

Etude expérimentale du comportement thermique d'une façade ventilée dans un climat chaud et aride

Mohamed Amine Khadraoui et Leila Sriti

Département d'Architecture, Faculté des Sciences et de la Technologie,
Université Mohamed Khider, B.P. 145 RP, Biskra, 07000, Algérie
Laboratoire de Conception et de Modélisation des Formes et des
Ambiances Architecturales et Urbaines, LACOMOFA
Université Mohamed Khider, B.P. 145 RP, Biskra, 07000, Algérie

(reçu le 10 Décembre 2017 - accepté le 25 Décembre 2017)

Résumé - Les façades des édifices sont considérées comme des surfaces de transfert de chaleur entre l'ambiance interne et le climat extérieur. Elles sont des zones de grandes pertes thermiques à travers différents modes de transfert (par conduction, convection et rayonnement), ce qui influe d'une grande manière sur le fonctionnement thermique des bâtiments. L'objectif de cette recherche est d'étudier le comportement thermique d'une façade ventilée sur son efficacité dans une zone chaude et aride. Cette recherche est basée sur un travail expérimental à travers l'exploitation des cellules tests à une échelle réduite. Les paramètres étudiés sont : les températures surfaciques externes, surfaciques internes et les températures ambiantes. Les résultats ont démontré que le fonctionnement thermique de la cavité d'air d'une façade ventilée influe d'une façon positive sur le comportement thermique de la façade et par la suite sur la performance thermique et énergétique de la construction.

Abstract - Building facades are considered heat transfer surfaces between the indoor and outdoor environments. They are the areas of great thermal losses through different modes of transfer (by conduction, convection and radiation) which has a great influence on the thermal operation of buildings. The objective of this research is to study the thermal behavior of a ventilated facade on its efficiency in a hot and arid zone. This research is based on experimental work through the exploitation of test cells on a small scale. The parameters studied are: external surface temperatures, internal surface temperatures and ambient temperatures. The results showed that the thermal operation of the air cavity of a ventilated facade has a positive influence on the thermal behaviour of the facade and subsequently the thermal and energy performance of the building.

Mots clés: Façade ventilée - Convection naturelle - Transfert de chaleur - Bâtiments - Zones chaudes et arides.

1. INTRODUCTION

Le choix d'une enveloppe adéquate est une décision essentielle dans le processus de la conception architecturale vue sa complexité et ses aspects hyper-interférés [1]. Elle est considérée comme un facteur déterminant sur le fonctionnement thermique et la consommation énergétique de la bâtisse [2-4].

La façade est une partie importante de l'enveloppe de constructions. Elle a un rôle clé sur le fonctionnement thermique et la performance énergétique des bâtiments. En effet, la façade représente l'interface entre le contexte climatique extérieur et l'espace intérieur et de fait, elle offre un vaste domaine de recherche [2]. Ce sujet a fait l'objet de plusieurs études, particulièrement, dans le sens du confort thermique et de l'efficacité énergétique des constructions [5].

Plusieurs recherches se sont inscrites dans une démarche visant à optimiser le comportement thermique des façades. Dans ce sens, il s'est avéré que le système constructif des éléments de la façade ainsi que le choix des matières et de leurs propriétés ont un grand impact sur le fonctionnement thermique des constructions [6].

Le dispositif de la façade ventilée représente l'une de ces systèmes [7]. Il est considéré comme une solution passive et performante afin d'améliorer le comportement thermique des façades [2, 8] et par la suite l'ambiance thermique des constructions tout en minimisant les besoins énergétiques.

La façade ventilée comme système de protection des enveloppes est caractérisée par une double peau avec une distance entre la paroi du bâtiment et le bardage additionné, ce qui crée une chambre d'air en mouvement par le tirage thermique 'l'effet de cheminée' [2, 9]. Le type de ventilation de cette cavité dépend de l'origine de la ventilation. On distingue trois types: la ventilation naturelle, mécanique et hybride [10].

La figure 1 démontre le fonctionnement thermique d'une façade ventilée avec une isolation thermique durant une journée typique chaude en été.

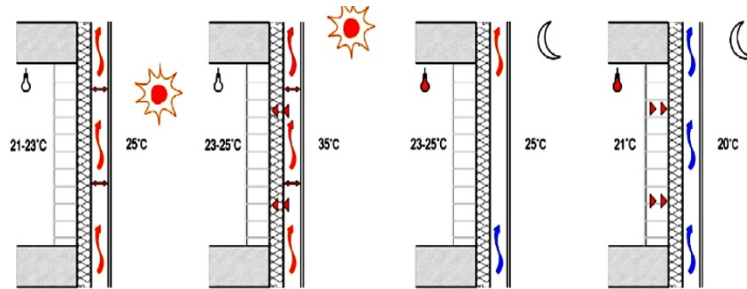


Fig. 1: Fonctionnement thermique d'une façade ventilée durant une journée chaude [2]

On remarque que l'impact de la façade ventilée (FV) pendant l'été est positif à travers la préservation des ambiances thermiques internes dans la plage de confort thermique durant toute la journée. La figure 2 illustre le comportement thermique d'une façade ventilée avec une isolation thermique durant une journée typique froide en hiver.

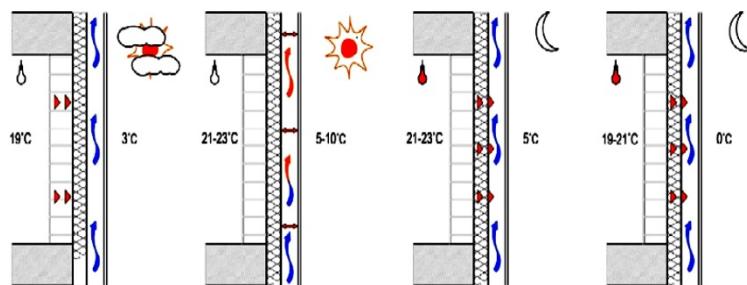


Fig. 2: Comportement thermique d'une façade ventilée pendant une journée froide [2]

On voit clairement qu'il y a une influence positive de la façade ventilée avec isolation sur la préservation des ambiances thermiques internes autour de la plage de confort thermique pendant toute la journée.

Ce dispositif a connu une grande émergence en architecture et génère des questions sur ses influences thermiques et énergétiques [11, 12]. Son comportement thermique varie en fonction des conditions climatiques d'une ville à une autre et d'une région à une autre [13] ainsi que les composants de ce système ce qui nécessite des études approfondies.

L'objectif de cet article est d'étudier l'impact de la convection naturelle d'une façade ventilée sur le comportement thermique des bâtiments dans une zone chaude et aride à travers l'utilisation d'une approche expérimentale par des prises de mesures des températures ambiantes et surfaciques internes et externes sur des cellules tests à une échelle réduite.

2. ETUDE EXPERIMENTALE

2.1 Présentation du contexte d'étude

Le contexte d'étude est porté sur les zones chaudes et arides comme la ville de Biskra (ville située dans le Sud de l'Algérie à une latitude de 34° 48' Nord, une longitude de 5° 44' Est et une altitude de 86 mètres). Cette ville est caractérisée par un climat saharien chaud et aride, la température est très différente entre le jour et la nuit, l'été et l'hiver, avec une moyenne annuelle de 22,5 °C {selon la station météorologique de Biskra}.

La figure 3 représente les températures moyennes mensuelles sous abri dans la ville de Biskra durant une année.

On remarque que cette ville est caractérisée principalement par deux types de températures. Des températures très élevées durant une longue période chaude et des températures basses durant une courte période froide ce qui influe sur le comportement thermique de la construction d'une grande manière en particulier pendant l'été.

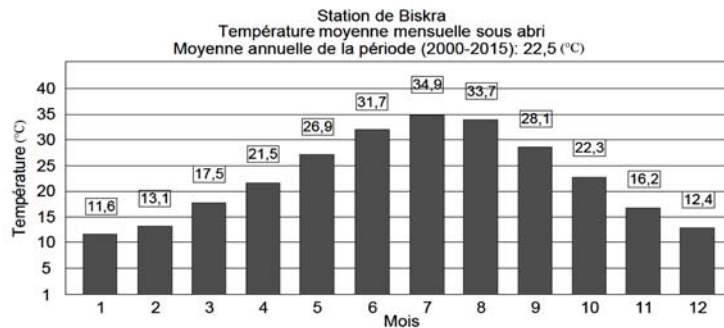


Fig. 3: Température moyenne mensuelle sous abri de la ville de Biskra (Station météorologique de Biskra, 2016)

La figure 4 illustre les radiations globales journalières pendant une année générées par le logiciel des données météorologiques 'Meteonorm V7.2.1'.

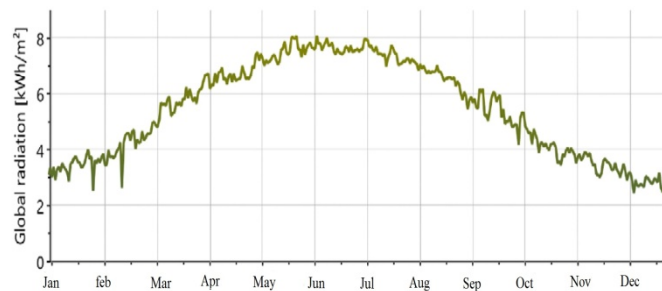


Fig. 4: Radiations globales journalières de la ville de Biskra pendant une année

On constate que les radiations sont très élevées durant toute l'année particulièrement pendant la saison chaude (entre le mois de Mai et Août). Ces radiations influent d'une manière considérable sur l'augmentation de la température surfacique externe des murs des façades, ce qui augmente la quantité de la chaleur stockée dans le matériau et transférée vers l'intérieur. Le dispositif de la façade ventilée protège la paroi principale et réduit la quantité de la chaleur absorbée sous l'influence des rayonnements solaires ce qui diminue le transfert de la chaleur par conduction.

2.2 Présentation des cellules tests

En littérature, l'étude du fonctionnement du dispositif de la façade ventilée a été effectuée avec des expérimentations [9, 14], des simulations [9, 15] ainsi que sur des constructions existantes [16]. Dans cette étude, nous avons choisi l'étude expérimentale vue la fiabilité de ses résultats incomparables avec la simulation particulièrement dans ce genre de phénomène thermo-aérodynamique (la convection naturelle).

Deux cellules tests ont été réalisées à une échelle réduite sous forme rectangulaire de (0.8×0.9 m) et une hauteur de (0.9 m) comme le démontre la figure 5.



Fig. 5: Les deux cellules tests (C_r) 'cellule de référence' et (C_{fv}) 'cellule avec façade ventilée'

Les murs sont réalisés en brique creuse de 10 cm avec un revêtement de ciment de un (01) cm, une chape de deux (02) cm et une dalle pleine de sept (07) cm.

La première cellule (C_r) a été utilisée comme cellule de référence. La deuxième cellule (C_{fv}) est utilisée afin d'expérimenter l'impact du dispositif de la façade ventilée. Cette dernière a été réalisée en panneaux sandwich (plaque d'aluminium - Alucobande) de couleur blanche avec des joints fermés comme le démontre la figure 6.

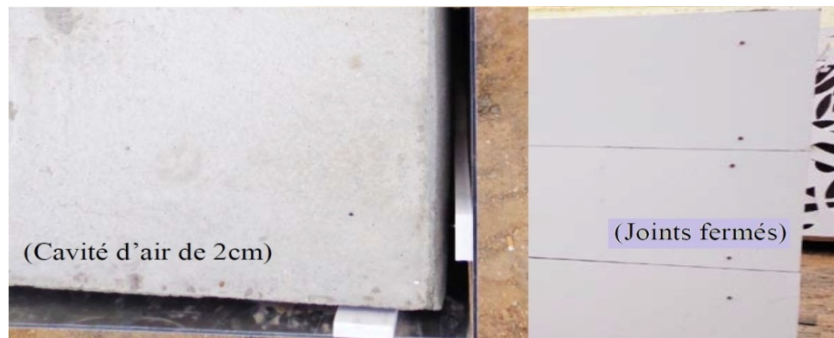


Fig. 6: Cavité d'air de la façade ventilée avec des joints fermés

La cavité d'air réalisée est d'un espacement de 2 cm sans isolation thermique afin d'étudier l'effet thermique de la convection naturelle par l'effet de cheminée (tirage thermique) sur la réduction du flux de la chaleur de l'extérieur vers l'intérieur.

2.3 Protocole de la prise de mesures

Les outils exploités pour la prise de mesures sont représentés dans la figure 7. La photographie (a) représente un thermomètre 'Testo 480' pour mesurer la température de l'air à l'extérieur (T_{ext}) et la température intérieure ambiante (T_a). La photographie (b) représente un 'thermomètre infrarouge' pour mesurer la température surfacique externe (T_{se}) et interne (T_{si}) dans les cellules.

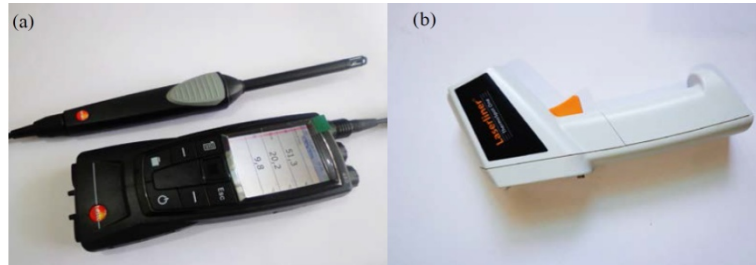


Fig. 7: Les instruments utilisés pour la prise de mesures

L'analyse des données climatiques de la ville de Biskra nous a permis de déterminer la journée type de la prise de mesure durant la période la plus chaude.

Un protocole bi-horaire de prise de mesures a été établi pendant 12 heures (de 6h à 18h) le 10 Août 2017. Le mur choisi pour l'étude est celui orienté vers le Sud.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats obtenus par la prise des mesures dans les cellules tests durant la journée type (le 10/08/2017) sont représentés dans les figures ci-dessous.

La figure 8 illustre le graphe des températures surfaciques externes mesurées.

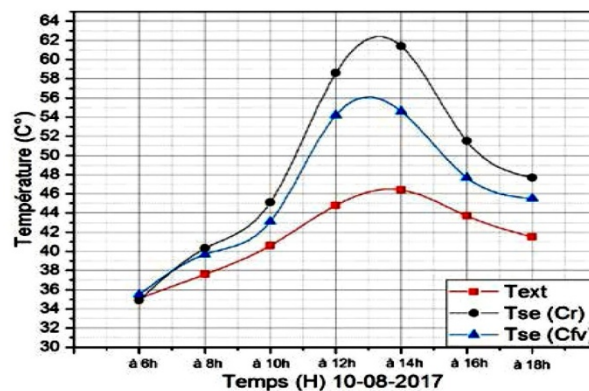


Fig. 8: Graphe de températures surfaciques externes mesurées

On voit clairement que révèlent que les températures surfaciques (T_{se}) dépassent la température extérieure (T_{ext}) durant toute la période de mesure. La courbe de la cellule ventilée $T_{se} - C_{fx}$ a un bon comportement que la courbe de la cellule de

référence, $T_{se} - C_r$. Le dispositif de la façade ventilée diminue la valeur de la température surfacique externe d'une manière considérable jusqu'à $6,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ par rapport à la cellule de référence (C_r) avec un pourcentage de réduction de 11.07 %. Le bardage de la façade ventilée absorbe une quantité des rayonnements solaires et protège la paroi initiale qui diminue sa température surfacique externe. Cette réduction influe directement sur le transfert de la chaleur et la température surfacique interne.

Les températures surfaciques internes mesurées dans les deux cellules sont illustrées dans la figure 9.

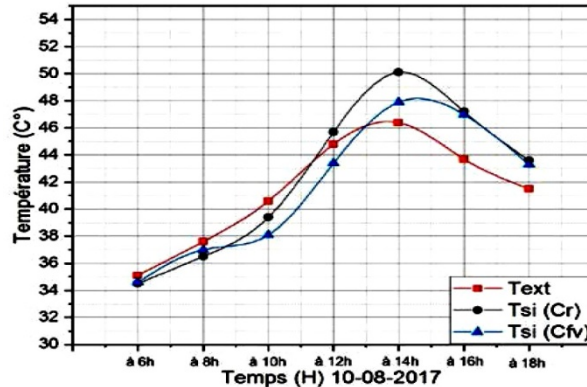


Fig. 9: Graphe de températures surfaciques internes mesurées

On remarque qu'il y a deux (02) comportements différents. La courbe de la cellule (C_r) est supérieure à la courbe de la cellule (C_{fv}) après 8h vu l'impact des rayonnements solaires avec une valeur maximale de $50.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ à 14h dépassant la température extérieure. Par contre, on constate que l'augmentation de la courbe de la cellule ventilée (C_{fv}) faite d'une manière lente et dépasse la température extérieure à partir de 13h avec une valeur maximale de $47.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ à 14h. Le dispositif de la façade ventilée minimise la température surfacique interne jusqu'à $2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ par rapport (C_r) avec un pourcentage de 4.39 %. Ces valeurs influent directement sur la température ambiante.

Les températures ambiantes enregistrées dans les deux cellules tests sont démontrées dans la figure 10.

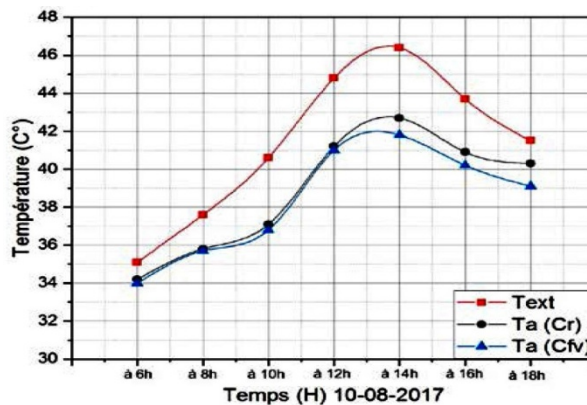


Fig. 10: Graphe de températures ambiantes mesurées

On remarque que la température extérieure (T_{ext}) est élevée pendant toute la journée particulièrement après 10h avec une température maximale de 46.4 °C à 14h. On voit clairement que la température ambiante de la cellule ventilée (C_{fv}) est inférieure en comparaison avec la cellule de référence (C_r) avec un écart maximal de 1.2 °C à 18h et un pourcentage de 2.98 %. Le bardage de la façade ventilée et la convection naturelle dans la cavité d'air de (C_{fv}) influe d'une manière positive sur le fonctionnement thermique de la cellule mais d'une manière limitée.

Le **tableau 1** illustre les mesures enregistrées dans la cellule de référence (C_r) avec les valeurs moyennes.

Tableau 1: Températures mesurées dans la cellule de référence (C_r)

Température	A 6h	A 8h	A 11h	A 12h	A 14h	A 16h	A 18h	Moyenne
-Extérieure.	35.1	37.6	40.6	44.8	46.4	43.7	41.5	40.7
-Ambiante	34.2	35.8	37.1	41.2	42.7	40.9	40.3	38.4
-Interne	34.5	36.5	39.4	45.7	50.1	47.2	43.6	42.3
-Externe	34.9	40.3	45.1	58.6	61.4	51.5	47.7	48.1

On voit que la température surfacique externe (T_{se}) a un grand impact sur la température surfacique interne (T_{si}) sous l'influence des rayonnements solaires à partir de 8h. Ces deux paramètres influent directement sur le comportement thermique de la cellule et la température ambiante.

Les mesures enregistrées dans la cellule avec façade ventilée (C_{fv}) sont représentées dans le **tableau 2**.

Tableau 2: Températures mesurées dans la cellule avec façade ventilée (C_{fv})

Température	A 6h	A 8h	A 11h	A 12h	A 14h	A 16h	A 18h	Moyenne
-Extérieure.	35.1	37.6	40.6	44.8	46.4	43.7	41.5	40.7
-Ambiante	34.0	35.7	36.8	41.0	41.8	40.2	39.1	37.9
-Interne	34.6	37.0	38.1	43.4	47.9	47.0	43.3	41.2
-Externe	35.5	39.7	43.1	54.2	54.6	47.7	45.5	44.8

On remarque que les valeurs de la température surfacique externe moyenne diminuent de 3.3 °C avec un pourcentage de 6.86 %.

D'une manière générale, le meilleur fonctionnement thermique enregistré est celui de la cellule avec une façade ventilée (C_{fv}) particulièrement dans les températures surfaciques externes. Cette efficacité thermique est le résultat de la protection contre les rayonnements solaires qui fut assurée par le bardage, ainsi que la convection naturelle de la cavité d'air qui a contribué à minimiser le flux de la chaleur transmise. Ce comportement reste assez limité vu l'absence de l'isolation thermique qui a une grande influence sur l'amélioration du fonctionnement thermique de ce dispositif.

Ces résultats nous ont permis de découvrir le rôle très important du bardage de la façade ventilée sur la réduction de la température surfacique externe, ainsi que l'influence positive de la cavité d'air qui diminue le flux de la chaleur par l'effet du tirage thermique. Nous avons pu comprendre l'impact très important de l'isolation thermique sur l'efficacité du fonctionnement de ce dispositif.

La façade est un élément très important dans le bâtiment [17]. Elle est considérée comme une enveloppe séparative entre l'intérieur et l'extérieur; elle a une fonction

décisive sur le fonctionnement thermique des bâtiments et sa performance doit être identique à la construction [18, 19].

6. CONCLUSION

Ce papier présente les principaux résultats d'une étude fondée sur un travail expérimental par des prises de mesures sur des cellules tests à une échelle réduite. L'objectif étant d'étudier l'impact du dispositif de la façade ventilée (le bardage et la convection naturelle de la cavité d'air) dans une zone chaude et aride sur le fonctionnement thermique des constructions.

Globalement, les résultats sont satisfaisants. Ils nous ont permis de comprendre le rôle de chaque composant d'une façade ventilée. D'une part, l'impact considérable du bardage sur la réduction des températures surfaciques externes avec une valeur d'abaissement jusqu'à 6.8 °C et un pourcentage de réduction de 11.07 %, d'autre part, l'influence positive de la convection naturelle de la cavité d'air sur la réduction du flux de la chaleur. Nous avons pu constater que la diminution de la température ambiante est le rôle de l'isolant qui est considéré comme élément déterminant sur le comportement thermique de la façade ventilée.

Ces résultats expliquent le grand impact des dispositifs des façades et leurs importances sur l'optimisation du comportement thermique et la possibilité de la réduction des besoins énergétiques. Le choix appropriés des composants du dispositif de la façade ventilée influe d'une grandemanière sur le comportement thermique et l'efficacité énergétique des constructions dans un climat chaud et aride. Ces résultats ouvrent plusieurs axes de recherches futures particulièrement les proportions de la cavité d'air.

NOMENCLATURE

T_a , température ambiante	Int, Intérieur
T_{ext} , température extérieure	Ext, Extérieur - Mes, Mesurée
T_{si} , Température surfacique interne	C_{fv} , Cellule avec façade ventilée
T_{se} , température surfacique externe	C_r , Cellule de référence

Remerciements- Les auteurs tiennent à remercier tous ceux et celles qui ont pu contribuer à élaborer cette recherche, spécialement le directeur de la Direction Energie-Environnement du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment CSTB Grenoble, Dr. Daniel Quenard, Mr. Mathieu Cosnier de la division CBP Grenoble et M. Sami Abbaci.

REFERENCES

- [1] M.A. Khadraoui, L. Sriti et Y. Merad, *L'Impact de la Façade Ventilée sur le Confort Thermique et l'Esthétique de L'enveloppe Architecturale*, Xth Congrès International des Energies Renouvelables et L'environnement, Sousse, Tunisie, 2016.
- [2] M. Ibañez-Puy, M. Vidaurre-Arbizu, A. Sacristán-Fernández, C. Martín-Gómez, 'Opaque Ventilated Façades : Thermal and energy performance review', Renewable and Sustainable Energy Reviews Vol.79, pp.180–191, 2017.
- [3] G. Manioglu, Z. Yilmaz, 'Economic evaluation of the building envelope and operation period of heating system in terms of thermal comfort', Energy and Buildings Vol.38, pp. 266–72, 2006.

- [4] R. Pacheco, J. Ordóñez, G. Martínez, 'Energy efficient design of building: a review', Renewable and Sustainable Energy Reviews Vol.16, pp. 3559–3573, 2012.
- [5] G. Zemella, A. Faraguna, *Evolutionary Optimisation of Façade Design*, Springer-Verlag, London, 2014.
- [6] T. Sophie, *Matériau, Matière d'Architecture Soutenable*, Thèse de Doctorat, Faculté d'Architecture, LOCI, France, 2012.
- [7] A. Gracia, A. Castell, L. Navarro, E. Oro, L. F. Cabeza, 'Numerical modelling of ventilated facades: A review', Renewable and Sustainable Energy Reviews Vol.22, pp. 539-549, 2013.
- [8] J. Verdonchot, W. Zeiler, G.Boxem, 'Performance of different facade types', PLEA 2009 - 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Quebec, Canada, 2009.
- [9] L.F. Cabeza, Gracia, A., L. Navarro, A. Castell, 'Numerical study on the thermal performance of a ventilated façade with PCM', Applied Thermal Engineering Vol.61, pp. 372-380, 2013.
- [10] X. Loncour, A. Deneyer, M. Blasco, G. Flamant and P. Wouters, *Ventilated Double Facades*, Department of Building Physics, Belgian Building Research Institute, Belgium, 2004.
- [11] E. Gratia and A. De Herde, *Optimal Operation of a South Double-Skin Façade*, Energy and Buildings, Vol. 36, N°1, pp. 41 – 60, 2004.
- [12] E. Gratia and A. De Herde, *Are Energy Consumptions Decreased with the Addition of a Double-Skin?*, Energy and Buildings, Vol. 38, N°5, pp. 605 – 619, 2007.
- [13] H. Elarga, M.D. Carli and A. Zarrella, *A Simplified Mathematical Model for Transient Simulation of Thermal Performance and Energy Assessment for Active Facades*, Energy and Buildings, Vol. 104, pp. 97 – 107, 2015.
- [14] V. Gavan, M. Woloszyn, F. Kuznik and J.J. Roux, *Experimental Study of a Mechanically Ventilated Double-Skin Façade with Venetian Sun-Shading Device: A Full-Scale Investigation in Controlled Environment*, Solar Energy, Vol. 84, N°2, pp. 183 - 195, 2010.
- [15] A. Gracia, A. Castell, L. Navarro, E. Oro and L.F.Cabeza, *Numerical Modelling of Ventilated Facades: A Review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 22, pp. 539 - 549, 2013.
- [16] T. Pasquay, *Natural Ventilation in High-Rise Buildings with Double Facades, Saving or Waste of Energy*, Energy and Buildings Vol. 36, pp. 381 - 389, 2004.
- [17] T. Salem, *Intégration des Composants Solaires Thermiques Actifs dans aa Structure Bâtie*, Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France, 2007.
- [18] M.A. Khadraoui et L. Sriti, *L'impact des Caractéristiques Matérielles de la Façade sur son Comportement Thermique: Cas des Bureaux dans un Climat Chaud et Aride*, 18^{ème} Journées Internationales de Thermique, Monastir, Tunisie, 2017.
- [19] E.E. Velázquez Romo, *Processus de Conception Energétique de Bâtiments Durables*, Thèse de Doctorat, Université Paris Tech, France, 2015.