

# Evaluation de l'impact des dispositifs d'ombrage sur la performance énergétique d'un immeuble de bureaux à Tunis

Athar CHABCHOUB<sup>#1</sup>, Fakher KHARRAT<sup>#2</sup>

<sup>#</sup>PAE3C, Econe Nationale d'Architecture et d'Urbanisme de Tunis  
Rue El Quods, site archéologique de Carthage, Tunisie

<sup>1</sup>chabchoub.ath@gmail.com

<sup>2</sup>fakherkharrat.enu@gmail.com

**Résumé**— L'emploi du mur-rideau, sans prévoir de protections solaires, dans un pays comme la Tunisie qui profite d'un été chaud et d'une forte exposition au soleil pouvant atteindre 15 heures, n'est pas sans conséquence sur la qualité des espaces intérieurs et sur leurs consommation d'énergie.

Dans ce sens, ce travail, réalisé sur un immeuble de bureaux contemporain à Tunis, durant la période estivale, a pour objectif de mettre en exergue l'impact des dispositifs d'ombrage sur la consommation d'énergie, et ce, en fonction des orientations. A cet égard, nous avons tout d'abord déterminé la demande en énergie, en termes de refroidissement, de cet immeuble par le biais de la simulation numérique sur le modèle Trnsys. Ensuite, trois scénarii de protections solaires ont été étudiés. D'autres simulations tests, sur le même logiciel, ont également permis d'évaluer l'impact de ces dispositifs selon quatre configurations d'orientation (quatre directions cardinales). Il en ressort que plus la protection solaire est large plus celle-ci est performante énergétiquement. Nous avons également constaté une optimisation de 50% des besoins énergétiques pour les trois mois d'été, au Sud et à l'Est.

Ainsi, la gestion des apports solaires et le recours aux dispositifs d'ombrage, en les adaptant aux différentes orientations, s'inscrivent dans les stratégies passives pour une efficacité énergétique.

**Keywords**— Dispositifs d'ombrage, Immeuble contemporain, Trnsys, Stratégie passive, Efficacité énergétique.

## I. INTRODUCTION

Qu'il soit à son domicile, au travail, à l'école, au centre commercial, dans un hôtel,..., l'être humain passe la majorité de son temps dans des bâtiments. Ces derniers consomment de l'énergie pour satisfaire nos divers besoins quotidiens en électricité, éclairage, électroménager, chauffage, climatiseur, ordinateur, etc. La somme de cette consommation, selon les statistiques mondiales, est plus de 40% de la consommation d'énergie totale [1].

En Tunisie, le secteur du bâtiment représente 27% de la consommation finale d'énergie du pays (dont 17% pour le résidentiel et 10% pour le tertiaire), un pourcentage qui tend à augmenter dans les prochaines années [2]. Ces chiffres positionnent le secteur du bâtiment à la troisième place des

secteurs les plus consommateurs d'énergie, derrière le secteur industriel et celui du transport. Plus alarmant encore, l'Agence Nationale de la Maîtrise de l'Energie (ANME) affirme que d'ici 2025 le secteur du bâtiment occupera la première place en raison de l'accroissement exponentiel de la consommation d'énergie de ce secteur.

Cette hausse significative de la demande d'énergie du secteur du bâtiment revient principalement au fait que ce secteur soit en plein essor, mais aussi au recours excessif aux installations CVC (Chauffage, Ventilation et Climatisation) et principalement aux climatiseurs.

« Cette tendance s'explique, en grande partie, par le développement économique accéléré qu'a connu la Tunisie durant les dernières années, caractérisé par une forte progression du secteur tertiaire et une amélioration des revenus des ménages. Cet essor s'est traduit par une augmentation notable du besoin de confort, exprimé notamment à travers l'acquisition d'équipements de chauffage et de climatisation, aussi bien par le secteur tertiaire que par le secteur résidentiel » [3].

En effet, depuis la révolution industrielle et émanant d'une volonté de matérialisation des avancées technologiques, l'architecture a pris des airs de modernité, si bien qu'actuellement dans le monde entier l'architecture contemporaine se standardise. Son timbre architectural étant « l'extravagance de la transparence », le recours aux murs rideaux devient un fléau international. Universelle, l'adaptation de cette architecture au climat est quasi inexistante.

La Tunisie aussi suit la tendance contemporaine. De plus, la tertiarisation des immeubles à Tunis, dans les années 90, a accentué la production d'immeubles contemporains qui sont devenus l'archétype de toute une génération d'immeubles qui se veulent contemporains. Nous voyons alors s'élever, un peu partout sur le territoire tunisien, de plus en plus d'immeubles abusant du mur-rideau.

Du Nord au Sud du pays, les immeubles contemporains sont presque semblables esthétiquement mais ne s'adaptent pas aux climats des différentes villes. C'est ainsi que le mur rideau prend le dessus dans des bâtiments où les protections solaires, dont le rôle est d'assurer la protection du bâtiment et de ses usagers des rayonnements solaires directs en évitant les

surchauffés par diminution des gains de chaleur indésirables grâce aux fenestrations [4], sont généralement inexistantes ou mal pensées.

C'est alors que les problèmes de surchauffes se sont posés avec plus d'acuité, surtout qu'à Tunis nous profitons, en moyenne, de 8 heures d'ensoleillement par jour (l'ensoleillement peut atteindre un maximum de 12.5 heures en pleine période estivale) engendrant l'altération des performances thermiques des bâtiments et accroître leurs consommations d'énergie.

A cet effet, comme le secteur du bâtiment représente un fort potentiel d'économie d'énergie qui peut même atteindre 56% d'ici 2030 [2], [3], se tourner vers les stratégies, passives et/ou actives, d'efficacité énergétique devient l'un des principaux piliers de la stratégie énergétique nationale et internationale.

C'est alors que la recherche pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments est engagée. Un nombre conséquent d'articles publiés à ce sujet, et ce dans différents pays traitant différents climats et à différentes saisons, attestent le rôle efficient, économiseur d'énergie, des dispositifs d'ombrage [4-16]. Dans cette optique et dans un pays à forte exposition au soleil comme la Tunisie (surtout en été où l'ensoleillement peut être de 15 heures), il nous a semblé important d'étudier l'impact que peut avoir les dispositifs d'ombrage sur la consommation d'énergie d'un immeuble de bureau à Tunis durant la période estivale.

## II. MÉTHODE EXPÉRIIMENTALE

### A. Présentation de l'immeuble étudié

L'immeuble de bureaux étudié se situe au centre-ville de Tunis; capitale de la Tunisie. Etant un immeuble d'angle, celui-ci se trouve à l'intersection de l'avenue Taieb Mhiri (au Nord-Ouest) et de la rue Abderrahmane Eljaziri (au Sud-Ouest).



Fig. 1. Les éléments graphiques de l'immeuble étudié

Cet immeuble est composé de quatre étages, d'une hauteur totale de 18m60. La superficie des trois premiers étages est de 183 m<sup>2</sup> et celle du dernier étage est de 194.200 m<sup>2</sup>.

### B. Simulation numérique

La finalité de cette recherche étant de mettre en exergue l'impact des protections solaires sur la consommation énergétique, à cette fin nous avons modélisé l'immeuble objet d'étude sur le logiciel de simulation numérique Trnsys (version 2016) afin de simuler sa demande d'énergie [18], [19]. Pour ce faire, nous avons saisi, en entrée (inputs), la description géométrique et thermo-physique de l'immeuble. Ensuite, nous avons défini un scénario de simulation.

#### - Descriptif des éléments constituant le modèle

Pour pouvoir étudier la consommation énergétique, l'immeuble a été reproduit à l'identique puisque le moindre changement par rapport à l'existant peut avoir des répercussions sur la fiabilité des résultats. L'enveloppe et les planchers du bâtiment ont été décrits couche par couche en indiquant les épaisseurs des couches ainsi que les matériaux, et leurs propriétés physiques, qui les composent.

Les murs extérieurs, non isolés, sont des doubles cloisons de 35 cm en briques creuses (briques de 8 et 12 trous) séparées par une lame d'air. Les cloisons de séparations sont en brique creuse (plâtrière de 7 cm). Les planchers ainsi que la toiture sont en corps creux (béton-hourdi). La composition des différents éléments de l'enveloppe sont détaillés dans le tableau ci-dessous.

Table I. Composition des différents éléments de l'enveloppe de l'immeuble étudié

Paroi		Composition	Epaisseur (cm)	U (W/m <sup>2</sup> .C)
Planchers	Plancher courant	Carrelage grando-marbré (1.5), mortier de pose (2), sable de pose (4), chape de compression (5), hourdis (16), enduit sous plafond (ciment) (1.5)	30	1.44
	Toiture terrasse	Etanchéité à double nappe d'armature (4), forme de pente en béton maigre (12.5), chape de compression (5), hourdis (16), enduit sous plafond (2.5)	40	1.08
Murs façades	Double cloison (MF1)	Enduit bâtard (2.5), brique 8 trous (10), lame d'air (6), brique 12 trous (15), enduit de ciment (1.5)	35	0.92
	Double cloison + mur rideau (MF2)	Mur rideau : vitrage (0.8), vide d'air (1.4), vitrage (0.8) + enduit de ciment (1.5), brique 8 trous (10), lame d'air (6), brique 12 trous (15), enduit de ciment (1.5)	37	0.86
Murs mitoyens		Enduit bâtard (2.5), brique 12 trous (20), enduit de ciment (2.5)	25	2.04
Cloisons		Enduit de ciment (1.5), brique plâtrière (7), enduit de ciment (1.5)	10	2.77

De style contemporain, les fenêtres, ainsi que le mur-rideau, sont toutes en aluminium avec du double vitrage SECURIT (8mm STOPSOL bleu à l'extérieur + 10 mm lame d'air + 8mm de vitrage clair à l'intérieur). Les parois vitrées présentent 49.48% des façades.

#### - Période d'étude et scénario de simulation

Une enquête, par le biais d'un questionnaire distribué à 30 employés travaillant dans l'immeuble étudié, a relevé que ces derniers souffrent plus des fortes températures estivales qui provoquent des surchauffes à l'intérieur du bâtiment que de la baisse des températures hivernales. Les personnes interrogées ont également affirmé qu'elles usent plus du climatiseur que du chauffage. A la lumière de cette enquête, nous avons décidé de mener notre étude durant la période estivale. De ce fait, nous avons étudié la demande en énergie (en termes de climatisation) de l'immeuble durant les trois mois d'été.

Par ailleurs, comme il s'agit d'un immeuble de bureaux et voulant une estimation énergétique réelle du bâtiment, nous avons fixé un scénario de simulation qui relate l'occupation du local ainsi que les horaires d'ouverture des climatiseurs, et ce, conformément à la réalité. En effet, durant la période estivale, l'immeuble n'est occupé qu'en matinée (6 heures du lundi au vendredi (de 8h à 14h), 5 heures le samedi (de 8h à 13h) et inoccupé le dimanche). Suivant cette occupation, le scénario, relatif aux horaires d'ouvertures des climatiseurs, est alors fixé comme suit ; Du lundi au vendredi, les climatiseurs sont en marche durant 4h30 (de 9h30 jusqu'à 14h), 1h en moins le samedi (de 9h30 à 13h) et aucune activité le dimanche. Nous tenons également à préciser que toutes les sources de gain de chaleur (éclairage artificiel et équipements : ordinateurs, etc.) ont été prises en compte lors de la simulation, et ce pour chaque bureau.

### C. Méthodologie

Basée sur la simulation numérique sur le modèle Trnsys (version 16), ce travail présente une méthodologie qui se déploie sur deux phases.

La première phase concerne la détermination de la demande énergétique de l'immeuble objet d'étude, et ce, durant les trois mois d'été. A cet effet, nous nous sommes basés sur la formule, de la température de confort à Tunis, proposée par Bouden et Ghrab [20]. Ces chercheurs sont parvenus à proposer un modèle de confort thermique adaptatif pour le contexte tunisien fondé sur deux formules permettant le calcul de la température de confort à Tunis. La première formule se base sur la méthode de Griffiths (TC-Griffiths), tandis que la deuxième sur celle de Brager (TC-Brager). Cette dernière étant la mieux adaptée aux températures extérieures élevées, nous allons nous basés sur cette formule (équation 1) pour calculer la température de confort à Tunis durant la période estivale.

$$T_{c-Brager} = 0.68T_{o-Avg} + 6.88 \quad \text{Equation 1}$$

Avec :  $T_{c-Brager}$  (°C) ; est la température de confort à Tunis formulée en se basant sur la méthode de Brager.  
 $T_{o-avg}$  (°C) ; la moyenne mensuelle de la température extérieure.

Du calcul, nous avons trouvé la température de confort à Tunis égale à 27.40°C pour le mois de juin, 30.70°C pour le mois de juillet et 31.33°C pour le mois d'août. Nous avons ensuite saisi ces températures, en tant que température de

consigne, dans le modèle Trnsys pour que celui-ci simule la quantité d'énergie nécessaire (nous parlons ici de climatisation) à l'immeuble étudié pour l'atteindre.

La deuxième phase, quant à elle, se fonde sur une série de simulations tests de 3 largeurs de protections solaires horizontales extérieures, et ce, selon différentes orientations, permettant d'étudier l'impact que peut avoir l'ajout de ces dispositifs sur la consommation d'énergie.

### III. DÉTERMINATION DES BESOINS ÉNERGÉTIQUES

La simulation a montré que les besoins énergétiques, en termes de climatisation, de l'immeuble durant la période estivale est de l'ordre de 5582.72 (kWh), répartie comme suit ; 909.79 (kWh) en juin, 2230.08 (kWh) en juillet et 2442.87 (kWh) en août.

Une hausse de près de 39% de la consommation d'énergie en refroidissement, durant les mois de juillet et août, a été constatée. Cela s'explique du fait qu'il s'agit des mois les plus chauds où les températures dépassent le plus souvent 40°C.



Fig. 2. Les besoins énergétiques de l'immeuble durant la période estivale (en kWh)

### IV. ETUDE PARAMÉTRIQUE; VERS UNE OPTIMISATION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE

Une fois les besoins d'énergie, durant la période estivale, de l'immeuble ont été déterminés, il s'agit dans cette section de mener notre investigation quant à l'efficacité des protections solaires. Cependant, la protection solaire des parois vitrées peut se faire à la fois par le vitrage lui-même (caractérisé notamment par son facteur solaire, FS) et par les différentes autres protections extérieures ou intérieures, fixes ou mobiles, qu'on peut leur associer. Pour cette étude, nous allons restreindre l'investigation aux protections solaires fixes horizontales (extérieures), cela est suffisant pour avoir des résultats tangibles.

**- Impact de l'ajout des protections solaires**

Nous avons effectué plusieurs simulations tests, sur le modèle Trnsys, en ajoutant à l'immeuble objet d'étude des protections solaires horizontales extérieures sans pour autant lui modifier aucune autre caractéristique. Autrement dit, nous avons uniquement ajouté des dispositifs le protégeant des rayons du soleil. Trois scénarii ont alors été étudiés, et ce, pour chaque ouverture (celles qui donnent sur rue en plus de celles qui donne sur la cour):

- Cas 1 : saillies ; pour ce cas de figure nous allons simuler deux scénarii (scénario 1 : saillie de 50 cm et scénario 2 : saillie de 80 cm)
- Cas 2 : balcon (150 cm)

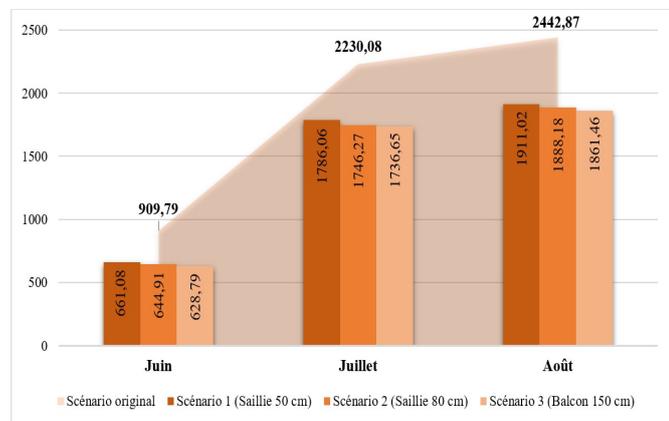


Fig. 3. Consommation d'énergie suite à l'ajout des protections solaires (en kWh)

De prime abord, les résultats montrent clairement l'optimisation de la consommation d'énergie par l'ajout des protections solaires horizontales extérieures.

Toutefois, par un gain d'énergie de l'ordre de 281 (kWh) en juin, 493.43 (kWh) en juillet et 581.41 (kWh), nous déduisons que le dispositif le plus large (scénario 3: balcon de 150 cm) est celui qui est le plus performant. Ce qui revient à dire, que plus le dispositif d'ombrage est large et plus le gain d'énergie, en été, est considérable.

**- Impact de l'ajout des protections solaires avec changement de l'orientation**

Le bâtiment initial, étant d'angle, est orienté Nord-Ouest et Sud-Ouest. Dans le but d'approfondir notre recherche, nous avons tenté d'étudier l'impact des dispositifs d'ombrage selon l'orientation. Pour ce faire, nous avons modifié l'orientation du bâtiment, et ce, suivant les quatre directions cardinales.



Fig. 4. Modification de l'orientation de l'immeuble contemporain étudié

De nouvelles simulations tests ont été faites pour étudier les quatre configurations d'orientation, et ce, pour les trois largeurs de protections solaires.

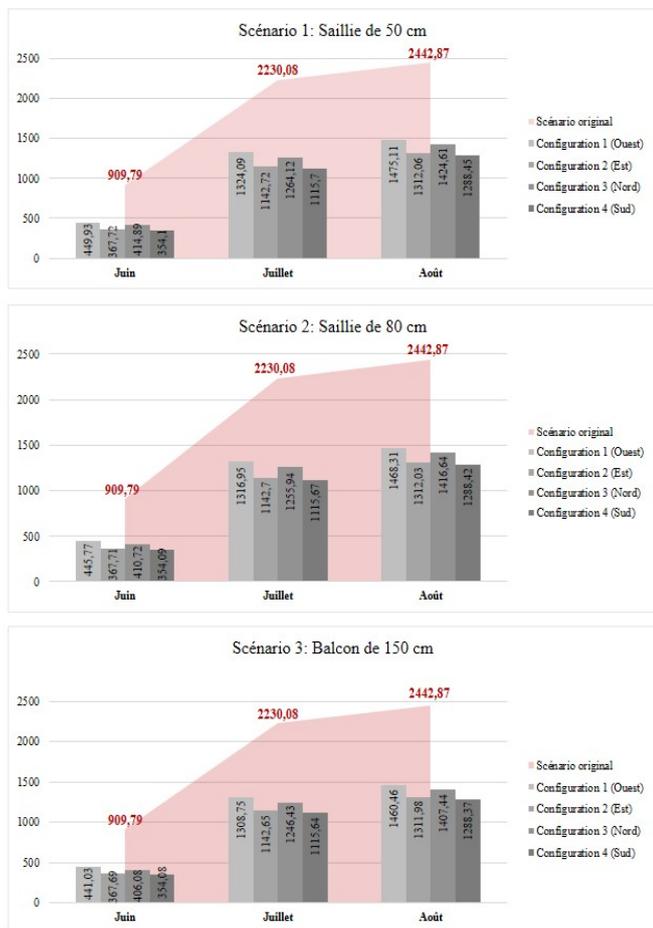


Fig. 5. Impact de l'ajout des protections solaires sur la consommation d'énergie suivant les quatre configurations d'orientation (en kWh)

La figure 5 donne les résultats relatifs à l'impact de l'ajout de dispositifs d'ombrage de différentes largeurs sur la consommation d'énergie, et ce, suivant les quatre orientations. Ces résultats mettent en exergue le pouvoir optimisateur d'énergie de ces dispositifs. Il en ressort, qu'en période estivale, et ce, à n'importe quelle orientation, plus la protection est large plus celle-ci est efficace.

Cependant, nous remarquons également que ces dispositifs sont plus performants à l'Est et surtout au Sud. En effet, le dispositif d'ombrage de 150 cm nous permis d'optimiser, au Sud, 61% d'énergie en juin (gain de l'ordre de 555.71 (kWh)) et près de 50 % en juillet et 51 % en août (gain de l'ordre de 1114.44 (kWh) en juillet et de 1154.50 (kWh) en août). A l'Est le gain est de l'ordre de 542.1 (kWh) en juin, 1087.43 (kWh) en juillet et de 1130.89 (kWh) en août.

## V. DISCUSSION ET CONCLUSION

Table II. Récapitulatif du pourcentage de gain d'énergie en refroidissement durant la période estivale (juin-juillet-août)

	Scénario 1: Saillie de 50 cm	Scénario 2: Saillie de 80 cm	Scénario 3: Balcon de 150 cm
Ajout des protections solaires avec orientation initiale	21,94%	23,35%	24,29%
Configuration 1 (Ouest)	41,80%	42,12%	42,50%
Configuration 2 (Est)	49,44%	49,44%	<b>49,44%</b>
Configuration 3 (Nord)	44,41%	44,77%	45,19%
Configuration 4 (Sud)	50,59%	50,59%	<b>51%</b>

Par une consommation d'énergie totale (en termes de refroidissement) de 5582.74 (kWh), ce tableau présente le gain d'énergie que l'immeuble contemporain étudié a pu économiser, durant les trois mois d'été, par le simple ajout des protections solaires extérieures horizontales, pour différentes orientations.

Les résultats obtenus rejoignent diverses recherches traitant l'impact des protections solaires sur la consommation énergétique et s'accordent sur le fait que l'absence de ces dispositifs par une forte exposition au soleil cause des surchauffes poussant à user des climatiseurs en été augmentant ainsi la consommation d'énergie. Dans cette optique, nous pouvons retenir ce qui suit ;

Plus la largeur de la protection augmente, en période estivale, plus nous constatons une réduction de la consommation d'énergie.

Le recours aux dispositifs d'ombrage, en fonction des orientations, renvoi à une utilisation plus efficace de l'énergie (réduction significative de la consommation d'énergie en refroidissement ; entre 41.8 % et 51 %).

Comme les façades Sud et Est reçoivent d'importants apports solaires, le recours aux protections solaires sur ces façades permet 50% de gain d'énergie.

A la lumière de ces résultats, cet article a donc apporté une connaissance sur l'importance des protections solaires pour améliorer la qualité des espaces intérieurs (en évitant l'éblouissement et les surchauffes) et optimiser la demande d'énergie d'un immeuble contemporain à Tunis ; pays qui profite en moyenne de 8 heures d'ensoleillement pouvant atteindre 15 heures en été.

Cependant, l'augmentation de la largeur des protections solaires horizontales risque de réduire considérablement l'apport de lumière nécessaire, en période hivernale, augmentant ainsi la consommation d'énergie par l'éclairage électrique et le chauffage. De ce fait, il est donc important de faire les bons choix architecturaux en tenant compte des orientations et de la gestion des apports solaires, et ce, dès la phase d'avant-projet.

Ainsi, la principale recommandation que nous pouvons formuler est de bien penser les parois vitrées, prévoir des protections solaires, et ce, suivant l'orientation du bâtiment afin d'optimiser les gains solaires et éviter aussi bien les surchauffes en été que le manque de lumière en hiver

poussant à surexploiter l'énergie (climatisation et chauffage). Cela revient à dire, que les stratégies de conditionnement passives s'imposent désormais comme une solution efficace.

#### REFERENCES

- [1] IEA: International Energy Agency, *Annual Energy Outlook 2011 with Projections to 2035*, DOE/EIA-0383(2011).
- [2] ANME: Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Energie (<http://www.anme.nat.tn>).
- [3] ANME: Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Energie, *Réglementation thermique et énergétique des bâtiments neufs en Tunisie*, Label à Haute Performance Énergétique des bâtiments du secteur tertiaire, Manuel des bâtiments à usage de bureaux, 2007, Tunis, Tunisie.
- [4] Sghoui.H, Mezhab.A, Karkri.M, Naji.H, Shading devices optimization to enhance thermal comfort and energy performance of a residential building in Morocco, *Journal of Building Engineering*, Vol.18, p.292-302, 2018.
- [5] Jedidi.M, Abroug.A, *Etude de l'efficacité énergétique d'un bâtiment en Tunisie*, acte de colloque, 1<sup>er</sup> Colloque International des Energies Nouvelles et Renouvelables-Innovations et Progrès Scientifique CIENRIPS'2018, du 27 au 29 Avril 2018 à Hammamet – Tunisie.
- [6] G. Yun, K.C. Yoon, K.S. Kim, *The influence of shading control strategies on the visual comfort and energy demand of office buildings*, *Energy and Buildings*, Vol.84, p.70–85, 2014.
- [7] Bougriou.C, Hazem.A, Kaouha.K, Protections solaires des fenêtres, *Rev. Energ. Ren.* Vol.3, p.127-135, 2000.
- [8] Huang.Y, Niu.J, Chung.T, Energy and carbon mission payback analysis for energy-efficient retrofitting in buildings-overhang shading option, *Energy and Buildings*, vol.44, p.94-103, 2012.
- [9] Ghosh.A, Neogi.S, Effect of fenestration geometrical factors on building energy performance evaluation of a new external solar shading device in warm and humid climatic condition, *Solar Energy*, vol.169, p.94-104, 2018.
- [10] Nikolic.D, Djordjevic.S, Skerlic.J, Radulovic.J, Energy analyses of serbian buildings with horizontal overhangs: A case study, *Energies*, 13 (17), 2020.
- [11] Ming Qu.L, Peng.S, Performance evaluation of building integrated solar thermal shading system: Building energy consumption and daylight provision, *Energy and Buildings*, vol.113, p.189-201, 2016.
- [12] Bellia.L, Concetta.M, Minichiello.F, Pedace.A, *An overview on solar shading systems for buildings*, *Energy Procedia*, vol.62, p.309-317, 2014.
- [13] Panteli.C, Kyli.A, Stasiulienė.Laura, Seduikyte.L, Fokaides.P.A, *A framework for building overhang design using building information modeling and life cycle assessment*, *Journal of Building Engineering*, Vol.20, p.248-255, 2018.
- [14] Alhuwayil.W.K, Mujeeb.M.A, Algarny.A.M, Impact of external shading strategy on energy performance of multi-story hotel building in hot-humid climate, *Energy*, vol.169, p.1166-1174, 2019.
- [15] Zhao.J, Du.Y, Multi-objective optimization design for windows and shading configuration considering energy consumption and thermal comfort: A case study for office building in different climatic regions of China, *Solar Energy*, vol.206, p.997-1017, 2020.
- [16] Alam.M.J, Islam.M.A, *Effect of external shading and window glazing on energy consumption of buildings in Bangladesh*, *Advances in Building Energy Research*, vol.11, issue 2, p.180-192, 2016.
- [17] Réglementation thermique et énergétique des bâtiments neufs en Tunisie, Agence Nationale des Energies Renouvelables, Janvier 2003. <http://www.trnsys.com/>
- [18] Klein. S.A, Duffie. J.A, Beckman. W.A, *TRNSYS - A Transient Simulation Program*, *ASHRAE Trans.* 82, p.623–633, 1976.
- [19] C.Bouden and N.Ghrab, An adaptive thermal comfort model for the Tunisian context: A field study results, *Energy and Buildings*, Vol.37, n°9, pp. 952-963, 2005.
- [20] Bo Xia, *Ecological Architecture "Passive Control" Theory and Technical System*, *International Journal of Advances in Information Sciences and Service Sciences*, Advanced Institute of Convergence Information Technology, Vol. 4, No. 22, pp. 274-284, 2012.