

VERS UNE AMELIORATION DE LA PERFORMANCE ENERGETIQUE DES HABITATIONS : CAS DE LA VILLE DE BECHAR

Ibtissam BENOUDJAFER, Noureddine ZEMMOURI

*) Laboratoire LMS, Département d'Architecture, Faculté de Technologie, Université
Tahri Mohamed Bechar, Algérie

e-mail: benoudjaafar.ibtissem@univ-bechar.dz

**) Professeur, Département d'Architecture, Faculté de Technologie, Université
Mohamed Kheider Biskra, Algérie

e-mail: pr.zemmouri@gmail.com

RESUME

L'objectif principal de cette synthèse de recherche consiste à évaluer le niveau du confort thermique des bâtiments collectifs de la ville de Bechar, pour réduire la consommation d'énergie et améliorer la performance énergétique de ces habitations. La situation actuelle montre que la majorité des habitations semblent inadaptés à la rudesse du climat, où l'enveloppe provoque un environnement thermique interne très sévère, surtout en période estivale. Les bâtiments résidentiels sont devenus énergivores, conséquence de l'utilisation d'appoints mécaniques pour le refroidissement en été, il n'existe pas d'autres solutions qui assurent un confort thermique. Cette situation d'inconfort est provoquée par l'absence totale des systèmes d'isolation ou des dispositifs architecturaux. À ce propos, la méthodologie proposée pour cette recherche implique un état de l'art sur la performance énergétique, ainsi qu'une investigation fondée sur un questionnaire comme outil de recherche, ainsi qu'un travail expérimental avec une analyse comparative entre les résultats expérimentaux et de simulation. Pour ce faire, à l'aide de la simulation thermique (TRNSYS®), nous avons proposé des solutions passives, pour améliorer la performance énergétique des logements. Les résultats de simulation montrent une évaluation remarquable des indices de la performance énergétique, une réduction parfaite de la consommation énergétique. A la fin de notre recherche, nous allons proposer une certification énergétique, comme une stratégie durable adaptée pour la région aride et semi-aride.

Mots clés : bâtiment résidentiel, régions arides, confort thermique, solutions passives, simulation dynamique, consommation énergétique.

ABSTRACT

The main objective of this research synthesis is to assess the level of thermal comfort of collective buildings in the city of Bechar, to reduce energy consumption and improve the energy performance of these dwellings. The current situation shows that the majority of homes seem unsuited to the harsh climate, where the envelope causes a very severe internal thermal environment, especially in summer. Residential buildings have become energy-intensive, as a result of the use of mechanical back-ups for cooling in summer, there are no other solutions that provide thermal comfort. This situation of discomfort is caused by the total absence of insulation systems or architectural devices. In this regard, the methodology proposed for this research involves a state of the art on energy performance, as well as an investigation based on a questionnaire as a research tool, as well as an experimental work with a comparative analysis between the experimental results and simulation. To do this, using thermal simulation (TRNSYS©), we have proposed passive solutions to improve the energy performance of housing. The simulation results show a remarkable evaluation of the indices of energy performance, a perfect reduction of energy consumption. At the end of our research, we will propose an energy certification, as a sustainable strategy adapted for the arid and semi-arid region.

Keywords: building, arid region, improvement, passives solutions, Comfort, Energy- Consumption.

INTRODUCTION

Le secteur du bâtiment est le plus gros consommateur d'énergie de ces dernières années et un grand intérêt s'est manifesté pour améliorer la performance énergétique des bâtiments afin de maîtriser l'utilisation de l'énergie. Cet article présente une synthèse de la thèse de doctorat intitulée : **«vers une amélioration de la performance énergétique des habitations : Proposition d'une certification énergétique comme une stratégie durable. Cas de la ville de Bechar »**, sous la direction du Professeur ZEMMOURI Nouredine, à l'université Mohamed Kheider Biskra.

Cette recherche présente une large étude de la performance énergétique du secteur résidentiel dans les régions arides (Béchar, Sud-Ouest algérien), qui caractérise par une expansion urbaine dynamique et des caractéristiques de croissance démographique des villes côtières de cette région, avec une absence totale d'application des réglementations sur la chaleur ou l'énergie. Cette région offre d'importantes opportunités de réduction de la consommation d'énergie.

Les objectifs de cette étude sont d'examiner le comportement thermique des bâtiments et de favoriser l'efficacité énergétique pour trouver un modèle optimal. Dans le contexte économique et environnemental, il est nécessaire d'étudier des améliorations des différentes solutions passives, en utilisant une étude expérimentale confrontée par une simulation dynamique. Dans ce contexte, cette synthèse vise à réaliser des performances énergétiques afin d'évaluer des solutions permettant de concilier amélioration du confort d'été et réduction de la consommation énergétique. (BENOUDJAFER I., 2018)

Le secteur du bâtiment (résidentiel) est pleinement concerné par cette problématique car il représente le principal consommateur d'énergie en Algérie, devant celui du transport. Ces derniers consomment à eux seuls près de 60 % de la consommation globale. (LAOUFI S., 2020)

De ce fait, il présente un fort potentiel d'amélioration à la fois sur les plans énergétiques et environnementaux. Il convient de souligner que l'Algérie a pris conscience de valoriser toutes les ressources pour améliorer le cadre énergétique des constructions. Citons la mise en application de la loi 99.09 relative à la maîtrise de l'énergie dans le secteur du bâtiment et, un décret exécutif n°2000-90 qui a pour objectif l'introduction de l'efficacité énergétique dans les bâtiments neufs, à usage d'habitation et autres dans les parties de constructions réalisées comme extension des bâtiments existants. (FEZIOUI N., 2016)

Nous pouvons récolter des informations nécessaires sur la situation énergétique des constructions dans cette ville. A l'aide des enquêtes in situ, nous avons remarqué un état d'inconfort pour la majorité de ces constructions. A travers son histoire récente, la ville de Bechar est passée par différents contextes politiques, sociaux et économiques qui ont influencé directement sur la production des habitations adaptées aux éléments climatiques.

Vu l'aridité de cette région, l'évolution de l'architecture a connu trois grandes époques : précoloniale, où l'architecture vernaculaire des ksour est façonnée par le climat, en gardant la forme bâtie compacte, avec une cour intérieure pour refroidir les espaces intérieurs et utiliser des matériaux locaux de grande inertie thermique. Certains ksour restent des sites remarquables aujourd'hui par l'originalité de l'adéquation entre les besoins en habitat et les paramètres locaux (climat, matériaux...etc.). Après l'avènement français, l'architecture dite arabisante est devenue plus confortable en répondant aux conditions climatiques de la région. Les techniques de constructions sont développées par d'autres techniques universelles, comme l'utilisation de la terre cuite et le béton armé. Actuellement, la conception architecturale de la plupart des édifices n'est pas appropriée aux conditions climatiques. Même les procédés constructifs ne sont pas conformes aux notions hygrothermiques. Pour cela, les bâtiments à usage d'habitation consomment beaucoup d'énergie non renouvelable pour

arriver au bien-être des occupants vis-à-vis de leur environnement. (BENOUDJAFER I., 2012)

Dans ce contexte, le but de notre recherche est d'évaluer l'état actuel du confort et du niveau des dépenses énergétiques des locaux résidentiels. La problématique est sans doute l'évaluation de la performance énergétique du cadre bâti, et plutôt leur élaboration pour réaliser des rénovations performantes. Le problème principal ici est l'inconfort des habitations malgré la consommation élevée d'électricité en période de surchauffe. Il revient à étudier le montant des rénovations à assumer par les ménages pour atteindre un confort. Il faut en outre veiller à ne pas « tuer » le gisement d'économies d'énergie, c'est-à-dire à ne pas raisonner à court terme en cherchant le retour sur investissement le plus court possible.

REVUE DE LITTERATURE

De manière générale, le bâtiment peut être défini comme une construction dotée d'un toit et de murs, dans laquelle de l'énergie est utilisée pour réguler le climat intérieur [Parlement européen, 2010]. L'Union Européenne à l'horizon 2020, définit la performance énergétique d'un bâtiment comme la quantité d'énergie nécessaire pour répondre aux besoins énergétiques liés à une utilisation normale du bâtiment, ce qui inclut l'énergie utilisée par ses systèmes techniques. Les systèmes techniques représentant les sources de consommation énergétique à considérer selon la directive européenne. 1.1.

CHAHWANE et al., ont considéré que le confort des édifices dépend, en grande partie, de l'enveloppe et ses matériaux. On est obligé de choisir la composition de l'enveloppe de manière intuitive ou de procéder à de nombreux tests pour évaluer une solution qui soit meilleure parmi d'autres (CHAHWANE.2011)

Définition de la certification énergétique des bâtiments

Dans ce secteur de la construction, les termes « label », « certification » ou « norme » ont des sens bien précis. La certification est un processus de vérification du respect d'un référentiel qui reconnaît officiellement les caractéristiques environnementales d'un bâtiment. La certification est réalisée par un organisme indépendant de la structure ayant conçu le référentiel. (STEEMERS K., 2002)

Le terme « **certification** » est défini comme une procédure d'évaluation de la consommation d'énergie d'un bâtiment ; présente une valeur du niveau de performance énergétique d'un bâtiment. La directive européenne (N.93/76/EEC, 1993) stipule que la certification énergétique des bâtiments consistent en une description des caractéristiques énergétiques et fournir aux

utilisateurs des informations sur l'efficacité énergétique d'un bâtiment. Quand cela est possible, la certification peut aussi inclure des solutions pour l'amélioration de ces caractéristiques énergétiques. (ADRA N., 2001)

Dans le cadre de la certification énergétique, quelques études ont été réalisées, citons l'étude rédigée par ADRA Nadine, dans sa thèse intitulée : « *Proposition d'une procédure de certification énergétique au Liban* » qui a proposé une démarche méthodique pour proposer une procédure d'une certification selon l'évaluation de comportement des occupants. (ADRA N., 2001)

En outre, l'étude effectuée par Salama Mothanna, dans sa thèse intitulée : « *Développement d'un label énergétique destiné aux bâtiments résidentiels de la région Est-Méditerranée (Syrie et Liban)* ». Une série d'enquêtes est élaborée sur le terrain pour mettre en évidence les problématiques énergétiques des bâtiments résidentiels dans la ville de Tartous, et établir une base de données servant de référentiel sur les modes de construction et les systèmes utilisés. L'originalité de cette étude est d'aborder la réalité du terrain en adoptant un outil de STD, en nous appuyant sur les spécificités de fonctionnement et d'usage du bâtiment et ses équipements de chauffage, de climatisation, d'eau chaude sanitaire et d'électroménager. Des systèmes d'amélioration étudiés, permettent de déterminer des nouveaux indices réglementaires, caractérisant un nouveau label énergétique RT2012-EM. (MOTHANNA S., 2014)

Les récentes avancées permettent d'avoir des outils performants, des codes validés, des possibilités de couplage et des méthodologies permettant de simuler de façon globale le comportement du bâtiment. Citons l'étude menée par MADI K., portant sur une étude des performances énergétiques des bâtiments en Afrique sub-saharienne par la simulation. Les motivations de cette étude est la simulation thermique dynamique comme outil de diagnostic à l'aide d'une conception des bâtiments passifs et de basse consommation énergétique dans le climat tropical en général et au Burkina Faso en particulier. (MADI K., 2015)

L'étude bibliographique sera présentée sur les différentes approches les plus répandues et les plus pertinentes pour l'évaluation de la performance énergétique du bâtiment. Elle permet d'identifier les critères et indicateurs pris en compte par ces méthodes et d'étudier leur pertinence depuis les premières phases de conception d'un bâtiment.

A la fin, il s'agira d'approfondir les connaissances sur le comportement thermique des bâtiments résidentiels par l'expérimentation et la simulation d'une part et, d'autre part d'explorer des solutions passives permettant d'évaluer le confort de l'environnement intérieur du bâtiment et, par conséquent de diminuer les heures d'inconfort. L'approfondissement de cette recherche s'orientera vers la compréhension des enjeux énergétiques, environnementaux, sociétaux et économiques du secteur résidentiel.

METHODOLOGIE

Cette recherche est déterminée en trois étapes :

1. Un état de l'art

Une recherche bibliographique sur la certification énergétique et la performance énergétique des bâtiments à usage d'habitation.

2. Une enquête in situ

À l'aide d'une série d'enquêtes in situ, nous pouvons élaborer un diagnostic sur la situation de l'habitat de la ville de Bechar. Un résultat de questionnaires pour une étude plus spécifique sur les bâtiments résidentiels actuels permettra de mettre en évidence les défauts de ces constructions. Cette démarche empirique sera consacrée à la mise en place des enquêtes à destination des ménages et des professionnels. À la suite du travail, après avoir exposé les difficultés de cette démarche (accès aux informations, validité des données, manque d'études et de statistiques récentes), nous présentons les spécificités des constructions dans le contexte saharien.

3. La confrontation des Mesures expérimentales et de simulation

Cette démarche est effectuée pour décrire l'état réel d'une habitation en termes de confort et la consommation énergétique. Pour cela, des mesures judicieusement choisies pour un appartement de référence qui sera retenu pour la réalisation d'une série de mesures et d'acquisitions des données.

4. Une simulation dynamique thermique

A l'aide des logiciels de simulation dynamique et thermique, nous pouvons comparer les résultats expérimentaux avec les résultats de la simulation thermique dynamique. Le différentiel entre les résultats expérimentaux et ceux issus de la simulation permettent de conforter notre démarche.

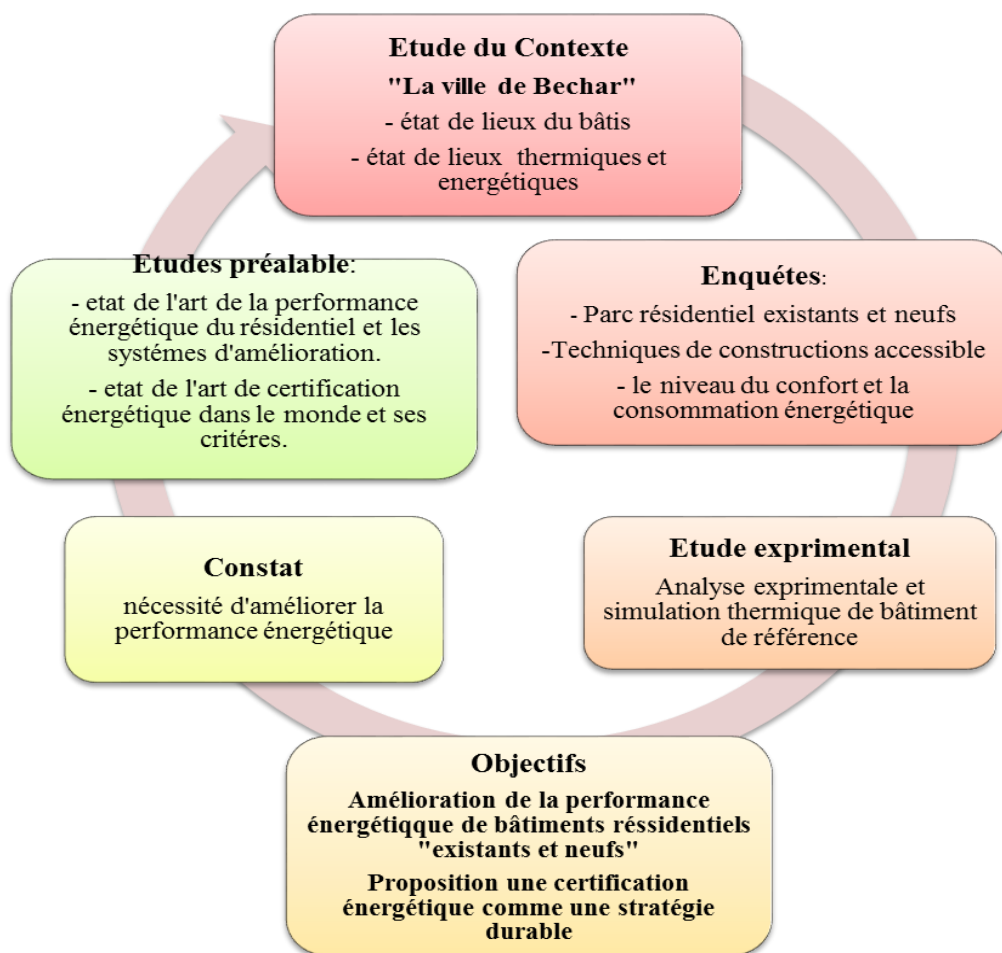


Figure 1 : la méthodologie de la recherche (Benoudjafer. I, 2018)

Panorama sur l'énergie de la ville de Bechar

Un aperçu énergétique de la ville de Bechar, présente une étude de la consommation énergétique, afin de maintenir les occupants des bâtiments dans le confort thermique pendant les périodes chaudes qui occupent une grande partie de l'année.

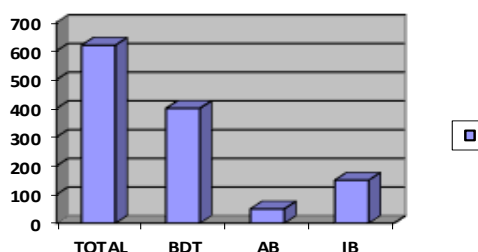


Figure 2 : Consommation énergétique électrique annuelle de la ville de Bechar en GWh
[Source, S.D.O Bechar 2020] (SDO, 2020)

Contexte actuel de construction de la ville de Bechar

La région de Béchar, malgré la présence de plusieurs ressources capables de combler le besoin en matière de matériaux de construction, demeure dépendante de celles qui proviennent des autres wilayas :

- Le ciment : constitue l'ingrédient numéro 1 dans la construction dans la région, utilisé pour la fabrication du béton armé et le parpaing, il est importé essentiellement des wilayas de Saïda, Mascara et M'sila. (BENOUDJAFER I., 2019)
- Le parpaing en ciment : est disponible, fabriqué localement, il est utilisé en particulier dans la construction individuelle mais reste lié à la crise du ciment.
- La brique rouge : présente une isolation thermique et sonore, et une étanchéité ainsi que sa résistance au feu, est utilisée dans différents types de construction. (EUGENE D.V., 2006),
- La construction se caractérise par un inconfort en hiver et en été (dû essentiellement aux températures) ; (BENOUDJAFER I., 2012)
- l'utilisation du système de climatisation diminue les problèmes d'inconfort provenant de l'extérieur (chaleur, bruit, poussière, ...).
- L'électricité est l'énergie de climatisation la plus utilisée. Le gaz est l'énergie utilisée pour le chauffage et l'eau chaude.
- La plupart des gens trouve que la solution d'amélioration réside dans les systèmes de chauffage et de climatisation, mais elle ne contribue pas à la diminution de consommation de l'énergie.

RESULTAT DES SIMULATIONS ET DISCUSSIONS

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 depuis plusieurs années. Le logiciel calcule le comportement de différentes zones thermiques d'un bâtiment en régime dynamique, il permet notamment 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.) il y a possibilité de modéliser tous les éléments souhaités dans l'enveloppe et son système.

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. (FLORY-CELINI C., 2008)
- **Fenêtres performantes** : en utilisant un double vitrage. C'est un élément essentiel, avec un rôle important aux niveaux énergétique et visuel. (BONTEMPS S. 2015)
- **Isolation des parois opaques et toiture** : en utilisant des plaques en polystyrène expansive 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. » (EUGENE D.V., 2006),

«L'isolation est sans doute le facteur le plus important puisqu'elle conditionne votre consommation de chauffage en hiver, voir la climatisation en été » (EUGENE D.V., 2006),

- **Des protections solaires horizontale** : doivent être mises en place au sud afin d'éviter les apports externes en été. (BENOUDJAFER I., 2018)
- **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. (DURAN. C.S., 2011)

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 tableau 1.

Tableau 01: Valeurs de l'indice Iéco selon chaque système d'amélioration

	B Référence	B isolation parois opaque	B toiture	B fenêtres performant es	B protection horizontale	B ventilation	B inertie thermique
Cep-chauffage	277.71	101.44	185.01	223.00	160.12	101.4	112,95
Cep-froide	51.73	47.25	37.25	40.33	41.25	47.50	48,67
TOTAL	329.44	144.69	222.26	263.33	200.45	148.94	161,62
Iéco	-	184.75	107.18	66.11	128.99	180.5	167.82
Réduction %		56,08	32,53	20,067	39,15	54,78	50,94
IPR %	-	+54,86	+32,53	+20,06	+39,15	+54,78	+50,94
Jugement	-	Retenue	Retenue	éliminée	Retenue	Retenue	Retenue

Source : Benoudjafer. I, 2018.

- Cep-chauffage : consommation d'énergie en chauffage (KWh/m2an)
- Cep-froide : consommation d'énergie en climatisation (KWh/m2an)
- Iéco : $Iéco = (Cep\ chauffage - Réf - Cep\ chauffage Sys) + (Cep\ froide - Réf - Cep\ froide - Sys)$

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

- Le système de protection horizontale : nécessite de protéger la toiture du soleil, surtout en été où le climat de Bechar, très ensoleillé, et très chaud (dépassant 45C° en été). Ceci a un impact significatif sur le besoin de climatisation, traduit par une réduction de 39.15%. .
- Le système de ventilation naturelle : en créant une cour intérieure, permet une amélioration importante en performance de confort d'été comme d'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 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.

Évaluation des solutions choisies selon une analyse multicritère

L'analyse multicritère doit être menée selon différentes valeurs pour chaque critère (énergétique, confort, économique). La grille représentée en tableau 5.1 donne les plages de performance notées de 1 et 6.

On a choisi pour évaluer les différentes solutions techniques étudiées de pondérer selon les différents critères de la façon suivante :

- Critère n°1 : **PONDERATION IDENTIQUE** pour le critère énergétique, confort, et économique.
- Critère n°2 : **CRITERE CONFORT** : on multiplie les notes de confort par 3, alors que sont maintenus identiques les notes en énergétique et économique.
- Critère n°3 : **CRITERE ECONOMIQUE** ; on multiplie par 3 les notes économiques alors que sont maintenues identiques les notes en énergétique et en confort. (IBRAHIM M., 2015)
- Critère n°4 : **CRITERE ENERGETIQUE** ; on multiplie par 3 les notes énergétiques alors que sont maintenus identiques les notes en confort et économique.
(RIVALIN L., 2016)

Les solutions techniques étudiées présentent par ailleurs un temps de retour sur investissement très avantageux et très rentables (5 ans et 3 mois) et un indice de confort de qualité. Nous pourrions donc préconiser une pondération de chaque solution, et les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2. Analyse multicritère entre le confort thermique (IPS), l'indice Bbio, l'indice Cep, le coût d'investissement et le temps de retour TR.

		Pondération*					
		3	1	2	3	4	5
		Classe	F	E	D	C	B
	Catégorie	Très énergivore	Energivore	Peu énergivore	Moyen	Energétique	
CONFORT	IPS min	0.25	0.35	0.45	0.55	0.65	
ENERGETIQUE	Cep max KWh/m2.an	>300	250-300	250-200	150-200	150- 100	
ECONOMIQUE	Coût d'investissement DA/m2	15000-20000	10000 - 15000	5000-10000	1000-5000	0-1000	
	Temps de retour	>15ans	Entre 8 ans à 12ans	Entre 4ans à 8ans	Entre 2ans - 4ans	Entre 0 à 2ans	
	Prix d'électricité DA	>60000	48000-60000	36000-48000	36000 - 24000	24000	
	Pondération *3	1	2	3	4	5	

Source : Benoudjafer. I, 2018.

CONCLUSION

L'amélioration de la performance énergétique des habitations, à climat sec et chaud, est principalement influencée par l'utilisation des techniques et spécifications adéquates tant au niveau énergétique que mécanique. Une vision globale sur l'architecture vernaculaire a mis en exergue une architecture en relation appropriée à la rudesse du climat. Malgré cela, les bâtiments actuels sont basés sur des technologies provenant d'autres contextes climatiques. Par conséquent, on observe des incohérences dans ce secteur, à incidences sur les ressources naturelles et le bien-être des utilisateurs. Cet état de fait et le fort taux d'urbanisation offrent un énorme potentiel pour la démarche écologique en général, et bioclimatique en particulier. Il est primordial de se pencher sur les enjeux de conception des bâtiments durables de grande performance

énergétique. Pour ce faire, les outils de simulation ont été utilisés pour l'étude de la performance énergétique des bâtiments sous le climat sec et chaud de la ville de Bechar (sud-ouest d'Algérie).

Exclusivement, nous avons élaboré une proposition d'une certification énergétique cohérente avec les spécificités de la région Sub-Saharienne, dite « RT2012-SS ». À l'aide de méthode française RT2012, nous avons effectué une analyse critique, appliquée pour une extension vers la région Sub-Saharienne, en gardant la même structuration du bâtiment et en choisissant les systèmes énergétiques les plus accessibles dans la ville de Bechar, afin de valider la possibilité d'appuyer la forme générale de la méthode RT 2012 dans le contexte de notre région d'étude.

Nous avons ainsi simulé le bâtiment de référence par l'outil de simulation TRNSYS choisi dans le but de calculer les indices réglementaires de performance. Le résultat de cette simulation nous a montré qu'il était possible d'adapter certains indices (Tic Cep) et qui seront remplacés par un nouvel indice (IPS) et d'en rejeter d'autres (Bbio).

Une série de solutions techniques susceptibles d'apporter une amélioration énergétique du bâtiment de référence est proposée. Après, nous avons effectué tous les couplages possibles entre les solutions techniques retenues, dans le but de mettre en évidence les limites des améliorations énergétiques et thermiques possibles pour les bâtiments résidentiels de la ville de Bechar. Concernant l'amélioration des performances des parois opaques, nous avons examiné la configuration d'une isolation par l'extérieur (la technique des plaques en polystyrène expansé), pour les murs et la toiture.

D'autres solutions passives suivantes ont été proposées : la ventilation, la protection horizontale, les fenêtres performantes et l'inertie thermique. De simples solutions conduisent à l'amélioration des performances thermiques tant répandu dans notre zone climatique. L'impact d'une isolation thermique des parois opaque permet d'atteindre un confort thermique (28.5°C), c'est-à-dire un abaissement de 3°C . La configuration de toiture avec protection horizontale ne permet pas une amélioration efficace de la performance énergétique. La ventilation nocturne, par des cours intérieures, est une solution passive pertinente pour nos régions et donne un résultat optimal en période estivale.

L'utilisation des fenêtres performantes, en posant un double vitrage est nouvelle dans notre région. Cette solution passive a été proposée en se focalisant sur les apports solaires et l'éclairage naturel. L'utilisation des fenêtres performantes dans le bâtiment étudié entraîne une réduction de l'ordre de 22% sur l'énergie extraite pour le refroidissement du bâtiment climatisé et une réduction de l'ordre de 5% lors des périodes d'inconfort.

Renforcer l'inertie thermique des parois opaques a aussi fait l'objet d'étude d'optimisation dans notre contexte climatique. Enfin dans ce travail, l'utilisation des techniques d'analyse du bâtiment nous ont permis d'émettre

des recommandations sur la conception des bâtiments dans notre contexte climatique. Cette évaluation a commencé par des calculs des indices règlementaires de la performance énergétique

IPS, Bbio et Cep concernant un bâtiment de référence, qui ont montré des valeurs élevées traduisant une qualité énergétique médiocre du bâtiment actuel de référence.

Cette amélioration effectuée par un couplage entre des systèmes passifs choisis, a permis de mettre en place des valeurs limites de ces indices que nous pourrions atteindre dans notre contexte spécifique. Par la suite, nous avons réalisé une analyse multi critère, afin d'apprécier les meilleures solutions de point de vue énergétique, économique et de confort. Cette étude nous permet de fournir une certification énergétique simple et basée sur des sources d'information réelles qui produit une amélioration importante en performance énergétique et en confort, limité pour la rénovation des bâtiments résidentiels existants et les bâtiments neufs.

Enfin, nous avons élaboré une étude globale des solutions techniques retenues et de leurs couplages, sur une base économique, afin de préconiser des valeurs de référence pour les indices de performances retenus dans cette proposition de la certification énergétique destinée aux bâtiments résidentiels de la région Subsaaharienne.

L'analyse technico-économique a été effectuée dans l'ensemble des systèmes techniques sous la forme des coûts d'investissement, de consommations, d'économie réalisée et de temps de retour sur l'investissement.

La procédure que nous avons présentée est l'originalité de considérer la structure du bâtiment, ses systèmes et les différents scénarios d'usages comme un ensemble mais également de répondre aux contraintes locales des professionnels et du marché. En outre, sa structure, similaire à la réglementation française RT2012, nous permet d'espérer une application dans la région Sub-Saharienne, similaire à la RT2012 en France.

Cette synthèse a donc permis de structurer un certificat énergétique susceptible d'être appliqué aux bâtiments de référence dans la région Sub-Saharienne (à climat chaud et sec), ce qui peut permettre d'effectuer une réduction significative de la consommation énergétique et, en même temps, d'améliorer l'état du confort de ces bâtiments. Cette proposition d'une certification énergétique, comme une stratégie durable, sollicite une diffusion auprès d'un outil pertinent de la simulation thermique dynamique du bâtiment. Les certifications énergétiques sont un des mécanismes utilisés pour mettre en œuvre une amélioration de la performance et l'efficacité énergétique. Ils ont pour objectif de faciliter les investissements permettant de réduire la consommation d'énergie, à la fois par un soutien financier, la fourniture

d'informations et de conseils aux investisseurs et la structuration des professionnels.

REFERENCES

- Adra, N. (2001) Proposition d'une procédure de certification énergétique des logements et application au contexte libanais, Thèse de doctorat. Ecole doctorale en Genie Civil, Acoustique (MEGA) (Villeurbanne), Lyon, INSA.
- Benoudjafer, Ib. Benoudjafer, Im. Laoufi, S. (2022) Towards Low Energy and Thermal Comfort of Buildings through Passive Cooling/Heating Strategies in Hot Arid Climates, *Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences* ISSN: 2289-7879. DOI : 10.37934/arfmts.93.2.173182. https://semarakilmu.com.my/journals/index.php/fluid_mechanics_thermal_sciences/article/view/170
- Benoudjafer, Ib. Benoudjafer, Im. (2020) Innovation Façade for an energy performance and thermal comfort of building in hot and dry climate, *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 12(3), pp.1350-1365, ISSN 1112-9867, DOI: 10.4314/jfas.v12i3.23
- Benoudjafer, Ib. Benoudjafer, Im. Laoufi, S. (2022) Analyse technico-économique et avantages-coûts des murs verts pour la construction en climat extrême : étude de cas au sud-ouest de l'Algérie, *Advanced Research In Fluid Mechanics And Thermal Sciences* ISSN: 2289-7879. DOI : 10.37934/arfmts.94.1.108119 https://semarakilmu.com.my/journals/index.php/fluid_mechanics_thermal_sciences/article/view/258 <https://doi.org/10.37934/arfmts.94.1.108119>
- Benoudjafer, Ib. (2018) Amélioration de la performance énergétiques des habitations : proposition une certification énergétique comme une stratégie durable. Cas la ville de Bechar, Thèse de doctorat, Université Mohamed Kheider, BISKRA, 160Pages.
- Benoudjafer, Im. Benoudjafer, Ib. Tomoiaia-Cotisel, M. (2021) L'effet de la porosité des granulats sur l'évolution de la conductivité thermique d'un béton de résine exposé à des températures élevées, DOI : 10.37789/rjce.2021.12.2.4
- Benoudjafer, Ib. Ghomari, F. Mokhtari, A. (2012) Etude comparative relative à l'efficacité énergétique de deux appartements situés à Béchar, Algérie. *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 15 N°1, 1 - 12.
- Benoudjafer, Ib. Zemouri, N. (2018) Etude de l'amélioration de la performance énergétique de bâtiments résidentiels à climat sec et chaud, *Courrier du Savoir* – N°26, pp245-258.
- Bontemps, S. (2015) Validation expérimentale de modèles : application aux bâtiments basse consommation. *Construction durable*. Université de Bordeaux, France.
- Brigittu, V. (2006) Choisir une énergie renouvelable adaptée à sa maison, *EYRELLES*, pp5 p93.
- Chahwane, L. (2011) Valorisation de l'inertie thermique pour la performance énergétique des bâtiments. Thèse de doctorat en Architecture, aménagement de l'espace, Université de Grenoble, France.
- Duran, C.S. (2011) *Architecture and energy. Un enjeu pour l'avenir*, Edition place des victoires, Paris, pp 10, 383p.

- Eugene, D.V. (1986) Isolation thermique des constructions en Algérie, Alger p225
- Flory-Celini, C. (2008) Modélisation et positionnement de solutions bioclimatiques dans le bâtiment résidentiel existant, Thèse de doctorat, Université Lyon 1, p. 31.
- Ibrahim, M. (2015) Improving the buildings envelopes energy performance using aerogel-based insulating mineral rendering.
- Laoufi, S. Draoui, B. Imine. (2020) Predicting Energy Requirement for Cooling and Heating the Building Located in South West of Algeria (Bechar) Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences, 75, Issue 3, 13-24.
- Mothanna, S. (2014) Développement d'un label énergétique destiné aux bâtiments résidentiels de la région Est-Méditerranée (Syrie et Liban). thèse de doctorat, Architecture, aménagement de l'espace. Conservatoire national des arts et métiers - CNAM, France.
- Rabouille, M. (2014) Recherche de la performance en simulation thermique dynamique : application à la réhabilitation des bâtiments. Thèse de doctorat Génie civil, Université de Grenoble, France.
- Rivalin, L. (2016) 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, Thèse de doctorat, PSL Research University, France.
- (SDO, 2018), SDO, Données annuelles d'Electricité et du Gaz.
- Règlementation thermique des bâtiments d'habitation, Règles de calcul des déperditions calorifiques, Fascicule 1 (D.T.R C3-2) 1972, 2005.