

# ÉTUDE DE L'AMÉLIORATION DE LA PERFORMANCE ÉNERGETIQUE DE BATIMENTS RESIDENTIELS A CLIMAT SEC ET CHAUD

## IMPROVING THE BUILDINGS ENVELOPES ENERGY PERFORMANCE IN HOT DRY CLIMATE

IBTISSAME BENOUDJAFER<sup>(1)</sup>, NOUREDDINE ZEMMOURI<sup>(2)</sup>, IMANE BENOUDJAFER<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup>Département d'architecture ; Université TAHRI Mohamed Bechar : tissamo@yahoo.fr

<sup>(2)</sup>Département d'architecture ; Université de Biskra

<sup>(3)</sup>Département de Génie Civil ; Université TAHRI Mohamed Bechar

### RESUME

La réduction des consommations énergétiques est un défi majeur de notre temps et le secteur du bâtiment est le plus grand consommateur d'énergie. Un grand intérêt s'est manifesté pour améliorer la performance énergétique des bâtiments résidentiels. Cet article présente une recherche pour le but d'améliorer la performance énergétique du secteur résidentiel dans les régions arides (Bechar), a connu une extension urbaine dynamique et une négligence d'application du règlement thermiques. Dans ce cadre, il s'agit de proposer des solutions passives, comme l'isolation, les fenêtres performantes et la ventilation naturelle, et les comparer par le bâtiment de référence en utilisant une simulation dynamique sous TRNSYS. Il s'avère donc nécessaire de réduire l'impact économique et environnemental en promouvant d'examiner le comportement thermique des bâtiments et évaluer, sous l'angle de la performance énergétique, des solutions permettant de concilier une amélioration du confort d'été et réduire les consommations d'énergies.

**MOTS CLES:** Bâtiment résidentiel, performance énergétique, régions arides, comportement thermique, solutions passives, confort, consommation énergétique.

### ABSTRACT

The building sector is the largest consumer of energy in recent years and great interest has been shown to improve the energy performance of buildings in order to control the use of energy. This paper presents a study of the energy performance of the residential building in the arid regions (Bechar, Southwest of Algeria), which characterize with dynamic urban expansion and population growth characteristics of the coastal towns of this region, with a total lack of application of heat or energy regulations. This region offers important opportunities to reduce energy consumption. The objectives of this study are to examine the thermal behavior of buildings and to foster energy efficiency to find an optimal model. In the economic and environmental context, it is necessary to study improvements different passive's solutions, using a thermal simulation under TRNSYS. In this context, this article aims at carrying out energetic performance in order to evaluate solutions that allow reconciling summer comfort improvement and reducing the consumption energy.

**KEYWORDS:** Residential buildings, energy performance, arid region, improvement, passives solutions, comfort, energy-consumption.

### 1 INTRODUCTION

Au-delà des considérations environnementales maintenant bien connues, l'amélioration des performances énergétiques des bâtiments résidentiels est un grand intérêt, en vue de l'augmentation du prix de l'énergie. Alors qu'il devient de plus en plus fréquent de promouvoir des solutions pour l'optimisation de l'enveloppe du bâti qu'il représente un potentiel important d'économies d'énergie.

Selon les statistiques de l'IEA [15] les bâtiments sont responsables de 32% de la consommation d'énergie finale totale et représentent plus de 40% de la consommation

l'énergie primaire dans la plupart des pays de l'IEA.

La consommation dans le secteur de la construction est comprise entre 40% et 55% de la demande totale dans la ville du sud en Algérie [16].

Le secteur résidentiel de la réhabilitation est particulièrement sensible à la problématique de la réduction des consommations énergétiques. Pour ce type de bâtiment, les simulations thermiques permettent d'une part d'identifier les voies d'amélioration et d'autre part de justifier l'opération pour la recherche de financement. Dans le milieu de la recherche, cette démarche de réhabilitation

passé actuellement par des techniques d'optimisation afin d'aider le concepteur dans la recherche et le choix de solutions [1].

Les améliorations à étudier peuvent se séparer en deux catégories : celles qui permettent de réduire les besoins de refroidissement du bâtiment (usage, enveloppe), et celles qui, pour un besoin donné, permettent de réduire la consommation d'énergie (climatiseur efficace).

D'autre part dans les pays à climat chaud, le recours aux systèmes de climatisation est souvent à l'origine de pics de consommations énergétiques très élevés conduisant parfois à des pénuries d'électricité [2].

Afin de réduire le nombre de simulations à réaliser, nous avons choisi d'étudier les systèmes passifs pour l'enveloppe. Les résultats obtenus seront ensuite rassemblés dans le but d'évaluer les différentes combinaisons d'actions envisageables. La réalisation de ce dernier point nécessite de développer une méthode permettant de calculer la consommation d'électricité des appareils de climatisation directement à partir des besoins de refroidissement des bâtiments. Dans la pratique, des simulations annuelles au pas de temps horaire sont réalisées afin d'obtenir une évaluation globale du bâtiment. L'indicateur classique d'estimation des performances énergétiques est le besoin d'énergie en kWh/m<sup>2</sup>.an. [1]

Parmi ces systèmes étudiés, l'isolation peut se placer de diverses manières dans un mur : à l'extérieur, en sandwich ou à l'intérieur. Pour ces trois cas, la valeur des transmittances des parois restent les mêmes et par conséquent les déperditions à travers l'enveloppe également. Cependant, la position de l'isolant modifie l'inertie de la paroi : seule la masse située à l'intérieur de l'isolation contribue à une inertie utile pour le volume intérieur. [2]

Avant l'apparition ces matériaux isolants, la construction traditionnelle avait privilégié deux types de systèmes constructifs : la construction massive en pierre ou en brique (à forte inertie) et la construction légère en bois (à faible inertie). Ces pourquoi nous avons choisie l'inertie comme un deuxième système.

Les propriétés thermiques des matériaux de construction ont une influence considérable sur le comportement énergétique du bâtiment que ce soit en termes d'inertie thermique ou de propriété isolante. En effet, les propriétés des matériaux et la façon dont ils sont agencés définissent les caractéristiques qu'aura l'enveloppe du bâtiment. Malgré l'importante avancée que connaît aujourd'hui le secteur du bâtiment, il n'existe pas une réelle méthodologie qui permette de mettre en œuvre une sélection convenable de ces matériaux. [2]

Une étude a été effectuée pour ces régions dans le but de maintenir un confort par des conceptions architecturales passives des bâtiments résidentiels. Citons l'étude d'une maison traditionnelle avec ouverture dans les climats chauds et secs, réalisée par FIZIOUI N. et BENYAMINE

M, en 2016. Les résultats sont présentés sous forme d'heures chaudes et froides en un an, maximum et minimum. Les températures de confort intérieures et la fréquence de ventilation efficace par personne comme indicateur de performance de qualité de l'air dans chaque pièce. [16]

Plusieurs études ont été réalisées dans le but d'augmenter la performance énergétique des bâtiments résidentiels. Citons l'étude de rénovation d'une maison à Marseille, dans le sud de la France, réalisée par C. FLORY CELINI en 2008. Cette étude montre une réduction des besoins d'un facteur. Les systèmes passifs adoptés sont : l'isolation transparente, des fenêtres performantes (double vitrage basse émissivité), un puits canadien, des matériaux à changement de phase (MCP), des stores opaques et l'isolation de la toiture. [3]

L'objectif de cette recherche est d'étudier l'amélioration du comportement thermique et l'économie d'énergie possible des bâtiments par proposition des solutions passives. Dans notre contexte d'étude, ces solutions d'amélioration seront évaluées en termes de potentiel d'économie d'énergie et aussi de performance énergétique. Ceci permettrait d'établir des recommandations sur les meilleures solutions à privilégier en vue de diminuer les impacts liés au confort d'été.

## 1.1 Les principes bioclimatiques pour l'amélioration thermique du bâtiment

### 1.1.1 Réduire les apports internes et externes

Dans les régions à climat sec et chaud, comme la ville de Bechar, notre cas d'étude, il est nécessaire de limiter les apports de chaleur en été, aussi bien les apports de chaleur internes qu'externes. Ces apports internes proviennent en premier lieu des habitants et des équipements électriques. Utilisées depuis des siècles en certains points de la planète, les stratégies passives apportent des réponses à la fois économique et logiques adaptées au milieu où la construction doit voir le jour.

Elles prennent en compte la température, l'orientation et les vents. Il est aussi possible de profiter de l'orographie locale pour assurer la régulation thermique des intérieures ou faire usage de matériaux offrant une masse thermique élevée ou de haute qualité d'isolation. [4]

Le métabolisme qui présente une source d'apports de chaleur. Il est variable en fonction de l'activité de l'occupant. L'utilisation d'appareils électriques performants peut diminution des apports internes. Il semble donc nécessaire d'adapter nos comportements vis-à-vis des équipements électriques et de privilégier des appareils performants afin de limiter les consommations. Citons l'étude d'ADRA, dans sa thèse intitulée : proposition une procédure d'une certification énergétique des bâtiments résidentiels au Liban EC-PRO, en 2001, qui propose une procédure d'une certification énergétique des bâtiments résidentiels au Liban selon le comportement des occupants.

[5]

Les apports externes sont constitués par les apports solaires directs ou diffus qui pénètrent dans le bâtiment par les vitrages et les parois. Les apports solaires directs doivent être notamment limités au niveau des ouvertures. Il s'agit essentiellement de réduire les apports de chaleur extérieure par des solutions comme :

- Un vitrage performant ;
- Une protection solaire
- Une isolation qui joue un rôle très important, notamment pour le confort d'hiver, car les pertes thermiques sont réduites. En été, l'isolation permet tout de même de diminuer les apports de chaleur par les parois, mais, pour cela, elle doit être mise en œuvre par l'extérieur et être couplée à la ventilation et bénéficier de l'effet d'inertie des parois. [6]

### 1.1.2 Maintenir un confort d'été en période estivale

Choisir des dispositifs d'ombrage comme brise soleil, masques architecturaux et des stores pour empêcher la pénétration des rayons solaires. L'énergie solaire pénètre dans les locaux au travers de vitres non protégées sous diverses formes, et surtout de manière directe.

Créer une ventilation naturelle passive par des concepts architecturaux, intégrant l'environnement du bâtiment, son orientation par rapport au soleil et aux vents dominants

Choisir une forte Inertie par des matériaux d'une masse thermique qui permet de déphaser et d'amortir les apports de chaleur externe ; cette masse peut jouer un rôle d'accumulateur au cœur du bâtiment.

Choisir une orientation selon le vent dominant et de l'ombre.

### 1.1.3 Maintenir un confort d'hiver en période hivernale

Utiliser Fenêtres performantes : c'est un élément essentiel de l'approche bioclimatique, avec un rôle important aux niveaux énergétique et visuel.

Choisir Isolation extérieure : peut d'améliorer le confort pour l'hiver comme pour l'été.

Intégrer des masques horizontaux pour provoquer une ombre à rayonnement direct.

Donc, nous allons choisir une isolation par l'extérieur, comme un système passif à étudier. Aussi une protection solaire horizontale comme un autre système passif. Et le troisième système était les fenêtres performantes

### 1.1.4 Utilisation de systèmes de rafraîchissement passive

Les systèmes de rafraîchissement peuvent être divisés en

deux catégories : les systèmes actifs qui consomment de l'énergie (sur-ventilation mécanique, climatisation par dessiccation, ventilateur de plafond...) et les systèmes passifs qui n'en consomment pas (la ventilation naturelle). Ces systèmes ont généralement des impacts environnementaux plus faibles que ceux des appareils de climatisation mais ont l'inconvénient d'avoir une capacité de refroidissement limitée et ne permettent pas toujours d'obtenir un confort total comme le permettrait une climatisation bien dimensionnée.

## 1.2 Evaluation de la performance énergétique

Pour répondre aux exigences en termes de performances énergétiques d'un bâtiment et de contraintes imposées par la Réglementation Thermique et les différents labels, l'utilisation de la simulation est aujourd'hui indispensable. En effet, pour atteindre ces nouveaux seuils de performances, il est nécessaire d'évaluer l'intérêt de construire le bâtiment avec tel matériau plutôt qu'un autre, de voir quelle surface de vitrages doit être mise en place au sud pour minimiser les besoins de chauffage sans pour autant augmenter les besoins de refroidissement. Ainsi, dans chaque projet de construction neuve ou de rénovation d'un bâtiment, la simulation permet de tester et dimensionner les différentes alternatives possibles afin de définir les solutions les plus adaptées à ce projet. La simulation est donc un outil d'aide à la conception incontournable en amont de la vérification réglementaire. [7]

Notre objectif est de mettre en place une certification énergétique pour les bâtiments résidentiels neufs et existants dans la région à climat sec et chaud (Sud-Ouest l'Algérie). Pour atteindre cet objectif, nous avons réalisé une série d'enquêtes sur le terrain pour mettre en évidence les problématiques énergétiques des bâtiments résidentiels dans la ville de Bechar, et établir une base de données servant de référentiel sur les modes de construction, les systèmes énergétiques accessibles et les usages des occupants.

L'originalité de notre travail est d'aborder la réalité du contexte spécifique, appuyant sur les spécificités de fonctionnement et d'usage du bâtiment et ses équipements de chauffage, de climatisation, et d'électroménager. Les limites d'amélioration de la performance énergétique, due à l'utilisation des solutions techniques accessibles sur le site, avec une valorisation globale des points de vue énergétique, économique et de confort. Nous permettrons de déterminer les nouvelles valeurs des indices réglementaires, pour les régions à climat sec et chaud.

Des études VERBEEK 2005, ENKVIST 2007, EEK 2013, ont montré que la solution la plus efficace pour contrôler la consommation énergétique du secteur de la construction (anciens et nouveaux bâtiments) est de réduire la perte énergétique en améliorant l'isolation externe installée.

L'amélioration de la performance thermique courante de l'enveloppe des bâtiments est essentielle pour réduire la

demande en énergie requise pour les constructions. Pour la réhabilitation et même pour les nouveaux bâtiments, l'épaisseur des couches de l'isolation externe et interne est devenue un problème. Aujourd'hui, il y a un intérêt majeur pour l'utilisation des matériaux dits super isolants, comme les aérogels. Les aérogels présentent des propriétés uniques qui s'avèrent très intéressantes et qui doivent être prise en compte dans les nouvelles règles des constructions. En effet, avec leur transparence optique et leur très faible conductivité thermique, les aérogels peuvent être utilisés dans l'isolation des façades opaques et des parties vitrées. [8]

### 1.3 Constat sur le parc immobilier de la ville de Bechar

Après une étude exhaustive du le confort thermique des bâtiments résidentiels en Algérie, notamment dans la région de Bechar, nous avons constaté qu'il y a une absence totale ou négligence de l'utilisation des prospectes des lois régissant le confort (Règlementation CNERIB). Il est à noter que plusieurs pays qui appliquent les lois régissant le confort comme, tels que la France qui depuis 1974 a commencé à introduire des réglementations RT1974 qui a subie plusieurs modifications jusqu'à RT2012.

Une étude a été réalisée par BENOUDJAFER I., présente une étude comparative relative à l'efficacité énergétique de deux appartements situés à Béchar, montre que la majorité des constructions des habitations fait appel à une nouvelle conception architecturale, prenant en compte des matériaux nouveaux inadaptés au climat aride des zones sahariennes [14]. Il s'agit principalement du matériau béton (structure poteaux-poutres et blocs de parpaings) connu pour ses multiples avantages (plasticité, facilité de mise en œuvre, résistance mécanique importante acquise à court terme, etc.). Son inconvénient est lié à sa faible résistance thermique, qui ne fait pas de ce matériau, un matériau de choix sur le plan du confort thermique et qui par conséquent, augmente la consommation électrique pour permettre à l'usager d'obtenir des ambiances de qualité.

Cette situation provoquée par la pression du besoin d'habiter et la crise du logement, a révélé de nouvelles contraintes sur le plan du confort (isolation absente ou insuffisante, nécessité d'une climatisation onéreuse et inesthétique, etc.).[14]

### 1.4 Contexte d'énergie de la ville de Bechar

La lecture des données du bilan énergétique montre l'importance de la consommation d'énergie dans le secteur résidentiel dont la consommation électrique a atteint 100 GWh, elle représente 49.5 % de la consommation totale d'électricité. Ainsi, il représente le premier secteur grand consommateur d'énergie électrique au niveau de la région. Selon les statistiques de 2012, 2014 et 2016 [8], la consommation électrique de ce secteur a connu une évolution considérable. On constate que la consommation électrique due à la climatisation est la plus importante. (Figure 1 et 2).

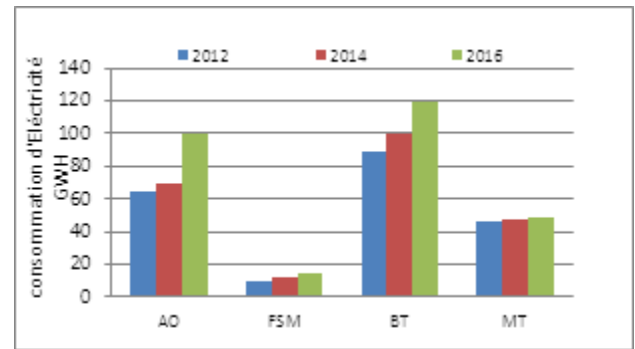


Figure 01: Consommation annuelle d'Electricité en GWh (2012, 2014 et 2016) [8]

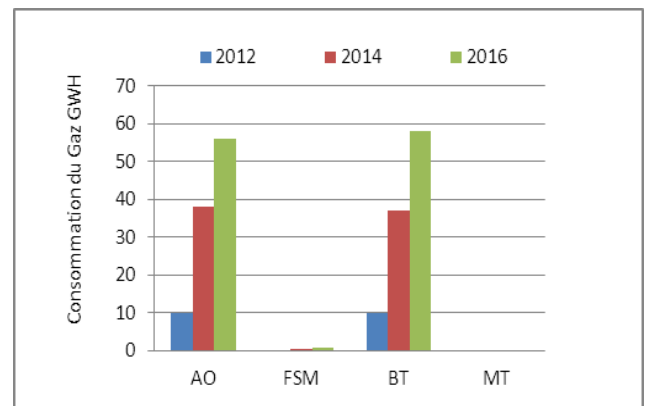


Figure 02: Consommation annuelle du Gaz en GWh (2012, 2014 et 2016) [8]

AO : bâtiments résidentiels, FSM : bâtiment administratif,  
BT : basse tension (AO+FSM), MT : moyen tension (Bâtiments industriels). [9]

## 2 METHODOLOGIE CHOISIE

Le choix d'un outil de simulation thermique dynamique permet d'évaluer les besoins énergétiques et le niveau de confort thermique des bâtiments de manière plus détaillée que les méthodes basées sur des bilans mensuels.

Le logiciel TRNSYS (Laboratoire ENERGARID, Université TAHRI Mohamed, Bechar) est un outil de simulation thermique dynamique de bâtiment développé plusieurs années. Le logiciel calcule le comportement de différentes zones thermiques d'un bâtiment en régime dynamique et il permet également de simuler le comportement de l'enveloppe. Il calcule également les consommations pour le chauffage et la climatisation. Avec une nouvelle bibliothèque TESS (matériaux, éléments, systèmes, équipements, etc.) permet d'avoir la possibilité de modéliser tous les éléments souhaités dans l'enveloppe et son système. Celle-ci comporte souvent :

- Une description géométrique du bâtiment par saisie de plans, où l'on spécifie les dimensions et orientations des pièces, parois, vitrages, ouvrants. les données de localisation correspondantes

(latitude, longitude et altitude).

- Une description de l'enveloppe du bâtiment, avec indication de la composition des parois, des vitrages, des portes... et des propriétés physiques (thermiques et optiques) des matériaux qui les constituent.
- Une description des équipements (chauffage, ventilation, eau chaude sanitaire, éclairage...) à travers les paramètres qui décrivent leur fonctionnement.
- Une description des sollicitations externes (données météorologiques) et internes (scénarios/données de ventilation, occupation...).

[7]

### 3 SIMULATIONS ET RESULTATS

#### 3.1 Description de l'enveloppe de référence

Une description complète de l'enveloppe nécessite une connaissance des éléments entrant dans la construction pour pouvoir établir un modèle du bâtiment. Ces informations sont résumées en trois catégories et illustrées dans le tableau 1 :

- types et composition des parois opaques (épaisseurs, matériaux) avec leurs caractéristiques thermo physiques ;
- caractéristiques des menuiseries (vitrages et cadres) ;
- mode constructif, pour essayer de déterminer les ponts thermiques linéaires et l'infiltration d'air.

Le bâtiment de référence étudié pour cette recherche est un exemple typique d'une grande part des appartements résidentiels de la ville Bechar.



Figure 03: Plan et zones du bâtiment de référence

Tableau 01: Description des matériaux et des systèmes de construction. Rappelons que nous nous sommes basé sur le cahier technique du CS-32 (de l'intérieur à l'extérieur) [10]

Enveloppe «référence»	Description	Epaisseur en cm	Conductivité KJ/woodmK	Densité Kg/m3	U-value (W/m²k)	Epaisseur (m)
Mur extérieur	Enduit extérieur en plâtre	0.015	0.35	750	2.71	0.18
	Bloc en parpaing	0.15	1.07	1100		
	Enduit en ciment	0.015	1.40	1900		
Mur intérieur	Enduit en plâtre	0.015	0.35	750	2.67	0.14
	Bloc en parpaing	0.10	1.07	1100		
	Enduit en ciment	0.015	1.40	1900		
Plancher bas en contact avec le sol	Carrelage	0.03	1	936	2.48	0.27
	Mortier	0.02				
	Sable du gravier	0.05				
	Dalle en béton lourd	0.150	1.75	2200		
	Mortier	0.010	1.75	2200		
Plancher /Toiture	Mortier	0.03	0.23	1000	0.25	0.30
	Sable du gravier	0.05	0.03	25		
	Dalle en béton armé	0.04	1.75	2200		
	Bloc en hourdis	0.16	1.14	1850		
	Enduit en mortier	0.02	0.35	1600		
Menuiseries extérieures	Facture solaire Sw Ug vitrage V/H Uf cadre					
	Vitrage simple					
Fenêtres /portes Vitrage	u-value	5.74				
	g-value	0.87				
Ouvertures	Wood	0.05	0.20	600		

Afin d'établir une description complète de l'enveloppe de référence, il est donc très important de connaître les détails techniques de chaque appareil électrique, sa consommation et sa puissance, ainsi que sa position dans l'appartement. Toutes ces informations sont détaillées dans le tableau 2 :

**Tableau 02: Installations électriques dans chaque pièce de l'appartement de référence**

Pièces	Type	Appareils	N°
Salon	Lampe spot 40W	Unité split 3000 Btu. 5 275 W 1	1
Cuisine	Lampe 50 W	Réfrigérateur 312 KWh/an	1
		Lave-linge 370 W pour 7kg	1
		Micro-ondes 700 W	1
		Four du Gaz	1
		Hood (ventilation) 400Cmf. 220 W	
Chambre parentale	Lampe 50 W	Unité split 12000Btu. 3 517 W	1
Chambre d'enfant	Lampe 20 W	Ventilateur 40-60w	1
Toilette et SDB	Lampe 20 W	-	2
Hall	Lampe 20 W	-	1

Différentes données liées au comportement des occupants sont indispensables pour effectuer un calcul énergétique et thermique réel. Il est donc essentiel de rechercher tous les types d'usages liés aux occupants. Ces types d'usages, dits « scénarios ». Pour pouvoir décrire ces scénarios, nous avons réalisé des questionnaires, que nous avons proposés aux occupants. Les résultats de ces questionnaires et notre travail de terrain ont servi à établir les différents scénarios.

### 3.1.1 Consigne de température

C'est la température souhaitée par les habitants pour un confort acceptable est :

- La température souhaitée en été est inférieure à 26 °C
- La température souhaitée en hiver est inférieure à 20

### 3.1.2 Taux d'occupation

Ce scénario permet de décrire le nombre des occupants, les modalités de leur présence dans l'appartement par pièce et leur durée. Dans notre cas d'étude, nous avons 4 personnes (1 homme, 1 femme et 2 enfants), et leur présence dans l'appartement est constatée de 17 heures à 8 heures du matin en semaine. Pour Week-end, leur présence varie selon leurs sorties, mais, la plupart du temps, les habitants sortent le samedi et restent chez eux le vendredi.

## 3.2 Descriptions de différents systèmes étudiés

Pour maintenir un confort pour notre habitation, il est indispensable de rechercher des solutions techniques adoptables et cohérentes avec notre ville en matière de conditions d'application (techniques disponibles et savoir-faire locaux). L'objectif est de réduire la consommation énergétique et d'améliorer le confort dans les logements résidentiels. Parmi ces systèmes passifs, nous pouvons citer les suivantes :

- Inertie : l'emploi d'une double paroi, avec une lame d'air permet de déphaser et d'amortir les apports de chaleur externe ; cette masse volumique peut jouer un rôle d'accumulateur au cœur du bâtiment.
- Fenêtres performantes : en utilisant un double vitrage. C'est un élément essentiel, avec un rôle important aux niveaux énergétique et visuel.
- Isolation des parois opaques et toiture : en utilisant des plaques en polystyrène expansif à l'extérieur. Ce système d'amélioration apporte des avantages pour l'hiver comme pour l'été. L'isolation extérieure en hiver peut diminuer l'échange thermique et les déperditions de chaleur avec l'extérieur. En revanche, en été, l'isolation joue un rôle dans la diminution des apports de chaleur de l'extérieur par les parois. «L'isolation est sans doute le facteur le plus important puisqu'elle conditionne votre consommation de chauffage en hiver, voir la climatisation en été » [12]
- Des protections solaires horizontales : doivent être mises en place au sud afin d'éviter les apports externes en été.
- Ventilation nocturne : en créant une cour à l'intérieur de notre habitation pour évacuer l'air intérieur chaud et le remplacer par l'air extérieur frais.

**Tableau 03: Description des systèmes passifs étudiés matériaux, épaisseur et coefficient U-value**

Composition	Description	Épaisseur en (m)	U-Value (W/m <sup>2</sup> K)
Isolation des parois opaques extérieures	Enduit extérieur	0.02	0.29
	Enduit de finition	0.02	
	Enduit en polyuréthane	0.02	
	Plaque en polystyrène expansif	0.08	
	Brique rouge	0.20	
	Enduit en plâtre	0.02	
	carrelage	0.02	0.77
	mortier	0.02	

Isolation de la toiture	sable et gravier	0.05			
	béton lourd	0.04			
	Polystyrène expansé	0.04			
	Enduit de finition	0.02			
	Bloc en hourdis	0.16			
	mortier	0.01			
	Peinture blanche	0.03			
Isolation du plancher bas	carrelage	0.02	0.27		
	mortier	0.02			
	sable et gravier	0.05			
	béton lourd	0.25			
	mortier	0.01			
Inertie thermique	Enduit Extérieur	0.015	0.69		
	Brique rouge creuse	0.20			
	Lame d'air	0.02			
	Brique rouge creuse	0.10			
	Enduit en plâtre	0.02			
Ventilation naturelle	<b>Facteur de compacité A/V m2/m3</b>				
	Bâtiment référence	Bâtiment avec une cour	Bâtiment avec un patio		
	0.64	0.40	0.09		
Protection horizontale	Dalle horizontale de 1m dans la façade Sud compose de : (Toi terrasse inversé) :		0.29	0.32	
	Placoplâtre Béton lourd Feutre bitumeux				
Fenêtre performante	U-value	g-Value	T.sol	Rf- sol	Facteur solaire
	2.95	0.77	0.72	0.12	

### 3.3 Résultats des simulations des différents systèmes passifs

#### 3.3.1 Indice du confort IPS

La simulation est effectuée, pendant la semaine la plus froide (du 7 au 10 janvier 2016) et la semaine la plus chaude (du 18 juillet au 24 Juillet 2016).

##### 3.3.1.1 Zone thermique nord (chambre)

Le choix d'une zone à faible exposition au soleil située au nord a pour but de déterminer l'effet des systèmes passifs proposés, par rapport aux autres pièces. Dans la figure 4, nous pouvons voir l'évolution de la température extérieure TAE et celle de la température de référence sans système Tref. Chacun des autres courbes montre la diminution de température intérieure selon le système

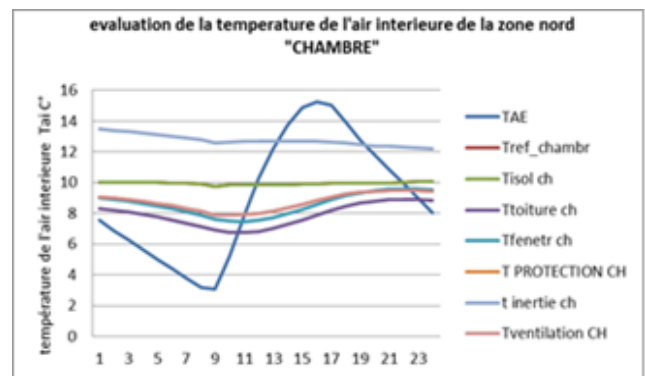
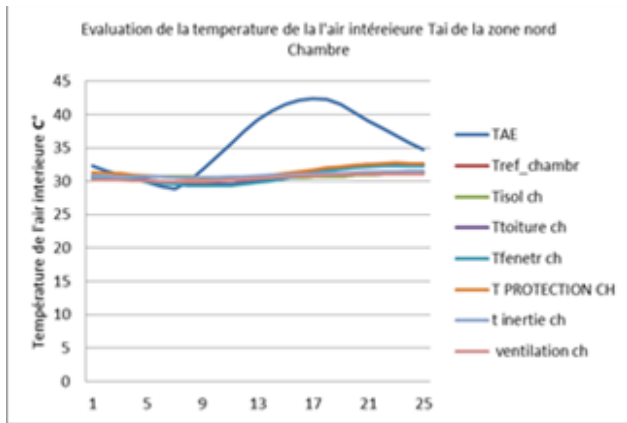


Figure 04: Évolution de la température selon les systèmes passifs (semaine 10, zone nord)

L'observation de ces courbes montre que l'évolution de la température est très proche de celle de la température de référence, ce qui est normal dans le cas d'une amélioration passive. Nous pouvons constater, que l'effet des systèmes proposés est très faible, de l'ordre de 0,25 C par rapport à la température de référence.

Le système d'inertie thermique est le plus efficace, presque constante, d'environ 13°C. C'est grâce la chaleur accumulée pendant la journée et la restituée pendant la nuit. Pour le système d'isolation des parois, la température intérieure est constante toute la journée de 10°C. L'isolation extérieure augmente la température intérieure dans la journée de 0,3 °C, et dans la nuit de 1,3 °C en moyenne, ce qui traduit la conservation de la chaleur à l'intérieur. (Figure 4)

Pour l'été, nous pouvons constater une diminution de température de 0,6 °C en moyenne pour la protection solaire et 0,8 °C pour la ventilation nocturne dans la journée et de 1,6 °C pendant la nuit. Le système d'inertie permet aussi une diminution de températures maximales plus faibles (0,8 C), et des températures minimales plus élevées (0,7 °C). De la même manière, les fenêtres performantes permettent de réaliser une diminution de la température maximale de l'ordre de 0,3 °C, et une augmentation des températures minimales de 0,1 °C. (Figure 5)



Le tableau 4 présente les valeurs de confort d'été pour chaque système étudié.

Figure 05 : Évolution de la température selon les systèmes passifs (semaine 33, zone nord)

Tableau 04 : Valeurs de l'IPS correspondant à chaque système d'amélioration (zone NORD, semaine 33)

Chambre chaude	$T_{Réf}$	$T^{\circ}$ isolation parois opaques	$T^{\circ}$ toiture	$T^{\circ}$ fenêtres performantes	$T^{\circ}$ protection horizontale	$T^{\circ}$ ventilation	$T^{\circ}$ inertie thermique	$T^{\circ}$ apports internes
$T^{\circ}max$	37.54	31.50	32.78	32.88	32.54	30.86	30.23	32.25
$\Delta T^{\circ}Max$		6.04	4.76	4.66	5.00	6.68	7.31	5.29
$T^{\circ}Moyenne$	32.50	31.85	30.63	31.74	33.40	30.34	31.57	31.01
$\Delta T^{\circ}moyenne$	-	0.65	1.87	0.76	-0.9	2.16	0.93	1.49
$T_{confort}$	26	26	26	26	26	26	26	26
IPS	-	0.10	0.28	0.11	-0.13	0.33	0.14	0.22

$T^{\circ}max$  : température intérieure maximale (C°)

$\Delta T^{\circ} max$  : écart entre température maximale référence et de système

$T^{\circ} moyenne$  : moyenne de la température intérieure d'une semaine

$\Delta T^{\circ} moyenne$  : écart entre moyenne de température intérieure référence et de système

IPS : indice de confort d'été  $IPS=(T^{\circ}ref-T^{\circ} système)/(T^{\circ}réf-26)$

### 3.3.1.2 Zone thermique sud (cuisine)

Nous allons présenter les courbes de température dans la cuisine la plus exposée au soleil du fait de son orientation. Les mêmes systèmes sont appliqués pour déterminer l'évolution des températures.

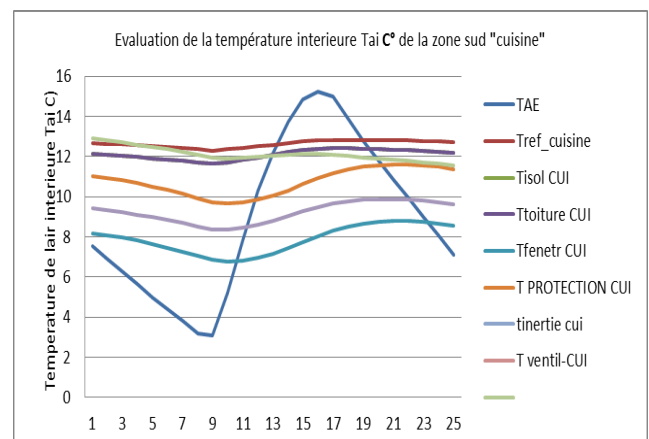


Figure 06 : Évolution de la température selon les systèmes passifs (semaine 10, zone sud)



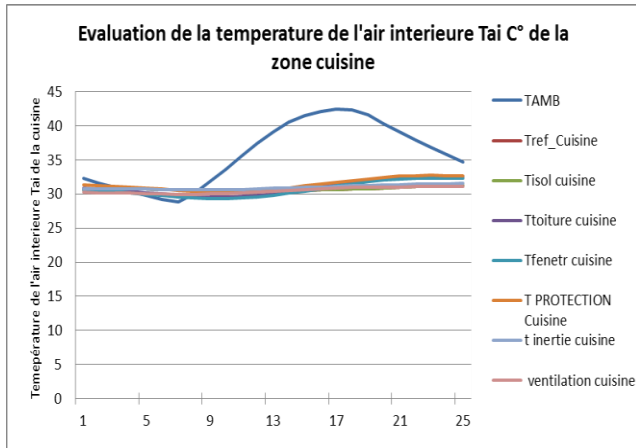


Figure 07: Évolution de la température selon les systèmes passifs (semaine 33, zone sud)

Pour la zone sud, les apports solaires sont les maxima, où la ventilation naturelle montre la performance la plus importante. L'isolation des parois opaques et la toiture isolée donnent aussi de bons résultats. La protection horizontale montre une performance positive, au contraire de sa valeur dans la zone nord : ceci traduit la réduction des apports solaires reçus dans cette façade.

Le système des fenêtres performantes garde une valeur

Tableau 05: Valeurs de l'IPS correspondant à chaque système d'amélioration (zone sud, semaine 33)

CUISINE E chaude	T Référé nce	T °isolati on parois opaque	T °toiture isolée	T °fenêtre perform ante	T °protectio n horizonta le	T °ventilatio n	T °inertie thermique	T °apports internes
<b>Tmax</b>	36.82	31.94	32.68	32.37	32.99	31.86	32.23	33.5
<b>AT<sub>Max</sub></b>		4.88	4.14	4.45	3.83	4.96	4.59	3.32
<b>T<sub>Moyenne</sub></b>	32.94	30.85	30.81	33.56	31.40	30.52	31.11	33.54
<b>AT<sub>moyenne</sub></b>	-	2.09	2.13	-0.62	1.54	2.42	1.83	-0.6
<b>T<sub>confort</sub></b>	26	26	26	26	26	26	26	26
<b>IPS</b>	-	0.30	0.30	-0.08	0.22	0.34	0.26	-0.08

### 3.3.2 Indices de performances des systèmes « Iéco » et « IPR »

Les différentes consommations en énergie pour produire le chaud et le froid dans notre site d'étude montrent la nécessité de chercher la rentabilité et la pertinence de chacun des systèmes. Un nouveau critère va donc nous aider à juger chaque système en termes de rentabilité en valeur de consommation (chauffage et climatisation).

La consommation en chauffage et en climatisation est calculée par TRNSYS en kWh. Nous pouvons donc exprimer l'indice Iéco dans la relation suivant :

$$Iéco = (Cepchauffage-Réf - Cepchauffage-Sys) + (Cepfroide-Réf - Cepfroide-Sys) \quad (1)$$

négative, comme les apports internes, et l'inertie montre un rôle plus important que dans la zone nord, du fait de variations de température plus importantes. (Figures 6 et 7)

Pour évaluer l'action de chaque système en heure chaude, il faut connaître la température maximum. Nous pouvons observer, dans le tableau 5, que l'abaissement maximal des systèmes isolation des parois, isolation de la toiture et ventilation naturelle, est plus important que l'abaissement moyen, car c'est la base de leur fonctionnement de diminuer les apports solaires. Par contre, le système de la fenêtre performante présente une valeur négative d'IPS d'environ -0.62, du fait de l'augmentation du facteur solaire de ces vitrages SW. La diminution des amplitudes de température, qui a pour origine le phénomène de déphasage, caractérise la courbe de température du système d'inertie, avec une augmentation de la température dans la nuit de 0,8 °C en moyenne.

Le système des fenêtres performantes présente un effet négatif par l'augmentation en températures moyenne et maximale. Nous pouvons expliquer ce comportement par le phénomène de « bouteille thermos », c'est-à-dire par la présence d'une résistance à l'évacuation des chaleurs internes qui est plus importante que la réduction des apports solaires opérés par ce système. [8]

- Si Iéco > 0 Système économe (retenu)
- Si Iéco < 0 Système pas économe (à éliminer)

L'observation de tableau 6 montre que la meilleure performance est celle du système de ventilation naturelle, puis de l'isolation parois opaques, toiture isolée, l'inertie thermique, enfin, la protection horizontale.

Nous constatons une performance négative pour le système des apports internes, avec un effet marginal des fenêtres performantes.

L'observation de tableau 6 montre que les systèmes isolation, inertie, et ventilation nocturne sont économes en termes de consommation énergétique. Par contre, le système des fenêtres performantes sont moins économe. Ce

résultat permet de valider les choix en systèmes énergétiques.  
d'amélioration vis-à-vis de l'économie en consommations

**Tableau 06: Valeurs de l'indice léco selon chaque système d'amélioration**

	B Référénc e	B isolation parois opaque	B toiture	B fenêtres performant es	B <sub>protection</sub> horizontale	B <sub>ventilatio</sub> n	B inertie thermique
<b>C<sub>ep-chauffage</sub></b>	277.7 1	101.44	185.01	223.00	160.12	101.4	112,95
<b>C<sub>ep-froide</sub></b>	51.73	47.25	37.25	40.33	41.25	47.50	48,67
<b>TOTAL</b>	329.4 4	144.69	222.26	263.33	200.45	148.94	161,62
<b>Iéco</b>	-	184.75	107.18	66.11	128.99	180.5	167.82
<b>Réductio n %</b>		56,08	32,53	20,067	39,15	54,78	50,94
<b>IPR %</b>	-	+54,86	+32,53	+20,06	+39,15	+54,78	+50,94
<b>Jugemen t</b>	-	Retenu e	Retenu e	iliminé e	<b>Retenu</b> e	Retenu e	Retenu e

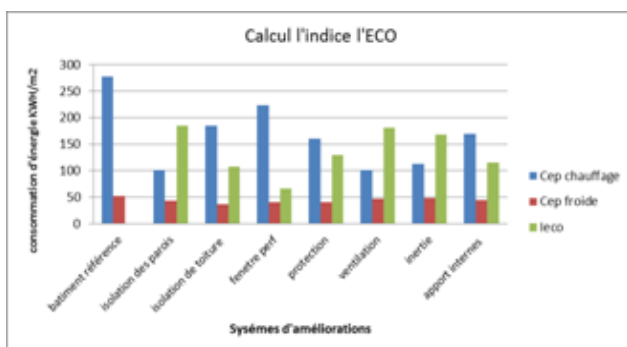
- Cep-chauffage : consommation d'énergie en chauffage (KWh/m2an)
- Cep-froide : consommation d'énergie en climatisation (KWh/m2an)
- Iéco :  $Iéco = (Cep_{chauffage-Réf} - Cep_{chauffage-Sys}) + (Cep_{froide-Réf} - Cep_{froide-Sys})$
- IPR % : Indice de réduction

Nous résumons les résultats de nos calculs des indices IPR, termes de valeurs, puis en pourcentages de réductions (+) ou d'augmentation (-) par rapport aux valeurs de référence dans le graphe suivant :

L'analyse de ces valeurs est synthétisée de la manière suivante :

- Le système de protection horizontale : nécessite de se protéger la toiture du soleil, surtout en été où le climat de Bechar, très ensoleillé, et très chaude (dépasse 45°C en été). Ceci a un impact significatif sur le besoin de climatisation, traduit par une réduction 39.15% . .
- système de ventilation naturelle : en créant une cour intérieure permet une amélioration importante en performance de confort d'été comme l'hiver. Ceci se traduit par une baisse des valeurs des indices IPS et l'Iéco. Plus le facteur de compacité est faible, plus les améliorations dans les trois indices sont donc effectives.
- le système de fenêtre performante : ce système se traduit une hausse en besoin de Chauffage en hiver.
- L'inertie thermique : C'est un facteur qui agit principalement par le déphasage et il apporte des bénéfices en été comme en hiver. Plus l'inertie est élevée, plus les améliorations sont donc effectives.
- -Le système d'isolation des parois verticale et horizontale : permet une performance importante en confort d'été, produit par l'isolation, empêchant la pénétration de la chaleur à l'intérieur du bâtiment.

La figure 8 montre les besoins annuels en chaleur, froid du bâtiment de référence en kWh/m2.an. Nous pouvons observer que les différentes valeurs en besoins de chauffage, climatisation sont en cohérence avec le comportement de chaque système.



**Figure 08: Besoins annuels en énergie en kWh/m².an et l'indice Eco pour chaque système d'amélioration**

Notons que le calcul des composants de l'indice Iéco s'effectue avec des systèmes de chauffage et de climatisation qui correspondent aux équipements et aux systèmes du site.

### 3.3.3 Couplages entre les systèmes techniques

Malgré les améliorations de performance réalisées par les systèmes isolation des parois, protection horizontale, ventilation nocturne et fenêtres performantes, les valeurs de l'indice IPS sont toujours éloignées de la valeur optimale égale à (1).

Ceci montre l'importance de réaliser un couplage entre les systèmes choisis afin d'améliorer les valeurs de ces indices. Nous devons donc choisir un couplage entre isolation de la toiture, des parois verticales, une protection horizontale et une ventilation naturelle, avec une valeur de l'IPS de 0,59, qui signifie une température moyenne dans l'appartement de 28,50 °C, donc une baisse effective de 2,5°C par rapport à l'état de référence, et une température maximum de 31,7 °C, donc une baisse de 4,30 °C durant la semaine la plus chaude.

La figure 9 nous montre la variation de la température dans la chambre (zone sud) dans l'état initial et optimal. (Figure 9)

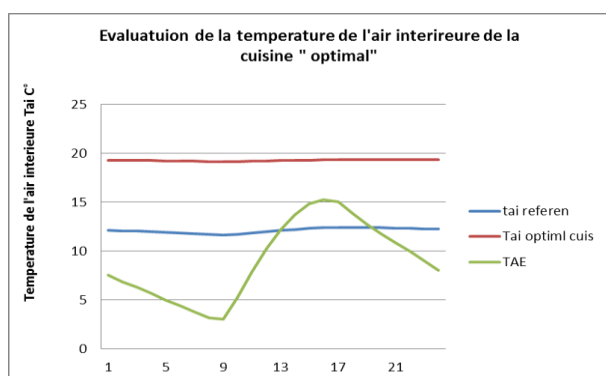


Figure 09: Comparaison de la température de l'air intérieure Tai de bâtiment référence et optimal

Tableau 07: Valeurs de l'indice Iéco et IPS selon système couplage

Tableau 08: Le coût d'investissement et de temps de retour sur investissement des systèmes d'amélioration proposés

Systemes	Coût d'investissement	Coût d'investissement DA/m <sup>2</sup>	Consommation électrique kWh/bât/an	Cef Bât Kwh/m <sup>2</sup> . an	Prix de l'électricité par tranche/an	Consommation électrique par mois	Économie réalisée en électricité kWh/m2/mois	Économie réalisée	Temps de retour
Bâtiment référence	-	-	25943,4	329,44	103773.6	8647,8	-	-	-
Isolation des parois	27000	22,5	11394,33	144,69	45577.35	3798.11	56.08	58195.25	6mois
Isolation de la toiture	94500	78.75	17502.97	222,26	70011.9	5834.32	32.53	33761.7	2ans 8

Indice/système	bâtiment référence	Model Optimal
Cep chauffage KWh/m <sup>2</sup> .an	277,71	88,6
Cep froide KWh/m <sup>2</sup> .an	51,73	37,53
Iéco	-	203.31
IPR %	-	+61,71

L'analyse de ce tableau 7 qui contient des informations essentiellement économique ne peut à lui seul permettre d'identifier les solutions le plus pertinentes. Il convient en effet de rajouter dans notre logique de sélection des solutions optimales des critères complémentaires en particulier énergétique et de confort.

### 3.4 Notions de coût d'investissement et de temps de retour

Dans le cadre d'une évaluation économique et de coût pour une solution optimale, il est nécessaire de prendre en compte les notions de coût d'investissement et de temps de retour sur investissement.

Le tableau ci-dessous présente les données économiques de l'ensemble des systèmes techniques sous la forme des coûts d'investissement, de consommations électriques (sur la base des tarifs d'électricité, voir tableau 8) et d'économies réalisées et de temps de retour sur l'investissement.

Cette amélioration effectuée par application des systèmes passifs disponibles et tous les couplages entre eux a permis de mettre en place des valeurs limites de ces indices que nous pourrions atteindre dans notre contexte spécifique. Nous pouvons d'apprécier les meilleures solutions de point de vue énergétique, économique et de confort.

									mois
Protection solaire	12600	10.5	15785.43	200.45	63141.75	52641.81	39.15	40631.85	3mois
Inertie thermique	37800	22.5	12727.57	161,62	50190.3	4242.52	50.94	53583.3	8mois
Fenêtres Performances	-	-	20737.23	263.33	83948.95	6912.41	20.06	19824.65	-
Ventilation	-	-	11729.02	148.94	4619.1	3909.67	54.78	-	-
Modèle optimal	134100	111.50	9932.73	126.13	39730.95	3310.91	61.71	64042.65	5 ans 1mois

#### 4 CONCLUSION

Dans cette étude, nous avons proposé des solutions passives innovantes et disponibles sur le marché local, afin d'améliorer la performance énergétique des bâtiments résidentiels de Bechar.

Pour ce faire, nous avons effectué une simulation dans le but d'améliorer des indices de performance tel que l'indice de confort d'été IPS et deux indices de la consommation d'énergie IPR et l'Eco.

Le résultat de cette simulation a montré également la synthèse suivante :

L'isolation extérieure des parois verticales ou horizontales, présente une amélioration positive en confort d'été et une consommation d'énergie très importante. Les pertes thermiques sont réduites en hiver, et en été, l'isolation permet de diminuer les apports de chaleur par les parois.

Le système d'inertie thermique qui agit principalement en été, marque un déphasage dans notre climat chaud, apporte des bénéfices en été comme en hiver. Plus l'inertie est élevée, plus les améliorations dans les trois indices sont donc effectives.

Le système de protection horizontale nous a démontré donc un impact significatif sur l'indice de confort d'été, ainsi des réductions importantes en valeur des indices IPS et IPR. Alors, dans notre site, à la rudesse du climat, il est nécessaire de protéger nos constructions par des protections horizontales.

Le système de ventilation naturelle permet une amélioration importante de confort d'été comme en besoin de climatisation. Ceci se traduit par une baisse des valeurs des indices IPS et IPR. La cour qui joue un rôle de régulateur thermique permet à la fois d'une ventilation nocturne en été et échange calorifique.

Par contre, les fenêtres performantes a donc un impact négatif sur le besoin en rafraîchissement.

Nous pouvons constater que la meilleure solution et la plus économe en consommation énergétique est réalisée par le système d'isolation, avec une réduction de 56,08 %, et 54% pour l'inertie thermique. Aussi, le système de ventilation naturelle présente une réduction 50,94%. Les systèmes de la toiture isolée et la protection horizontale permettent une réduction de 32,53%, 20,067% et 39,15% en été uniquement. Par contre, le système des fenêtres performantes ne produit pas de changement important au niveau de la consommation énergétique globale.

Plusieurs études ont été réalisées dans le but d'augmenter la performance énergétique des bâtiments résidentiels. Citons l'étude d'une maison traditionnelle avec ouverture horizontale (horizontal opening) de la même région en 2016 réalisée par FIZIOUI N., nous montre une amélioration importante de la température intérieure. Aussi la thèse rédigée par MOTHANNA S., propose un label énergétique destinée aux bâtiments résidentiels de la région Est-Méditerranée. Ce résultat permet de valider les choix en systèmes d'amélioration vis-à-vis de l'économie en consommations énergétiques. L'étude réalisée par FLORY C., en 2008, présente d'une rénovation d'une maison à Marseille, dans le sud de la France, montre une réduction des besoins par les systèmes passifs adoptés comme l'isolation transparente, des fenêtres performantes (double vitrage basse émissivité).

Par la suite, nous avons effectué un couplage entre quelques solutions retenues, dans le but de mettre en évidence les limites des améliorations énergétique et techniques possible pour les bâtiments résidentiels. En fin, nous avons élaboré une étude de ces solutions sur une base d'évaluation économique afin de préconiser les notions de coût d'investissement et de temps de retour sur investissement. Un très large spectre des coûts d'investissement qui traduit la diversité des solutions techniques et de leur poids économiques.

Il nous semble dès lors nécessaire de revenir aux systèmes passifs innovants, disponibles et efficaces énergétiquement afin d'améliorer la performance énergétique des bâtiments résidentiels existants ou neufs.

## REFERENCES

- [1] RABOUILLE M., thèse de doctorat, Recherche de la performance en simulation thermique dynamique : application à la réhabilitation des bâtiments. Génie civil. Université de Grenoble, 2014. Français
- [2] CHAHWANE L., thèse de doctorat Valorisation de l'inertie thermique pour la performance énergétique des bâtiments. Architecture, aménagement de l'espace. Université de Grenoble, 2011. Français
- [3] FLORY-CELINI C., thèse de doctorat en modélisation et positionnement de solutions bioclimatiques dans le bâtiment résidentiel existant, université Lyon 1, 2008, p. 31.
- [4] DURAN. C.S., Architecture and energy. Un enjeu pour l'avenir pp 10, 2011, paris, Edition place des victoires383p
- [5] ADRA N., Thèse de doctorat, 2001 Proposition d'une procédure de certification énergétique des logements et application au contexte libanais
- [6] IBRAHIM M., Improving the buildings envelopes energy performance using aerogel-based insulating mineral rendering, Mohamad Ibrahim 2015
- [7] BONTEMPS S. Validation expérimentale de modèles : application aux bâtiments basse consommation. Construction durable. Université de Bordeaux, 2015. Français.
- [8] MOTHANNA S., thèse de doctorat, Développement d'un label énergétique destiné aux bâtiments résidentiels de la région Est-Méditerranée (Syrie et Liban). Architecture, aménagement de l'espace. Conservatoire national des arts et métiers - CNAM, 2014. Français. .
- [9] SDO, Données annuelles d'Electricité et du Gaz.
- [10] Règlementation thermique des bâtiments d'habitation, Règles de calcul des déperditions calorifiques Fascicule 1 (D.T.R C3-2) 1972
- [11] EUGENE D.V., Isolation thermique des constructions en Algérie, Alger 1986 p225
- [12] BRIGITTU V., Choisir une énergie renouvelable adaptée à sa maison,
- [13] , EYRELLES, 2006 pp5 p93
- [14] DJELLOUL A., Simulation du comportement énergétique des bâtiments résidentiels au sud algérien, Courrier du Savoir – N°17, Décembre 2013, pp.113-119
- [15] BENOUDJAFER I., Etude comparative relative à l'efficacité énergétique de deux appartements situés à Béchar, Algérie, , Revue des Energies Renouvelables Vol. 15 N°1 (2012) 1 - 12
- [16] RIVALIN L., thèse de doctorat, Vers une démarche de garantie des consommations énergétiques dans les bâtiments neufs : méthodes d'évaluation des incertitudes associée à la simulation thermique dynamique dans le processus de conception et de réalisation. PSL Research University, 2016, Français.
- [17] GRIGNON-M. L., thèse de doctorat Développement d'une méthodologie d'analyse coût-bénéfice en vue d'évaluer le potentiel de réduction des impacts environnementaux liés au confort d'été : cas des climatiseurs individuels fixes en France métropolitaine.
- [18] FEZIOUI N., et all : The traditional house with horizontal opening: a trend towards zero energy house in the hot, dry climates, Science