

La réhabilitation thermique. Une opportunité pour le développement durable en Algérie

Nassima KADRI*
Abderrahmane MOKHTARI**

Introduction

Compte tenu de notre mode de développement qui produisait massivement des gaz à effet de serre (GES) dus à la concentration massive des activités en ville, les déplacements automobiles, le rejet de gaz polluants (CO₂) par l'industrie et les équipements domestiques (le chauffage). Le concept du développement durable est venu comme un antidote à tous nos maux urbains permettant la maintenance de l'équilibre des écosystèmes de la planète, préservant les énergies fossiles épuisables et favorisant les énergies renouvelables.

D'autre part, l'acte d'aménager et de construire est un acte ayant un fort impact sur l'environnement, gourmand en énergie fossile et grand émetteur du CO₂. Le secteur résidentiel et tertiaire en Algérie se trouve parmi les plus énergivores avec une consommation de 41 % de l'énergie finale¹.

Ainsi, qu'avec le boom colossal qu'a connu l'Algérie ces dernières années en matière de constructions résidentielles notamment le programme quinquennal 2005-2009 qui prévoit un million de logements et dont la quantité a failli à la qualité², le développement de ces logements s'est nécessairement accompagné d'un croisement important des besoins énergétiques en matière de chauffage, de climatisation et d'électricité ; car la généralisation d'un nouveau confort moderne repose sur une grande consommation d'électricité, et ce qui a engendré alors des coupures d'électricité dans les heures de pointe dues à la consommation maximale.

* Architecte, étudiante en magister

** Maître de conférences

¹ Ministère de l'Énergie et des Mines, « Consommation Énergétique Finale de l'Algérie chiffre clé année 2005 », in *APRUE données et indicateurs*, [en ligne], 2007, téléchargé sur le site : <http://www.aprue.org.dz/documents/consommation-energetique.pdf> le 17/05/2009

² Meghraoui Chouguiat, Nacira, *Quel habitat pour l'Algérie*, Constantine, éd Média-Plus, 2006.

Cela est dû principalement à l'ignorance de la dimension climatique lors de la conception des bâtiments et l'absence de la réglementation thermique qui nécessite une vulgarisation auprès des hommes de l'art³. Et par conséquent, nos logements sont hyper consommateurs : très froids en hivers et très chauds en été.

Dans cette perspective, et pour améliorer le confort thermique et diminuer la consommation d'énergie, la réhabilitation thermique de l'enveloppe du bâti est considérée dans cette étude comme une opportunité afin de répondre mieux aux exigences du confort actuel.

Qu'est-ce que la réhabilitation thermique ?

D'après Pascale Joffroy⁴, la réhabilitation est définie comme étant l'action d'améliorer un édifice en conservant sa fonction principale et en prolongeant sa durée de vie. En fait, elle ne concerne pas que le patrimoine historique connu mais aussi le patrimoine immobilier ordinaire méconnu, c'est à dire des bâtiments sans qualités auxquels ils faudrait en donner.

De cette définition, la réhabilitation thermique du bâtiment correspond donc à l'amélioration de l'édifice notamment son enveloppe car elle constitue un échangeur thermique entre l'intérieur et l'extérieur⁵. Elle consiste à des modifications légères comme l'ajout par exemple de l'isolation par l'extérieur, le changement des fenêtres....etc ou lourdes telles que l'isolation par l'intérieur, le réaménagement du plan du logement selon la trajectoire du soleil....., ainsi que l'ajout d'une partie neuve comme les serres ou les vérandas.

Les techniques de réhabilitation thermique

Les points traités lors de la réhabilitation thermique de l'enveloppe du bâti sont :

1. L'isolation thermique

Le choix de la technique d'isolation dépend de la main d'œuvre qualifiée, du coût de réalisation, de la zone climatique ainsi que le besoin du confort de l'occupant. Elle se fait soit :

³ Dali, Kamel, « Mise en application de la réglementation thermique », in *APRUE la lettre*, N°10 décembre 2006.

⁴ Joffroy, Pascale, *la réhabilitation des bâtiments : conserver, améliorer, restructurer les logements et les équipements*, Paris, éd le moniteur, 1999.

⁵ Alexandroff, Georges et Jeanne- Marie, *Architectures et climats: soleil et énergies naturelles dans l'habitat*, éd Berger-Levrault, 1982.

• **A l'intérieur** de l'enveloppe du bâti par des cloisons de doublage maçonnées recouvertes d'un enduit en plâtre, ou par un complexe collé constitué de matériaux isolants collés à une plaque de plâtre... Ce type d'isolation réduit la surface habitable et augmente les déperditions linéiques à travers les ponts thermiques.

• **A l'extérieur** de l'enveloppe : L'isolation extérieure dite aussi "mur monteau" est généralement appliquée pour la réhabilitation des immeubles de grandes dimensions et dans des sites occupés. Le système d'isolation comprend un isolant appliqué directement sur le mur et une peau extérieure qui protège l'isolant et la paroi des variations climatiques. Elle augmente l'inertie thermique de l'enveloppe et réduit les déperditions à travers ses liaisons.

2. Les Fenêtres

Elles sont les plus vulnérables aux déperditions thermiques. Leur amélioration thermique permet une économie d'énergie de l'ordre de 10 à 15%⁶. Parmi les techniques utilisées, on trouve :

• **Le survitrage** : il s'agit de rapporter un second vitrage sur les ouvrants d'une fenêtre existante.

• **Le double vitrage** : ce vitrage isolant est constitué de deux feuilles de verre ménageant entre eux une lame d'air déshydratée de 6 à 12 mm d'épaisseur.

• **Le vitrage à isolation renforcée VIR** : il est constitué généralement de deux lames de verre enfermant un gaz inerte « argon » dont la surface extérieure de la vitre intérieure est revêtue d'un film peu émissif réfléchissant le rayonnement infrarouge.

• **La double fenêtre** : cette opération consiste à placer une deuxième fenêtre soit en avant ou en arrière de la fenêtre existante (selon sa position par rapport au mur).

3. La surface vitrée

Les vitrages dans une construction sont une nécessité, source d'agrément, de confort et de lumière. Ils sont souvent la source d'un déficit thermique important lorsqu'ils sont faits sans tenir en compte de la quantité de chaleur qu'ils peuvent recevoir du soleil. Pour cela leur dimensionnement est défini en fonction de l'orientation, de la surface du plancher et la latitude du site.

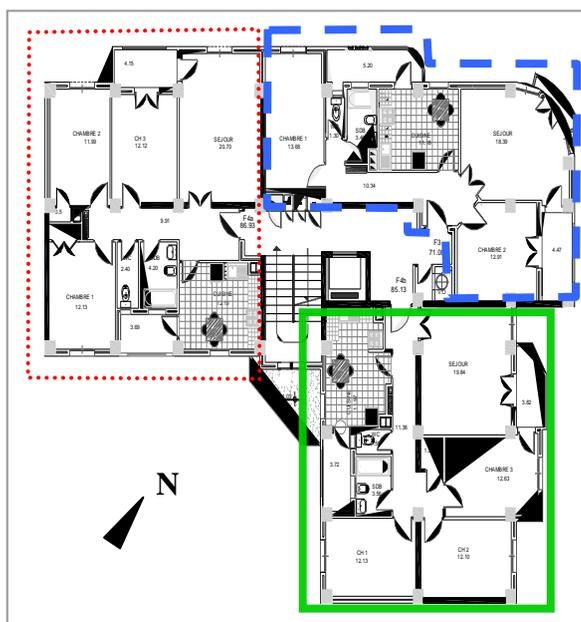
⁶ Chauvigny, P., *L'isolation thermique de la maison*, France, éd Eyrolles, 1980

Pour le cas méditerranéen (latitude N° 36), la profondeur de la pièce ne doit pas dépasser **deux fois et demie** la hauteur de la fenêtre comptée à partir du plancher ; de même, la surface de la fenêtre égale le $1/5^7$ de la surface du plancher pour que le soleil puisse pénétrer dans toute la surface habitable. Cette règle pratique conduit ainsi à un niveau d'éclairage satisfaisant dans le volume occupé et correspond aux recommandations des éclairagistes.

Le cas d'étude

Notre analyse était effectuée sur un bâtiment d'habitat collectif construit cette dernière décennie et qui fait partie de la cité 1 377 logements AADL, située à l'USTO derrière l'université de la science et de la technologie Mohamed Boudiaf à côté de la RN11, près de la pépinière de Bir El-Djir. Le plan de la *figure 1* montre les types de logements qui varient entre F3 et F4 avec des surfaces habitables moyennes de 71 m² et 87 m². Chaque étage comprend trois logements d'une double orientation.

Figure 1 : plan d'étage courant



Source : AADL

⁷ Givoni, B., *L'homme l'architecture et le climat*, Paris, éd Moniteur, 1978.

Les matériaux de constructions constituant l'enveloppe du bâtiment sont :

- Mur en double paroi de brique creuse enfermant une lame d'air de 5 cm d'épaisseur revêtu d'un enduit en plâtre de 1.5 cm d'épaisseur coté intérieur et un enduit en ciment coté extérieur.
- Vitrage simple de 4 cm d'épaisseur et des persiennes en bois.
- Plancher en corps creux de 20 cm d'épaisseur.
- Murs de refonds en béton armé de 20 cm d'épaisseur

La démarche analytique que nous proposons s'articule autour de trois étapes :

1. Analyse des éléments thermiques de la conception architecturale

L'analyse est faite sur les trois appartements selon les huit éléments de la conception thermique de l'enveloppe habitable⁸ afin de vérifier l'intégration de la dimension thermique. Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau 1 : un récapitulatif des éléments analysés

	Appartement N° 1	Appartement N° 2	Appartement N° 3
Orientation	mauvaise	mauvaise	acceptable
Compacité	acceptable	mauvaise	bonne
Organisation spatiale	mauvaise	mauvaise	acceptable
Vitrage	rapport H/P	acceptable	mauvais
	rapport Sb/S	mauvais	mauvais
Matériaux de construction	—	—	—
Systèmes d'occultation	mauvais	mauvais	mauvais
Couleurs	acceptable	acceptable	acceptable

Source : l'auteur du mémoire

⁸ Architecte- ingénieurs SOL.A.I.R, *Conception thermique de l'habitat*, France, éd Edisud, 1988.

Ce tableau récapitulatif montre que les appartements N° 1 et 2 sont les plus défavorables. Donc un appartement sur trois (03) est acceptable du point de vue éléments de conception thermique. Aucun élément est pris en charge dans la conception et ceux qui respectent les normes ont été fait au hasard. Imaginons un bâtiment de R+9 ainsi que les autres de la cité , et la haute quantité d'énergie qui va être consommée pour assurer une ambiance confortable.

2. Calcul des déperditions thermiques

Notre deuxième étape consiste au calcul des déperditions thermiques d'un logement afin de vérifier s'il est conforme au norme, en effet ce calcul nous permet de définir l'identité thermique du logement.

Le calcul des déperditions thermiques était élaboré selon le DTR⁹ pour le logement N°1 car il est le plus défavorable et il est exposé sur ces trois façades aux conditions climatiques. Les résultats ont montré que les déperditions par transmission calculées sont supérieures aux déperditions de référence, cela signifie que les déperditions sont importantes, la consommation d'énergie est maximale et le confort thermique n'est pas assuré. Donc, le bâtiment n'est pas conforme aux normes et il nécessite une réhabilitation.

$DT = \Sigma Di = Ds + Dli + Dsol + Dinc$	La vérification de la réglementation :
$Dréf = a.S1 + b.S2 + c.S3 + d.S4 + e.S5$	$DT \leq 1.05 \times Dref$
$DT = 502.16 \text{ W/}^\circ\text{C.}$	$DT = 502.16 \text{ W/}^\circ\text{C.}$
$Dréf = 236.84 \text{ W/}^\circ\text{C.}$	$1.05 \times Dref = 248.68 \text{ W/}^\circ\text{C.}$

} $DT > 1.05 \times Dréf$

3. l'analyse thermique par simulation

Pour voir l'influence de la réhabilitation thermique sur l'ambiance intérieure et la consommation d'énergie, nous avons essayé de tester quelque éléments de l'enveloppe avant et après amélioration pendant la période chaude (1^{er} juillet) et froide (1^{er} janvier). Ces simulations sont faites par TRNSYS 16¹⁰ (TRaNsient SYstems Simulation program), c'est l'un des logiciels d'aide à la conception thermique le plus puissant, et qui constitue une référence au niveau mondial dans le domaine de la simulation dynamique de bâtiments et de systèmes.

Ces simulations sont effectuées dans le but d'évaluer jusqu'à quel point on peut optimiser la performance thermique de l'enceinte habitable et de définir quelles sont les interventions qui s'avèrent les plus

⁹ CNERIB, Document technique réglementaire (D.T.R C3-2), « réglementation thermique des bâtiments d'habitation », fascicule 1, 1998.

¹⁰ Laboratoire thermique du département de génie civil, IGCMO, Oran.

performantes et intéressantes pour améliorer les conditions du confort thermique, ainsi que celles qu'il faut éviter.

Le prototype choisi pour la simulation est l'appartement N°1 car il est le plus défavorable et est exposé sur ses trois façades aux conditions climatiques. L'appartement est considéré comme un monozone puisque le flux de chaleur traversant les parois de séparation intérieures est nul (la température est la même dans les différentes pièces).

Le logement choisi est situé au dernier étage d'une surface de 87 m². La façade principale du local est celle qui comporte la plus grande surface vitrée est orientée coté Nord Ouest. Les matériaux constituant l'enveloppe de l'appartement sont regroupés dans le tableau (voir annexe) ainsi que leurs caractéristiques thermiques. Ces caractéristiques sont nécessaires comme données dans l'environnement de TRNBuild concernant la description de l'enveloppe. Les surfaces vitrées sont en verre simple de 4mm d'épaisseur, d'une surface de 9.4 m² et son coefficient de transmission thermique K égal à 5 W/m².°C, le facteur solaire est de 85%.

Les simulations sont effectuées sans systèmes de chauffage et de climatisation et avec les données météorologiques de la ville d'Alger¹¹, et ce afin de tester le comportement de l'enveloppe de l'appartement lui-même. Et pour les bonnes conditions de simulation, le renouvellement d'air hors infiltration est de 0.6 volume/heure de 0 à 24h, supposé comme invariable.

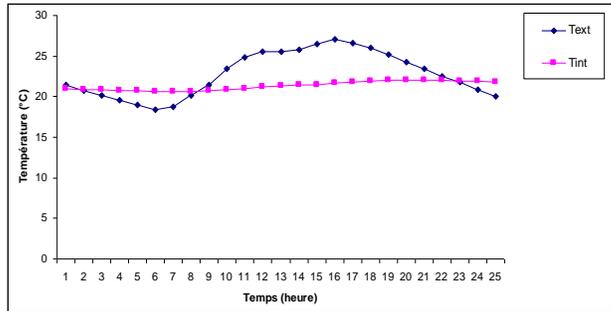
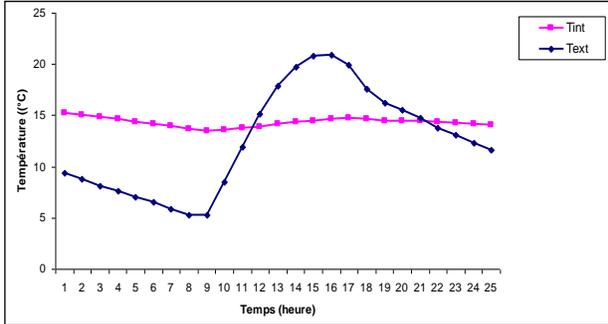
Avant la réhabilitation

Les résultats de la **figure 2** montre que la température intérieure en hiver est presque constante varie entre 15.2 °C et 13.7°C. Cela se justifie par la masse thermique des matériaux constituant l'enveloppe de l'appartement et la diffusion de la fraîcheur stockée pendant la nuit. Mais cette température est inférieure à la température de la zone de confort du littoral marin qui varie entre 21°C et 25 °C. Par conséquent, le confort n'est pas assuré.

Cependant en été le confort thermique est assuré car la température intérieure varie entre 20.1°C et 21.7°C sans les apports internes (elle est dans la plage de la zone du confort).

¹¹ Au manque des données météorologiques de la ville d'Oran nécessaire pour la simulation, nous avons utilisé les données météorologiques de la ville d'Alger qui se trouve dans le logiciel TRNSYS V16 puisque les deux villes sont côtières et ils ont les mêmes caractéristiques climatiques.

Figure 2 : le comportement thermique de l'enveloppe avant la réhabilitation pour le 1^{er} janvier et le 1^{er} juillet



L'influence du type de vitrage : Dans ce cas, nous allons voir l'influence du type de vitrage sur la température intérieure du monozone orienté Nord Ouest, les vitrages utilisés sont le simple vitrage, double vitrage et triple vitrage.

Tableau 2 : Caractéristiques du vitrage

	K [W/m ² k]	g [%]
Simple vitrage	5.70	84
Double vitrage	2.90	75
Triple vitrage	2.00	70

K est le coefficient de transmission thermique.

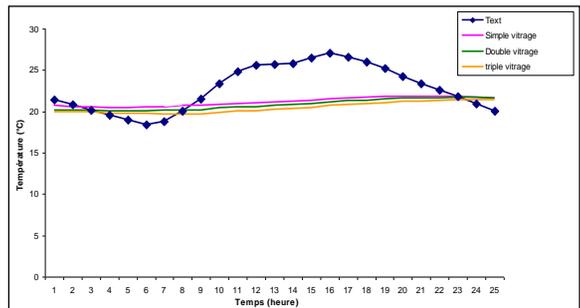
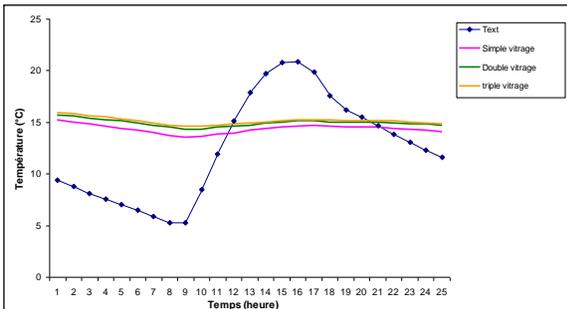
g est le coefficient de transmission énergétique global pour le rayonnement solaire perpendiculaire au vitrage.

Source ¹² : C. A. ROULET, Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments, 2004

¹² Roulet, C. A., Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments, Lausanne, éd presses polytechniques et universitaires romandes, 2004.

Les deux graphes de la **figure 3** montrent que les déperditions sont minimales avec le triple vitrage que le double et le simple vitrages, cela est dû à son pouvoir isolant. La température s'est améliorée avec le triple vitrage de 1.2°C. De plus, on peut dire que plus le coefficient de transmission **K** et le coefficient de transmission énergétique global **g** sont petits plus la protection thermique est élevée.

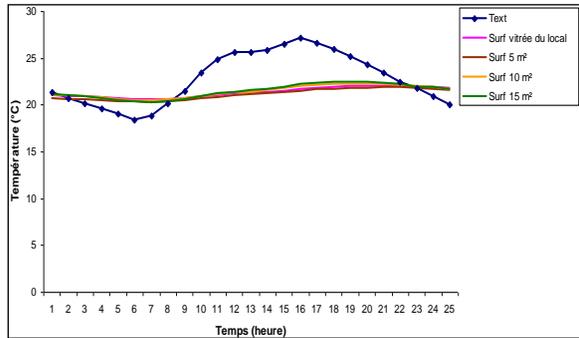
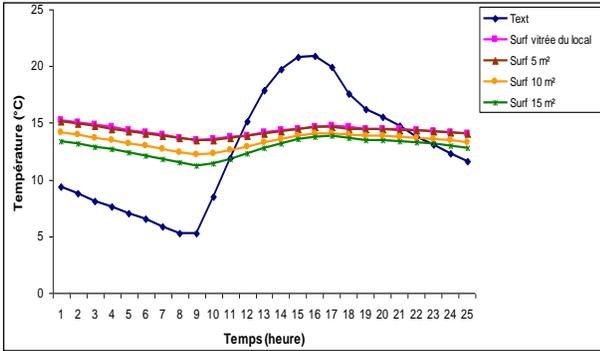
Figure 3 : l'influence du type de vitrage sur la température du monozone pour le 1^{er} janvier et le 1^{er} juillet



L'influence de la surface du vitrage : Pour cette simulation, nous avons varié la surface vitrée de 5 m², 10 m² et 15 m² sur les deux façades du monozone afin de voir leurs impacts sur la température de l'ambiance intérieure.

En hiver, on constate que plus la surface vitrée est importante plus la température intérieure est basse car les déperditions sont importantes à travers le simple vitrage. Ces déperditions sont minimales pendant la journée à cause des apports solaires reçus sur la surface vitrée et la chaleur piégée par effet de serre.

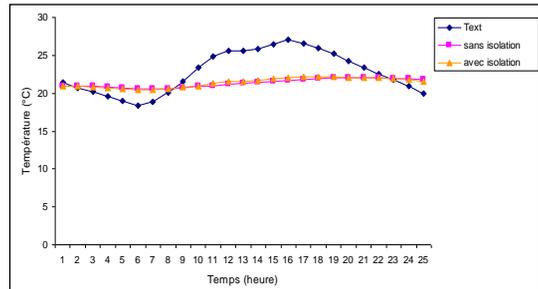
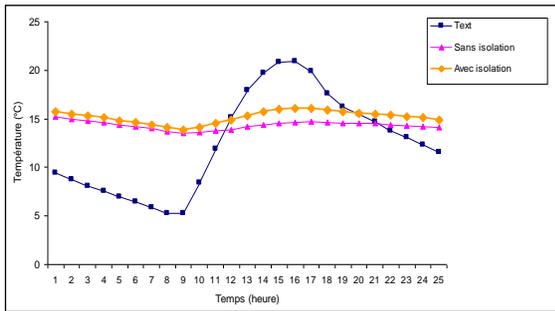
Figure 4 : l'influence de la surface vitrée sur la température du monozone pour le 1^{er} janvier et le 1^{er} juillet



Cependant en été, les courbes des différentes surfaces vitrées sont presque superposées, la différence de température est petite 0.3°C à 0.7°C. Ceci étonne car le rayonnement solaire reçu pendant l'été est plus important que l'hiver. Une explication possible est que la trajectoire du soleil dans cette latitude et dans cette période de l'année est à son niveau le plus haut, et qui n'a pas beaucoup d'effet sur la surface vitrée.

L'influence de l'isolation : Pour ce cas, nous avons isolé les parois verticales ainsi que le plancher terrasse par du polystyrène extrudé de 8 cm d'épaisseur.

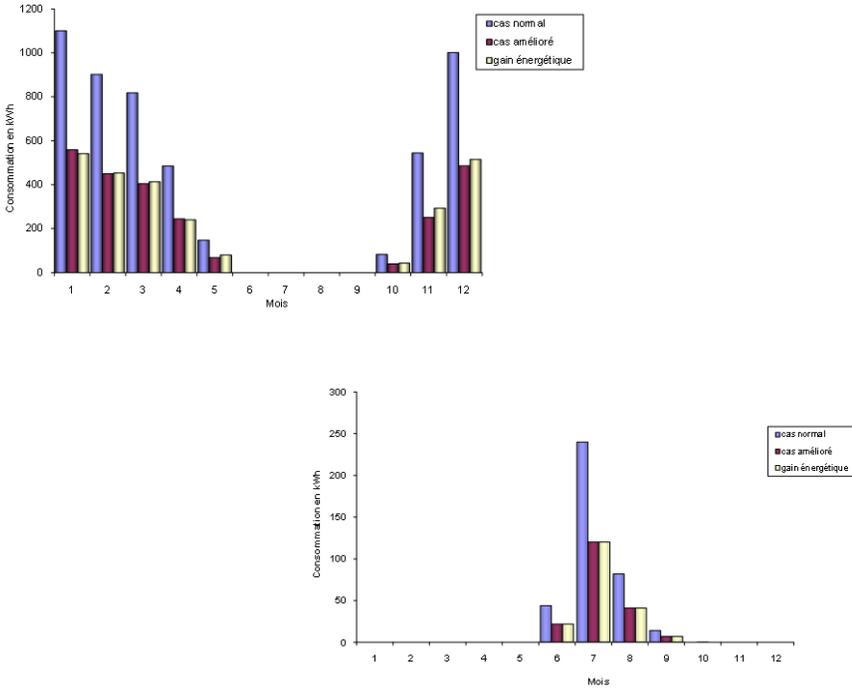
Figure 5 : l'influence de l'isolation sur la température du monozone



Les résultats montrent qu'avec isolation de l'enveloppe les déperditions sont minimales que celle du local sans isolation, et la température intérieure s'est améliorée en hiver. L'amplitude de température entre les deux cas est de 1.5 °C, un gain de chaleur très utile et qui contribue à améliorer le confort thermique tout en diminuant la consommation d'énergie. Cependant en été, la forte isolation peut causer des surchauffes importants si la ventilation n'est pas bonne. Dans notre cas, une légère élévation de la température 0.4°C est constatée de 09h à 18h due à l'augmentation de l'inertie thermique de l'enveloppe à cause de l'isolation par l'extérieure.

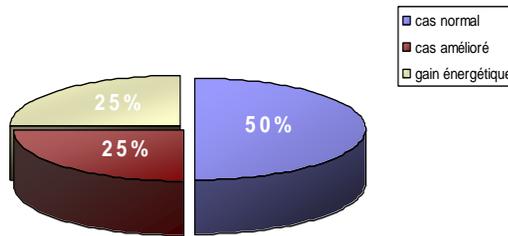
Ensuite, nous avons essayé de voir l'impact de ces améliorations sur les besoins de chauffage et de climatisation.

Figure 6 : comparaison des besoins mensuels en chauffage et en climatisation avant et après réhabilitation



De ces deux figures (6 et 7), on remarque que la consommation mensuelle de chauffage et de climatisation après réhabilitation présente la moitié des besoins du cas normal (avant réhabilitation). Donc 50% de gains de calories et une optimisation de la consommation d'énergie seront réalisés après amélioration. Cela se traduit par des économies de dépenses d'électricité ou de gaz selon le procédé du conditionnement d'air utilisé. Et par conséquent, cette amélioration nous permet aussi d'agir sur l'environnement par la réduction de l'émission du gaz à effet de serre ainsi que sur la consommation des énergies fossiles.

Figure 7 : comparaison des besoins annuels en chauffage et en climatisation avant et après réhabilitation



Conclusion

Au cours de cette étude, nous avons développé le concept de la réhabilitation thermique de l'enveloppe du bâtiment pour réduire la consommation d'énergie et assurer le confort thermique dans les logements. L'analyse des éléments thermiques de la conception architecturale et le calcul des déperditions nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- Les éléments architecturaux de l'enveloppe ne sont pas conçus en fonction du climat.
- La réglementation thermique n'est pas appliquée par les concepteurs, nécessite une vulgarisation.

Ainsi, les résultats de la simulation ont montré que l'isolation thermique de l'enveloppe et le type de vitrage sont parmi les solutions les plus efficaces pour la réduction des besoins en énergie. Ils constituent en effet une barrière aux échanges thermiques.

Bibliographie

Ministère de l'Energie et des Mines, « Consommation Energétique Finale de l'Algérie chiffre clé année 2005 », in *APRUE données et indicateurs*, [en ligne], 2007, téléchargé sur le site : <http://www.aprue.org.dz/documents/consommation-energetique.pdf> le 17/05/2009

Meghraoui Chouguiat, Nacira, *Quel habitat pour l'Algérie*, éd Média-Plus, Constantine 2006.

Dali, Kamel, « Mise en application de la réglementation thermique », in *APRUE la lettre*, N°10 décembre 2006.

Joffroy, Pascale, *la réhabilitation des bâtiments : conserver, améliorer, restructurer les logements et les équipements*, Paris, éd le moniteur, 1999.

Alexandroff, Georges et Jeanne-Marie, *Architectures et climats: soleil et énergies naturelles dans l'habitat*, éd Berger-Levrault, 1982.

Chauvigny, P., *L'isolation thermique de la maison*, France, éd eyrolles, 1980

Givoni, B., *L'homme l'architecture et le climat*, Paris, éd Moniteur, 1978.

Architecte- ingénieurs SOL.A.I.R, *Conception thermique de l'habitat*, France, éd Edisud, 1988.

CNERIB, Document technique réglementaire (D.T.R C3-2), « réglementation thermique des bâtiments d'habitation », fascicule 1, 1998.

Laboratoire thermique du département de génie civil, IGCMO, Oran.

Roulet, C.A., *Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments*, Lausanne, éd presses polytechniques et universitaires romandes, 2004.

Annexe

paroi	matériaux	conductivité thermique λ [W/m.°C]	épaisseur ep [m]	chaleur spécifique c [j/kg.°C]	masse volumique m [kg/m³]	Surface S [m²]
paroi extérieure en brique creuse	enduit en ciment	1.4	0.015	1080	1800	70.1
	brique creuse	0.5	0.10	900	1900	
	lame d'aire	0.11	0.05	1005	1,29	
	brique creuse	0.5	0.10	900	1900	
	enduit en plâtre	0.35	0.015	936	1000	
paroi extérieure en béton	enduit en ciment	1.4	0.015	1080	1800	17.25
	béton armé	1.75	0.2	1080	2500	
	enduit en plâtre	0.35	0.015	936	1000	
paroi intérieure en béton	enduit en plâtre	0.35	0.015	936	1000	33
	béton armé	1.75	0.20	1080	2500	
	enduit en plâtre	0.35	0.015	936	1000	
plancher bas*	enduit en plâtre	0.35	0.015	936	1000	87
	corps creux + dalle de compression	1,45	0,2	1080	1450	
	mortier	1.4	0.04	1080	1800	
plancher terrasse	dallage en granito	2,1	0,02	336	2200	87
	enduit en plâtre	0.35	0.015	936	1000	
	corps creux + dalle de compression	1,45	0,2	1080	1450	
	isolation en liège	0,1	0,04	1512	500	
	forme de pente	1,15	0,04	1080	1800	
	étanchéité	0,04	0,03	670	200	

* le plancher bas est un plancher mitoyen à l'étage courant.

Nomenclature

DT [W/°C] déperditions par transmission du logement.

Dréf [W/°C] déperditions de référence .

Ds[W/°C] déperditions surfaciques à travers les parois en contact avec l'extérieur.

Dli[W/°C] déperditions à travers les liaisons.

Dsol[W/°C] déperditions à travers les parois en contact avec le sol.

Dlnc[W/°C] déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés.

S1[m²] surface de la toiture, S2[m²] surface du plancher bas,

S3[m²] surface des parois en contact avec l'extérieur,

S4[m²] surface des portes,

S5[m²] surface fenêtres et portes fenêtres.

Les coefficients a, b, c, d, e sont donnés par le DTR C3-2.