étudiés	BECh [kWh/an]	BERef [kWh/an]	besoins annuels [kWh/(m2.an)]	Classe énergétique
Cas 1	25	35	60	Classe 5
Cas 2	24	29	53	Classe 5

La consommation passe de la 8ème classe à la 5ème classe pour le premier cas et du 7ème classe à la 5ème classe pour le deuxième cas ainsi le permis de bâtir peut-être accordé pour les deux bâtiments après l'isolation.

### C. Interprétation

La valeur du gain réalisé pour le RDC et l'étage pour les deux cas étudiés est proche de 50 % qui est une valeur considérable permettant une économie de presque la moitié de la facture de chauffage et une amélioration du confort dans le bâtiment.

La différence de consommation énergétique et du gain réalisé entre les deux niveaux du bâtiment pour les deux cas étudiés est due à plusieurs causes :

- La toiture du premier étage est en contact direct avec le milieu extérieur, elle est ainsi exposée à des variations importantes de températures selon la saison, ce qui explique les déperditions de chaleur importantes en hiver et la réception d'un taux élevé des apports solaire indésirable durant l'été.

- La toiture du rez-de-chaussée est adjacente au premier étage ce qui va minimiser les déperditions thermiques et les apports thermiques indésirables.

- D'après l'étude énergétique on peut affirmer que les deux cas d'étude présentent une consommation élevée ce qui justifie l'obtention des classes 7 et 8.

- L'implantation du bâtiment ainsi que son enveloppe thermique influencent énormément la quantité d'énergie consommée, les bâtiments étudiés sont entourés de leurs différents cotés par le milieu extérieur ce qui a accentué les transferts thermiques et a augmenté par la suite les besoins annuels de chauffage et de climatisation donc des rejets polluants.

- Les valeurs du gain trouvés pour les deux cas étudiés sont proches cela est dû aux surfaces rapprochées, à la même qualité thermique de l'enveloppe, à la non mitoyenneté de deux bâtiments et à la localisation dans la même région, la légère différence de consommation trouvée pour le premier cas est justifiée par son architecture caractérisée par une distribution importante des baies vitrées, le pourcentage du taux global des baies vitrées est égal à 15% par rapport à 10% pour le deuxième cas.

- Bien que les fenêtres sont nécessaires dans un bâtiment pour l'aération et pour bénéficier des apports solaires elles constituent un véritable gouffre énergétique en hiver.

- Durant l'été, Les baies vitrées de l'étage sont exposées à un taux de rayonnement plus important qu'en RDC. L'application des protections solaires sur les surfaces vitrées non protégées, l'utilisation des menuiseries en bois au lieu des menuiseries métalliques et des vitrages peu émissifs est recommandée pour diminuer le taux de rayonnement solaire indésirable pénétrant dans le bâtiment pendant l'été [5].

- Il est aussi recommandé de différencier les façades en essayant d'avoir des façades orientées direction sud vue ses avantages hiver comme été.

- La comparaison entre les deux cas choisis permet de tirer une économie importante d'énergie, cette économie varie selon la mitoyenneté qui favorisera la réduction des surfaces de déperditions permettant ainsi de minimiser les déperditions.

#### IV. CONCLUSION

Le travail élaboré a présenté dans sa première partie l'intérêt de l'isolation dans la réduction de la consommation énergétique, d'après les résultats trouvés on peut tirer que l'installation d'isolant permet d'offrir des économies financières et de protéger l'environnement puisque la réduction de la consommation énergétique implique la réduction de l'émission des gaz toxiques. L'isolation permet encore d'offrir des garanties de performance et de qualité d'usage, de sécurité ou encore de solidité.

Bien que le coût de l'isolation du bâtiment est important mais du côté rendement énergétique et économique, cela va permettre de réaliser des gains importants de la consommation d'énergie à long terme [6][7].

Cet exemple reflète l'état de deux bâtiments, imaginons le gain d'énergie qu'on peut assurer, à long terme.

En Tunisie, l'étude de performance énergétique des bâtiments à usage résidentiel a pour but d'assurer une utilisation rationnelle de l'énergie dans le bâtiment. Pour obtenir un bâtiment peu énergivore les efforts doivent commencer dès la phase de conception d'une part par une conception soignée, d'autre part par la recherche des apports gratuits qui sont des sources de chaleur autres que le chauffage tels que les apports solaires.

#### REFERENCES

- [1] Observatoire National d'énergie, Décembre, 2014.
- [2] Journal Officiel de la République Tunisienne, Arrêté du 1er juin 2009 concernant la réglementation thermique des bâtiments en Tunisie.
- [3] C. Inard, P. Depecker et J. Roux, "Un Modèle Simplifié pour la Prédiction du Champ de Température dans les Bâtiments, *Revue Générale de Thermique*", Vol. 36, N°2, pp. 113 - 123, 1997.
- [4] Agence nationale pour la maîtrise de l'énergie, "guide pratique de conception de logements économes en énergie", 2004.
- [5] A. Fakhreddine, L. Dahmani, "Etude de l'efficacité énergétique d'un bâtiment multizone dans la région de Tunis", 2012.
- [6] F.F. Al-Ajmi and V.I. Hanby, "Simulation of Energy Consumption for Kuwaiti Domestic Buildings, *Energy and Buildings*", Vol. 40, N°6, pp. 1101 – 1109, 2008.
- [7] N. Bouacha 1 and L. Zeghradnia, "L'isolation dans les projets de bâtiments entre le choix et l'exigence", 2012.