

Salah KACHKOUCH^{1,*}
Brahim BENHAMOU²

¹ Université Cadi Ayyad,
Laboratoire EnR2E, Centre
National d'Etudes et de
Recherches sur l'Eau et
l'Energie.

^{1,2} Département Physique
LMFE, Laboratoire associé
CNRST URAC 27 / Faculté des
Sciences Semlalia, 40001
Marrakech, Maroc

* Auteur correspondant
(s.kachkouch@ced.uca.ma)

PERFORMANCES ENERGETIQUES D'UN ESPACE BUREAU TYPE OPEN-SPACE SITUE AU NORD DU MAROC

Résumé : Cette étude concerne la modélisation d'un espace bureau de type « Open-space » situé dans un immeuble de plusieurs étages au nord du Maroc. Cette zone de bureaux est située au dernier étage de l'immeuble et dispose d'une seule façade. Quelques techniques passives telles que l'isolation thermique de la toiture et de la façade et intégration d'une protection solaire sur la baie vitrée de la façade sont intégrées à ce bâtiment afin d'augmenter son efficacité énergétique. L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet sur la consommation énergétique annuelle du local étudié (en chauffage et en climatisation). Les effets de ces systèmes passifs sur la charge thermique ainsi que sur la consommation énergétique annuelle sont analysés à travers la modélisation de 5 cas. Dans le premier cas, les quatre orientations (Nord, Est, Ouest et Sud) ont été étudiées pour déterminer l'orientation optimale. Ce premier cas est le bâtiment standard sans isolation thermique, dans le second cas, seule la façade a été isolée, le troisième avec l'isolation du toit seulement, le quatrième comprend l'isolation thermique de la toiture et la façade et le cinquième cas comprend tous les systèmes étudiés (isolation thermique + protection solaire). Les résultats montrent que certains de ces systèmes permettent de réduire la consommation énergétique annuelle. Dans le premier cas, la température de la zone de bureau varie entre 8 et 39°C quelle que soit l'orientation du bâtiment. Donc, pour assurer le confort thermique, l'installation des équipements de chauffage et de climatisation est nécessaire. L'orientation de la façade principale n'a pas une grande influence sur la consommation d'énergie, mais l'orientation Sud reste la plus efficace en termes d'économie d'énergie. L'isolation de la façade principale et la protection solaire n'ont pas une grande influence sur la consommation d'énergie alors que l'isolation du toit permet de réduire la consommation annuelle de plus de 60%.

Mots clés : Systèmes passifs, Isolation, Bâtiment, Modélisation, Performance thermique.

1. Introduction

Les performances énergétiques des bâtiments dépendent de plusieurs paramètres. Pour maintenir le confort thermique, la présence des équipements énergétiques est indispensable. Au Maroc, le coût de l'énergie de fonctionnement de ces équipements peut représenter plus de 40% de la facture totale d'électricité. En outre, l'impact de l'utilisation de ces équipements sur la demande d'électricité est un problème important que vu que la consommation de l'électricité augmente chaque année, ce qui oblige l'Office Nationale de l'Electricité (www.one.org.ma) de construire d'autres centrales supplémentaires. En parallèle, l'utilisation de ces équipements représente un danger pour l'environnement [1].

D'autre part, le Maroc est confronté aux contraintes énergétiques fortes en raison de sa quasi-dépendance (plus de 97 %) de l'extérieur pour son approvisionnement. Le secteur résidentiel et tertiaire représente plus de 25% de la consommation nationale marocaine de l'énergie et émet 30% des émissions des gaz responsables du réchauffement de la planète. Ces chiffres ont tendance à augmenter en raison du développement industriel et urbain au cours de ces dernières années. Il est donc essentiel de réduire la consommation d'énergie en améliorant l'efficacité énergétique, notamment dans le secteur de la construction.

L'isolation de l'enveloppe du bâtiment réduit ses consommations énergétiques. Néanmoins, la température de nuit en plein air en été est souvent inférieure à la température intérieure désirée. Ainsi, les parois sans isolation permettent d'évacuer la chaleur accumulée dans le bâtiment pendant la journée [2-3]. Dans la région méditerranéenne, l'architecture des bâtiments a une influence très importante sur la consommation d'énergie. Il est également nécessaire de mettre en œuvre plusieurs mesures (telles que l'isolation des parois extérieures et des protections solaires) pour minimiser les consommations. Benhamou [4] a réalisé une étude paramétrique pour l'évaluation du confort thermique d'une villa située dans la région de Marrakech. Cette villa est constituée de deux étages et a été conçu pour être efficace en intégrant trois techniques passives: protection solaire, un Echangeur

(EAHX), l'isolation thermique de la toiture et des parois extérieures. Ces trois systèmes passifs ont réduit les charges en chauffage et en climatisation. En outre, les charges en refroidissement du bâtiment ont été réduites en particulier par l'isolation thermique de la toiture, mais les autres systèmes ont un faible effet sur les charges en refroidissement.

Raeissi [5] a réalisé une simulation numérique mono-zone transitoire pour évaluer la réduction de la charge de refroidissement d'une maison de trois options de différent toit: toiture ombragée, couche d'eau sur le toit et les deux ensembles à Shiraz, en Iran. Leurs résultats montrent que ces options ont permis une réduction de 43%, 58% et 79% respectivement

L'objectif de la présente étude est d'évaluer les performances thermiques de quelques techniques passives intégrées à un bâtiment situé au Nord du Maroc. Les résultats ont été obtenus en utilisant un outil de simulation thermique dynamique, le logiciel commercial KoZiBu v2013 [6]. Il permet d'effectuer des simulations pour évaluer les différents paramètres caractérisant l'atmosphère intérieure du bâtiment.

2. Description du local étudié

Le local étudié est un espace bureau (de type Open-space) de 90m² situé au dernier étage d'un immeuble. Dans le premier cas (bâtiment standard), la façade ainsi que le toit ne sont pas isolés et l'orientation de la façade est variable. Les autres parois sont en contact avec l'extérieur sans aucun rayonnement solaire. La composition de ces parois et de la toiture est donnée dans les tableaux 1-2-3. La façade principale est composée d'une surface vitrée de 5.6m² avec un coefficient de transmission $U=2,9$ W/m².K. Elle représente 22,5% de la surface totale de la façade. Les valeurs des propriétés thermiques ont été prises de la réglementation thermique marocaine [7-8]. Le type d'isolation choisi pour cette étude est un isolant écologique, l'isolation naturelle en chanvre.

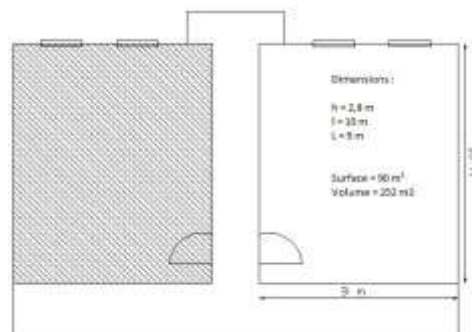


Figure 1 : Schéma de l'espace bureau étudié.

Tableau 1 : Propriétés thermiques des composantes de la façade.

Matériau	Mortier de ciment	Brique rouge	Isolation en chanvre	Mortier de ciment
Epaisseur (m)	0,02	0,2	0,05	0,02
Conductivité thermique (W/m.K)	1,15	1,15	0,038	1,15
Capacité thermique (J/kg.K)	1000	878	1600	1000
Densité (kg/m ³)	1700	1800	40	1700
U (W/m ² .K)	0,8			

Tableau 2 : Propriétés thermiques des composantes des autres murs extérieurs.

Matériau	Mortier de ciment	Brique rouge	Mortier de ciment
Epaisseur (m)	0,02	0,068	0,02
Conductivité thermique (W/m.K)	1,15	1,15	1,15
Capacité thermique (J/kg.K)	1000	878	1000
Densité (kg/m ³)	1700	1800	1700

Tableau 3 : Propriétés thermiques des composantes de la toiture.

Matériau	Mortier de ciment	Béton armé	Isolation chanvre	Mortier de ciment	Carrelage
Epaisseur (m)	0,02	0,2	0,06	0,04	0,006
Conductivité thermique (W/m.K)	1,15	1,75	0,038	1,15	1,7
Capacité thermique (J/kg.K)	1000	653	1600	1000	700
Densité (kg/m ³)	1700	2100	40	1700	2300
U (W/m ² .K)	0,65				

3. Modélisation du bâtiment

Le local étudié est situé à Tanger au Nord du Maroc. La modélisation de ce bâtiment a été réalisée dans des conditions climatiques réelles avec des températures mesurées toutes les heures pendant 4 ans. Pour les autres données météorologiques (rayonnement solaire global, vitesse du vent, ...), nous avons utilisé les valeurs fournies par le site Satel-Light [9], qui fournit des valeurs moyennes des dix dernières années. Le climat de Tanger est typiquement méditerranéen le long de la côte, avec un hiver doux (10-12°C) et arrosé, couplé avec un été chaud et sec (24-30°C).

Les simulations ont été réalisées selon 5 configurations du bâtiment (tableau 5). Le premier (#1) est un cas standard. Dans cette configuration, quatre orientations ont été étudiées pour déterminer l'orientation optimale. Les comparaisons de la consommation énergétique annuelle permettront de déterminer la performance énergétique de chaque système passif étudié et de choisir la solution la plus efficace. Les simulations ont été effectuées en utilisant le logiciel KoZiBu [6] avec les hypothèses suivantes:

- ✓ Les horaires d'occupation: 08h00-18h00,
- ✓ Les équipements énergétiques sont allumés à 07h00 et éteints à 19h00,
- ✓ Présence d'une ventilation mécanique contrôlée VMC (avec un débit: 18m³/h/personne) [10],
- ✓ Bureaux équipés d'ordinateurs et d'imprimantes + éclairage + occupants = 40W/m² [10],
- ✓ Nombre d'occupants : 45 personnes
- ✓ Les couloirs ont été considérés comme des locaux chauffés,
- ✓ Le local mitoyen a été considéré comme un local extérieur sans rayonnement solaire,
- ✓ Albédo : 0,15 à Tanger

Tableau 4 : Configurations étudiées du local

Techniques passives	Isolation de la façade	Isolation du toit	Protection solaire
#1	NON	NON	NON
#2	OUI	NON	NON
#3	NON	OUI	NON
#4	OUI	OUI	NON
#5	OUI	OUI	OUI

4. Résultats

La figure 1 présente la variation de la température en fonction du temps à l'intérieur du local étudié en configuration #1 (bâtiment standard). Le local n'est pas conditionné et les locaux voisins non plus. On constate que la température varie entre 8 et 39°C durant toute l'année. La réglementation thermique marocaine définit la température de consigne de chauffage à 20°C et de climatisation à 24°C (ou 26°C). Il est donc nécessaire d'installer des équipements énergétiques (de chauffage et de refroidissement) pour maintenir le confort hivernal et estival. L'installation de ces systèmes engendre des consommations énergétiques. La présence d'occupants, des ordinateurs et des imprimantes a un effet positif sur la consommation de chauffage. La chaleur restituée par ces derniers réduit la production de chaleur pendant l'hiver. Contrairement à la saison d'été, la consommation de refroidissement augmente en raison de ces apports internes. Quand à la ventilation, elle diminue la température à l'intérieur de la zone de bureaux, ce qui augmente la consommation en chauffage.

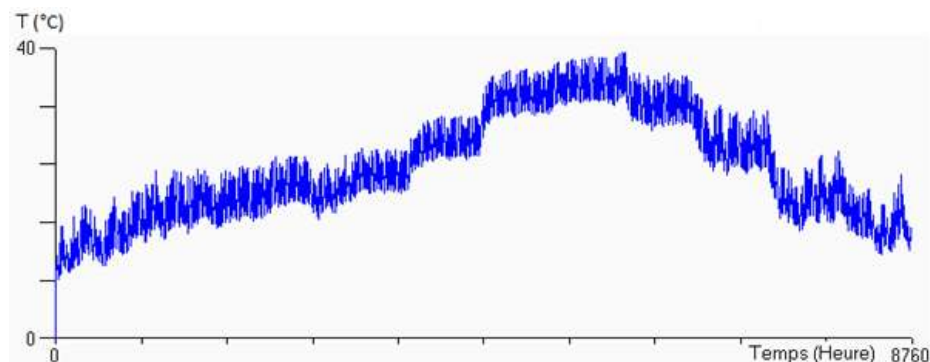


Figure 2 : Température de l'air intérieur du local étudié.

Par la suite nous déterminons l'orientation optimale de la façade du local avant d'étudier les configurations considérées (Tableau 4).

La figure 3 présente la consommation énergétique des systèmes de chauffage et de climatisation du local étudié avec différentes orientations de la façade. La comparaison des quatre orientations étudiées montre que la consommation diminue lorsque la façade est orientée Sud. Sauf pour la configuration #4 et #5 où la consommation augmente par rapport aux autres orientations. Cette augmentation est justifiée par l'isolation de la façade Sud qui reçoit le plus d'ensoleillement pendant l'Hiver. La suite de cette étude se concentrera sur l'orientation Sud.

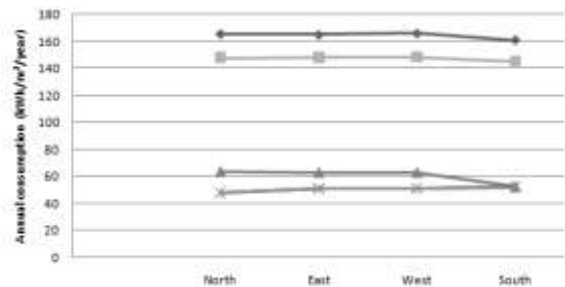


Figure 3 : Consommation en fonction de l'orientation

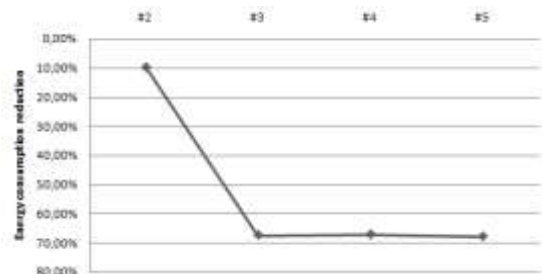


Figure 4 : Économies annuelles en énergie

L'économie en énergie de chauffage et climatisation des différentes configurations relativement à la configuration standard (#1) est représentée sur la figure 4. On constate que l'isolation de la toiture a un rôle très important dans la réduction de la consommation annuelle. On constate également que l'isolation de la façade a une influence minime sur la consommation. En effet, cette isolation ne réduit les consommations que de 10% lorsque le toit n'est pas isolé (#2). Par contre lorsque la façade est orientée autrement que Sud, il est nécessaire de l'isoler du fait des apports solaires en Eté (Figure 3).

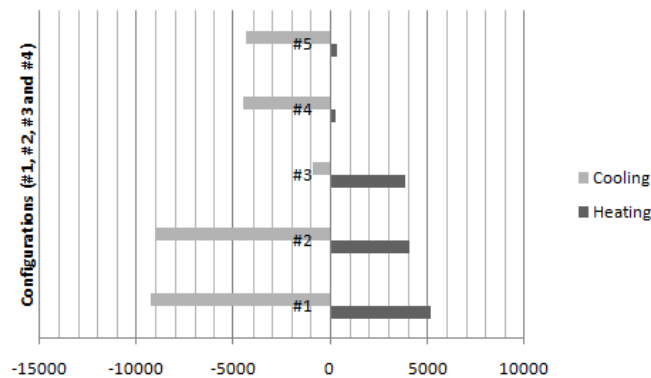


Figure 5 : Consommation annuelle (Chauffage et climatisation) en kWh (façade orientée Sud)

Sur la figure 5, sont représentées les consommations annuelles en chauffage et climatisation pour les différentes configurations du local étudié avec une façade orientée Sud. La comparaison entre les configurations #4 et #5 montre que la protection solaire a une influence insignifiante sur la consommation énergétique. En effet, cette protection réduit la consommation en climatisation d'à peine 108 kWh/an (soit environ 2%) alors qu'elle augmente très légèrement la consommation en chauffage. Il est évident que cette protection solaire telle qu'elle est étudiée n'est pas nécessaire. Notons cependant qu'une étude plus précise est nécessaire afin d'élucider cet aspect, en particulier la dimension optimale de la protection solaire.

D'autre part, l'isolation du toit réduit la consommation annuelle de 67,3% par rapport au bâtiment standard, précisément la charge thermique de la configuration #3 est réduite de 90% en climatisation et de 26% en chauffage. Cela est justifié par l'exposition de la toiture aux radiations solaires. L'isolation de la façade (#2) ne réduit que 3% la consommation en refroidissement par rapport à la configuration #1, alors que cette réduction est de 22% en chauffage.

Les trois configurations #3, #4 et #5 permettent une réduction de consommation de 67,3%, 67,1% et 67,8% respectivement (figure4).

Il est clair que l'isolation de la façade réduit la consommation en chauffage de 22% sans isolation de toit et de 94% avec l'isolation de toit (comparaison de #3 au #4). L'isolation de la façade réduit légèrement la charge en climatisation si le toit n'est pas isolé (comparaison de #2 au #1) alors qu'elle augmente notablement cette charge si le toit est isolé (comparaison de #3 au #4).

Tous les résultats des simulations faites ont été utilisés pour évaluer l'efficacité des systèmes passifs étudiés et leur performance en termes d'économie d'énergie. Ces systèmes peuvent avoir une influence positive ou négative sur la consommation du bâtiment.

Les commentaires ci-dessus peuvent être résumés comme suit :

- ✓ L'orientation Sud est à privilégier,
- ✓ L'isolation de la toiture a un grand effet bénéfique pendant toute l'année,
- ✓ L'effet de l'isolation de la façade n'est pas efficace,
- ✓ La combinaison de deux systèmes passifs peut augmenter la consommation énergétique,
- ✓ La charge de climatisation d'un bâtiment à Tanger représente 2/3 de la charge totale.

4. Conclusion

Dans le présent travail, nous avons étudié quatre cas en intégrant des systèmes passifs. En comparant les 5 configurations étudiées, nous avons été en mesure d'évaluer l'efficacité de chaque système. Les effets de ces systèmes passifs ont été analysés économiquement. Les résultats montrent que certains de ces systèmes passifs permettent de réduire les consommations énergétiques annuelles. Il convient de mentionner que la présente modélisation a été réalisée dans des conditions réelles : les apports internes (des occupants, des ordinateurs, des imprimantes et de l'éclairage) ont été pris en compte. La zone a été ventilée par un système VMC et les infiltrations d'air n'ont pas été considérées. Ce qui précède a montré clairement l'avantage d'un amalgame de paramètres sur le confort thermique dans les bâtiments, mais nous constatons que seul un paramètre ne suffit pas pour assurer le confort : il est impératif d'équilibrer à l'échelle de gain et de la dissipation de la chaleur. Pour cela, il est nécessaire de changer chaque paramètre en fonction de l'autre afin d'optimiser l'économie d'énergie. Pour les espaces à occupation continue, l'inertie est sans aucun doute un atout pour mieux gérer le gain de chaleur. Une économie efficace est un enjeu prioritaire aujourd'hui pour tous les pays, en particulier dans le contexte de pénurie et les crises économiques.

L'épuisement des ressources conventionnelles, la pénurie de ressources financières et la compétitivité des entreprises sont d'autres arguments pour ancrer l'efficacité énergétique dans la société marocaine.

Références

- [1] H. Breesch, A. Bossaer and A. Janssens. [2005], Passive cooling in a low-energy office building, *Solar Energy*, Vol. 79, Issue 6, pp. 682-696.
- [2] M. Kumar Singh, S. Mahapatra, and S. K. Atreya. [2007], Development of bio-climatic zones in north-east India, *Energy and Buildings*, Vol. 39, pp. 1250-1257.
- [3] E. Zhouda, N. Ghrab-Morcos, and A. Hadj-Alouane. [2007], Optimization of Mediterranean Building Design Using Genetic Algorithms, *Energy and Buildings*, Vol. 39, pp. 148-153.
- [4] B. Benhamou, A. Bennouna. [2013], Energy Performances of a Passive Building in Marrakech: Parametric Study, *Energy procedia*, Vol. 42, pp. 624-632.
- [5] S. Raeissi, M. Tahri. [1996], Cooling Load Reduction of Buildings using Passive Roof Options, *Renewable energy*, Vol. 2, pp. 301-313.
- [6] Jean NOËL. [2004], Development of numerical shading devices models for the use in building thermal simulation, JNLOG, Report n° 0402 http://www.jnlog.com/pdf/blinds_report.pdf
- [7] A. EL BAKKOURI. [1999], Caractéristique thermophysique et mécanique de quelques matériaux locaux utilisés dans l'isolation et la construction au Maroc: Le plâtre, le liège et la brique creuse", Thèse de 3ème Cycle, Faculté des Sciences, Tétouan Maroc.
- [8] REGLEMENTATION THERMIQUE AU MAROC RTBM <http://www.rio.ma/pdf/rtbm.pdf>
- [9] Satel-Light, The European Database of Daylight and Solar Radiation, <http://www.satel-light.com/> (Consulté 01/02/2014).
- [10] ArchiClim, Equipe Architecture et Climat, Université Catholique du Louvain Belgique, <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11245#c1977> (Consulté le 27/02/2014).