

# The impact of the ventilated facade on the thermal behaviour and energy consumption of buildings

Mohamed-Amine Khadraoui  
Department of Architecture  
Mohamed Khider university  
Biskra, Algeria  
makhadraoui@yahoo.com

Leila Sriti  
Department of Architecture  
Mohamed Khider university  
Biskra, Algeria  
sritileila@yahoo.fr

Soumaya Besbas  
Department of Architecture  
Mohamed Khider university  
Biskra, Algeria  
s.besbas@yahoo.com

**Résumé**— La façade des bâtiments est considérée comme une zone de transfert de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur. C'est là où s'opèrent les grandes déperditions calorifiques à travers différents modes de transfert thermique dont la convection qui influe considérablement sur le comportement thermique de la construction. L'objectif de ce travail de recherche est d'étudier l'effet thermique de la convection naturelle de la cavité d'air d'une façade ventilée sur son efficacité thermique et énergétique dans un climat désertique. Cette étude est basée sur une approche expérimentale sur modèle réduit où les températures ambiante et surfacique interne et externe ont été mesurées dans des cellules tests. Une simulation numérique en utilisant le logiciel de la thermique dynamique « TRNSYS » a complété l'étude. Les résultats ont démontré que l'effet convectif de la cavité d'air d'une façade ventilée influe directement et d'une manière positive sur la performance thermique et énergétique de la façade.

**Mots clés**— façade ventilée, convection naturelle, transfert de chaleur, efficacité énergétique, climat désertique.

## I. INTRODUCTION

La sélection d'une enveloppe adéquate est une décision importante dans le processus de la conception architecturale vue sa complexité et ses aspects hyper-interférés [1]. Elle est considérée comme un élément déterminant vis à vis de la consommation énergétique de la construction [2-4].

La façade est une partie essentielle de l'enveloppe du bâtiment ; elle a un rôle clé sur le fonctionnement thermique et la performance énergétique de la construction. En effet, la façade représente l'interface entre l'environnement extérieur et intérieur et de fait, elle offre un vaste champ d'investigation [2]. Ce sujet a fait l'objet d'innombrables travaux de recherches, notamment, dans la thématique du confort thermique et de la performance énergétique du bâtiment [5].

Dans le sillage de ces travaux, plusieurs études se sont inscrites dans une démarche visant à améliorer le fonctionnement thermique des façades. Dans ce contexte, il s'avère que la technique constructive de la façade ainsi que le choix des matériaux et de leurs caractéristiques ont une grande influence sur son comportement thermique [6]. La façade

ventilée constitue l'une de ces techniques en plein expansion [7]. Elle est considérée comme une solution simple et efficace pour améliorer la qualité thermique des façades [2,8].

Au fait, la façade ventilée comme dispositif de protection architecturale est caractérisé par une double peau avec un espacement entre le mur du bâtiment et le bardage ajouté, 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 "Fig. 1" illustre le comportement thermique d'une façade ventilée durant une journée typique en été. On voit clairement l'effet positif de la façade ventilée (FV) sur la préservation des conditions thermiques internes dans la plage de confort thermique durant toute la journée. Ce dispositif a connu un intérêt particulier en architecture et génère des questions sur ses impacts thermiques et énergétiques qui nécessitent des études approfondies [11,12]. Il faut préciser aussi que la façade ventilée étant un dispositif de protection architecturale, son comportement varie selon les conditions climatiques d'une ville à une autre [13].

L'objectif de cette recherche est d'étudier l'influence de la convection naturelle de la cavité d'air d'une façade ventilée sur le comportement thermique et la performance énergétique des constructions situées dans un climat désertique. La première partie est consacrée aux mesures de la température ambiante et surfacique interne et externe effectuées sur des cellules tests à une échelle réduite. La deuxième partie présente la simulation thermique dynamique sous le logiciel « TRNSYS -V17» réalisée sur deux modèles : un modèle de référence (Mr) et un autre modèle avec une façade ventilée (Mfv).

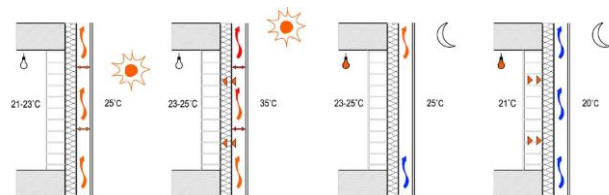


Fig. 1. Le comportement thermique d'une façade ventilée durant une journée chaude [2]

## II. ETUDE EXPÉRIMENTALE

### A. Présentation du contexte d'étude

Le contexte d'étude porte sur la ville de Biskra (zone chaude et aride) située au Sud de l'Algérie à une latitude de  $34^{\circ} 48'$  Nord et une longitude de  $5^{\circ} 44'$  Est. Elle s'élève à une altitude de 86 mètres. La "Fig. 2" représente les températures journalières pendant une année générées par le logiciel des données météorologiques "Meteonorm V7.2.1".

On remarque qu'il y a une grande amplitude thermique entre la température maximale et minimale durant la même journée. Par ailleurs, la saison chaude est caractérisée par des températures très élevées qui influent sur le comportement thermique de la construction et le confort des usagers.

### B. Présentation des cellules tests

Dans la littérature, l'étude de la performance du système de la façade ventilée a été effectuée avec des expérimentations [9,14], des simulations [9,15], ainsi que sur des constructions existantes [16]. Dans notre cas, deux cellules tests ont été réalisées à une échelle réduite en brique creuse de (10cm) avec une forme rectangulaire de 80x90cm et une hauteur de 90cm "Fig. 3". La cellule de référence (Cr) est prise comme modèle témoin, alors qu'une autre cellule (Cfv) est utilisée pour tester le dispositif de la façade ventilée. Cette dernière est réalisée en panneaux sandwich (plaque d'aluminium - Alucobande) de couleur blanche avec une cavité d'air de 2 cm. Le modèle (Cfv) ne comporte pas d'isolation thermique et les joints sont fermés.

### C. Protocole de la prise des mesures et les instruments utilisés

Deux types d'instruments sont utilisés pour la prise de mesures, le premier, un thermomètre "Testo 480" ("Fig. 4-a") pour mesurer la température de l'air à l'extérieur (Text) et la température intérieure (la température ambiante  $T_a$ ). Le deuxième instrument est un "thermomètre infrarouge" ("Fig. 4-b") pour mesurer la température surfacique interne ( $T_{si}$ ) et externe ( $T_{se}$ ).

Après l'analyse des données météorologiques de la ville en question et la détermination de la journée type "Design Day" de la période la plus chaude (le cas le plus défavorable), un protocole de prise de mesures a été effectué chaque deux heures de 6h à 18h le 11 Août 2017. La paroi étudiée est celle orientée vers le Sud.

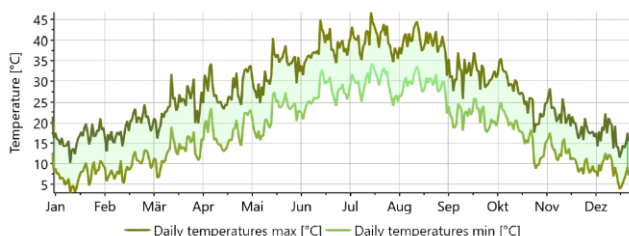


Fig. 2. Les températures journalières de la ville de Biskra pendant une année (Meteonorm V7.2.1)



Fig. 3. Les deux cellules tests : (Cr) cellule de référence et (Cfv) cellule avec façade ventilée



Fig. 4. Les outils utilisés pour la prise des mesures

### III. LE MODÈLE NUMÉRIQUE

#### A. Présentation du modèle numérique

L'étude numérique a été effectuée avec le logiciel de simulation thermique dynamique "TRNSYS V17". C'est un outil destiné aux acteurs du bâtiment [17] et très indiqué pour étudier ce type de façades comme l'ont démontré plusieurs recherches [9, 15, 18]. Le programme "SketchUp" a été exploité pour la création de la géométrie du modèle virtuel ("Fig. 5-a"). La simulation a porté sur deux variantes du modèle sous forme d'un cube (4x4x4) avec une seule zone thermique orienté vers le Sud. La première variante (Mt) ne comporte pas de façade ventilée et a servi de modèle témoin. Elle est réalisée avec une double paroi de brique avec une lame d'air de 5cm. La deuxième variante illustre le modèle avec façade ventilée (Mfv), il s'agit également une double paroi de brique avec une lame d'air de 5cm, où la surface extérieure a été parée d'un bardage en terre cuite de 2cm ("Fig. 5-b").

Les caractéristiques thermiques des matériaux utilisés dans la simulation sont représentées dans le tableau 1.

#### B. Protocole de la simulation

Les scénarios similaires à un cas réel ont été introduit (infiltrations, les gains internes, les occupants, l'activité et les équipements). Par la suite, nous avons lancé la simulation pendant le mois le plus froid (Janvier de 0 à 744 h) afin de calculer la température ambiante et les besoins énergétiques nécessaires pour assurer une température intérieure entre 20 et 25°C (plage de confort) dans les deux modèles.

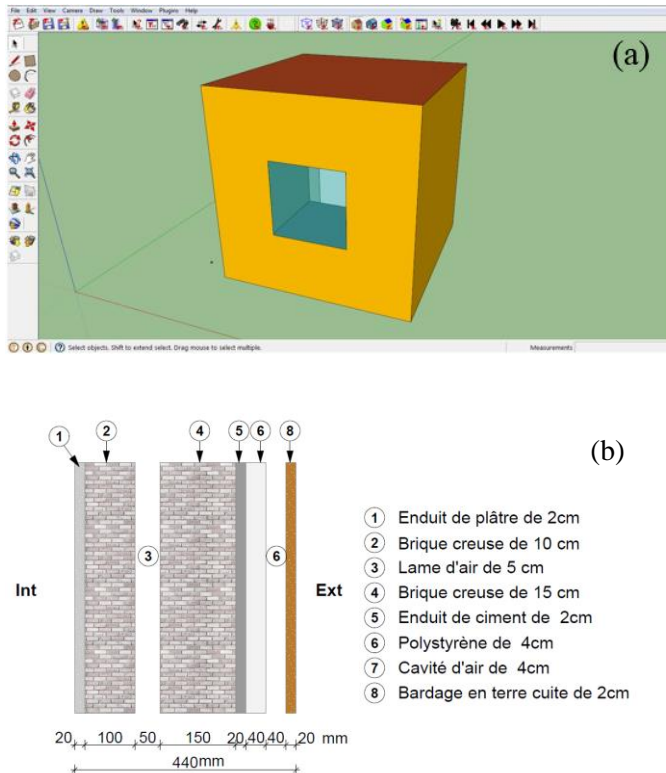


Fig. 5. La géométrie des modèles simulés

TABLEAU I. LES CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES DES MATÉRIAUX DU MODÈLE VIRTUEL

Matériau	Caractéristiques thermiques		
	$\lambda$ (W/m.k) <sup>a</sup>	D (Kg/m3) <sup>b</sup>	E (cm) <sup>c</sup>
Brique creuse	0,48	900	10-15
Enduit de plâtre	0,35	1150	02
Enduit de ciment	1,4	2200	02
Lame d'air de 5 cm	0,047	1	05
Lame d'air ventilée	0,192	1	04
Carrelage	1	2000	02
Corps creux	1,2	1300	16
Dalle	1,75	2500	10
Hérissonnage	0,85	1560	30
Mortier de ciment	0,31	2000	02
Polystyrène	0,04	25	04
Terre cuite	1,15	1900	02

<sup>a</sup>: Conductivité thermique (W/m.k).

<sup>b</sup>: Densité (Kg/m3).

<sup>c</sup>: Epaisseur (cm).

### IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### A. Résultats de l'étude expérimentale

Les résultats obtenus par la prise des mesures in situ pendant la journée type (le 11-08-2017) sur les cellules tests sont représentés dans les ("Fig. 6 et 7"). La "Fig. 6" illustre les mesures enregistrées de température à l'extérieur (Text) et la température ambiante (Ta) dans les deux cellules. On constate que la (Text) est élevée pendant toute la journée particulièrement après 12h avec une température maximale de 24.6 C° à 14h. On voit clairement que la température ambiante de la cellule ventilée (Cfv) est inférieure en comparaison avec la cellule de référence (Cr) vu l'impact de la convection naturelle dans la cavité d'air de (Cfv) qui influe d'une manière positive sur le fonctionnement thermique de la cellule.

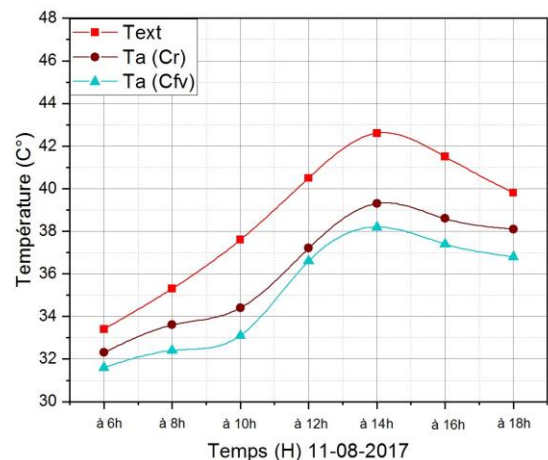


Fig. 6. La température extérieure et ambiante mesurée

Les températures surfaciques internes et externes mesurées sont illustrées dans la "Fig. 7".

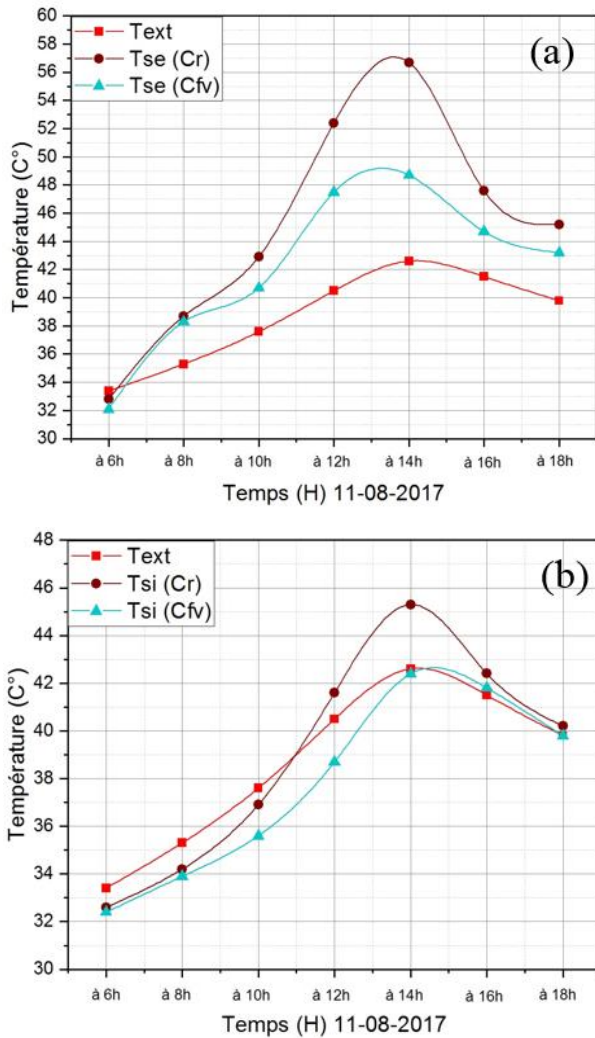


Fig. 7. Les températures surfaciques internes et externes mesurées dans les deux cellules

Le graphe (a) révèle que le dispositif de la façade ventilée diminue la valeur de la température surfacique externe d'une manière considérable jusqu'à 8°C entre (Cr) et (Cfv) avec un pourcentage de 14,1%. Concernant la température surfacique interne (b), on remarque que les valeurs de (Cfv) sont moindres que celles du (Cr) avec un écart de 3°C à 14h et un pourcentage de réduction de 6,62%.

Globalement, on peut dire que le meilleur comportement thermique est celui de la cellule avec façade ventilée (Cfv). Cette performance thermique est le résultat, d'une part, de l'impact positif du bardage assurant la protection contre les rayonnements solaires et, d'autre part, du rôle de la convection naturelle de la cavité d'air qui a contribué à minimiser le flux de chaleur transmis. La valeur de certains paramètres reste assez élevée vu l'absence de l'isolation thermique qui joue un rôle très important sur l'amélioration du fonctionnement thermique de ce dispositif.

## B. Validation et résultats du modèle numérique

Le programme utilisé "TRNSYS V17" a fait l'objet de plusieurs validations [17]. Selon la littérature, la simulation est validée à deux conditions : la première s'il y a une cohérence entre les outputs du programme et les mesures in situ et, la deuxième si la différence entre les valeurs extrêmes des deux mesures ne dépasse pas 10% [11, 19]. Après avoir comparé les résultats de la simulation avec les mesures réelles, nous avons observé une correspondance entre l'allure des deux graphes et parallèlement l'écart des valeurs extrêmes des deux mesures est inférieur à 10%, par conséquent, nous considérons que notre modèle est validé.

La "Fig. 8" illustre la température ambiante et extérieure annuelle simulée dans les deux modèles. On remarque que la température du modèle ventilée (Mfv) a un meilleur comportement que le modèle témoin (Mt). Pendant l'hiver, la température ambiante du (Mfv) est toujours supérieure par rapport au modèle (Mt) vu l'influence de la façade ventilée particulièrement l'isolant (isolation thermique par l'extérieur). Pendant la période estivale, on voit que la température du modèle (Mfv) est inférieure à celle du modèle simple (Mt) durant toute la période. C'est le résultat de l'impact du bardage en terre cuite qui protège le mur interne et absorbe une grande quantité du flux de la chaleur. La convection naturelle de la cavité a un rôle très important sur la réduction du taux du flux de chaleur.

La "Fig. 9" représente les résultats de la température opérative (To) simulée dans les deux modèles pendant une année et permet d'observer simultanément les zones de température (isothermes) pour les deux périodes hivernale et estivale afin de déterminer la zone d'inconfort. L'isotherme (a) pour le modèle témoin et (b) pour le modèle de la façade ventilée.

Globalement, la convection naturelle dans la cavité d'air du dispositif de la façade ventilée influe d'une manière positive sur l'amélioration du comportement thermique de la façade par la réduction des fluctuations des températures. Pendant la période froide, on observe que les valeurs des températures ambiantes du (Mfv) sont assez élevées par rapport au (Mt). Durant la période chaude, on voit que les températures dans (Mfv) diminuent par rapport au (Mt). Durant les mois de (Avril, Mai, Septembre et Octobre) on constate que le meilleur comportement thermique est dans le modèle de la façade ventilée qui représente un comportement assez stable.

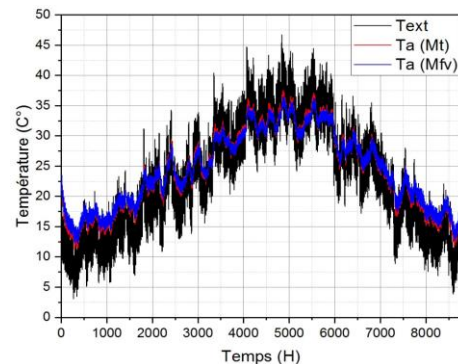


Fig. 8. La température ambiante simulée dans les deux modèles

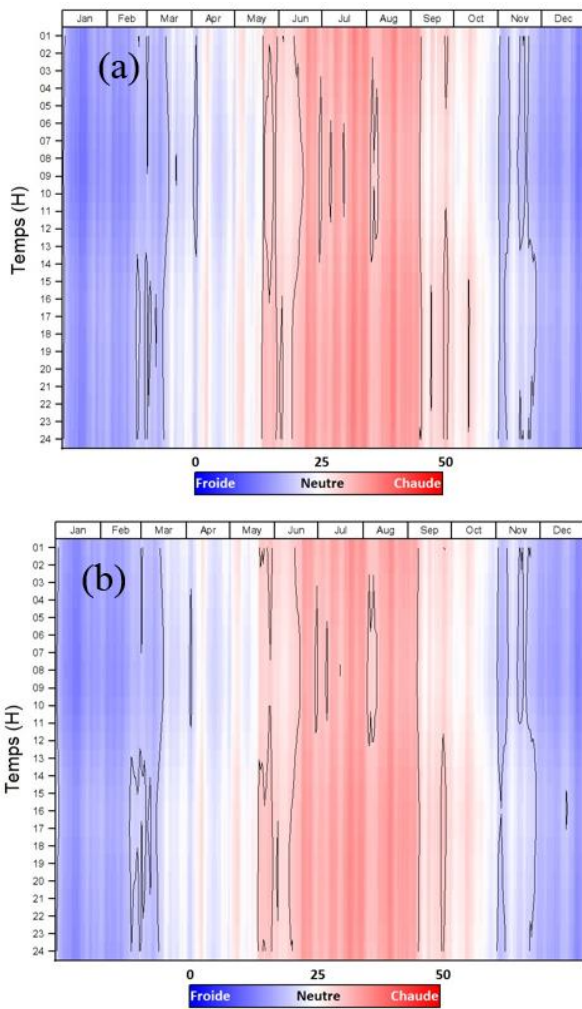


Fig. 9. Isothermes simulées pendant une année dans les deux modèles

La “Fig. 10” démontre les résultats relatifs à la consommation énergétique pendant une année afin d’assurer une température ambiante supérieure à 20C° en hiver et inférieure à 25C° en été. Les valeurs positives représentent la consommation de la climatisation et les valeurs négatives la consommation du chauffage. Ainsi, il apparait que la grande quantité d’énergie est utilisée principalement pour les besoins de conditionnement d’air dans les deux cas. Globalement, on voit que la consommation du modèle ventilée (Mfv) est inférieure à celle du modèle témoin (Mt) en particulier pendant la période chaude.

Les résultats relatifs à la consommation énergétique pendant trois jours représentatifs sont illustrés dans la “Fig. 11” où (a) illustre les trois jours les plus froids et (b) les trois jours les plus chauds.

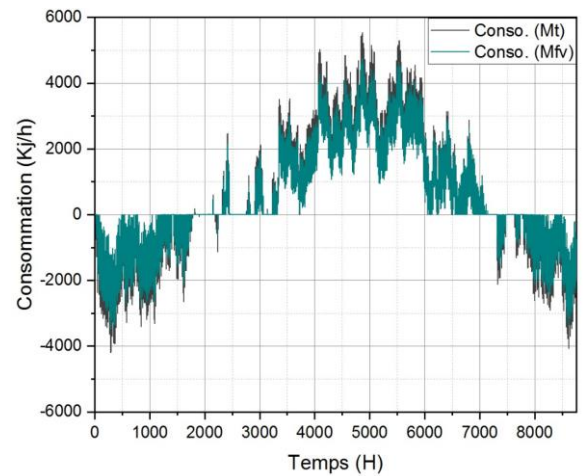


Fig. 10. La consommation énergétique annuelle des modèles simulés

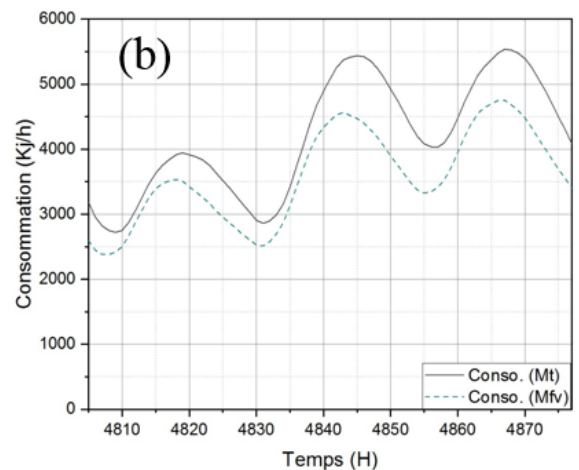
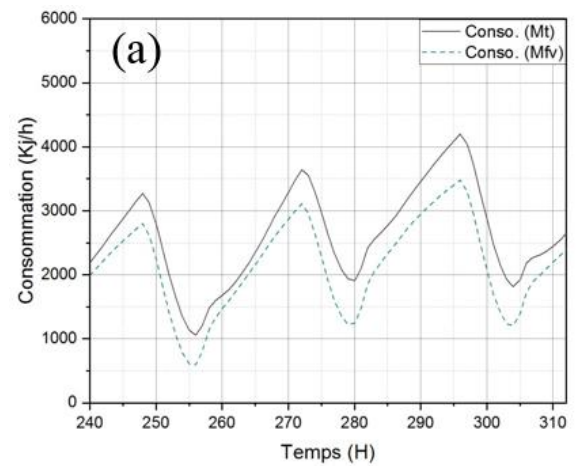


Fig. 11. La consommation énergétique pendant trois jours froids (a) et chauds (b)

Il est à noter que l’expérimentation effectuée a permis de montrer l’efficacité du dispositif de la façade ventilée dans l’amélioration du confort thermique mais l’écart réalisé entre les deux variantes (avec et sans façade ventilée) reste assez faible surtout par rapport aux valeurs de la température ambiante. La présente étude est parvenue à réaliser une réduction de 20%,

mais d'autres recherches affirment que la façade ventilée peut réduire la consommation énergétique de refroidissement jusqu'à 40% [2, 7, 20-22]. Les résultats obtenus nécessitent d'être approfondis dans le futur par des études paramétriques afin d'optimiser la performance de ce dispositif, notamment, à travers l'amélioration du type et de l'épaisseur de l'isolant ainsi que le dimensionnement de la cavité d'air.

## CONCLUSION

Cette étude a présenté les principaux résultats obtenus à l'issue d'une recherche basée sur une approche expérimentale. L'investigation a combiné des mesures in situ effectuées sur des cellules tests à échelle réduite et une simulation thermique dynamique par le logiciel «TRNSYS». L'objectif étant d'étudier l'influence de la convection naturelle de la cavité d'air d'une façade ventilée dans un climat désertique sur le comportement thermique et l'efficacité énergétique du bâtiment.

Les résultats sont satisfaisants dans l'ensemble et démontrent, d'une part, l'importance de l'utilisation du dispositif de la façade ventilée dans les zones désertique et, d'autre part, l'impact positif de la convection dans la cavité d'air de la paroi verticale. L'hiver, ce dispositif protège contre le froid, en même temps, l'isolant augmente l'inertie thermique et élimine les déperditions à travers les ponts thermiques. Durant la saison chaude, la façade ventilée occulte les rayonnements solaires et s'oppose au transfert de la chaleur par conduction ce qui influe considérablement sur la diminution du flux de la chaleur venant de l'extérieur vers l'intérieur. Pour ce qui est de la consommation énergétiques, la consommation de la climatisation a été réduite de 20% avec une possibilité d'amélioration. Ces résultats ouvrent la voie à plusieurs axes de recherches futurs surtout en ce qui concerne l'optimisation de l'isolation et le dimensionnement de la cavité d'air.

## 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 le Dr. Daniel Quenard, M. COSNIER Matthieu de la division CBP Grenoble, M. Tarek Abbaci et M. Sami Abbaci.

## RÉFÉRENCES

- [1] Khadraoui, M.A., L. Sriti, Y. Merad (2016). L'impact de la façade ventilée sur le confort thermique et l'esthétique de l'enveloppe architecturale. Xth Congrès international des énergies renouvelables et l'environnement, Sousse, Tunisie.
- [2] Ibañez-Puy, M., Vidaurre-Arbizu, M., Sacristán-Fernández, A., Martín-Gómez, C., (2017). Opaque Ventilated Façades: Thermal and energy performance review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 79 (2017) 180–191.
- [3] Manioglou, G., Z. Yilmaz (2006). Economic evaluation of the building envelope and operation period of heating system in terms of thermal comfort. *Energy and Buildings* 38 (2006) 266–72.
- [4] Pacheco, R., J. Ordóñez, G. Martínez (2012). Energy efficient design of building: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(2012) 3559–3573.
- [5] Zemella, G., A. Faraguna (2014). *Evolutionary Optimisation of Façade Design*, Springer-Verlag, London.
- [6] Sophie, T. (2012). *Matériau, Matière d'Architecture Soutenable*. Thèse de Doctorat, Faculté d'Architecture, LOCI, France.
- [7] Gracia, A., A. Castell, L. Navarro, E. Oro, L. F. Cabeza (2013). Numerical modelling of ventilated facades: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 22 (2013) 539–549.
- [8] Verdonschot, J., W. Zeiler, G.Boxem (2009). Performance of different facade types. PLEA 2009 - 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Quebec, Canada.
- [9] Cabeza, L.F., Gracia, A., L. Navarro, A. Castell (2013). Numerical study on the thermal performance of a ventilated façade with PCM. *Applied Thermal Engineering* 61 (2013) 372–380.
- [10] Loncour, X.A. Deneyer, M. Blasco, G. Flamant, P. Wouters (2004). *Ventilated Double Facades*, Department of building physics, building research institute, Belgium.
- [11] Gratia, E., A. Herde (2004). Optimal operation of a south double-skin facade. *Energy and Buildings* 36 (2004) 41–60.
- [12] Gratia, E., A. De Herde (2007). Are energy consumptions decreased with the addition of a double-skin? *Energy and Buildings* 38(2007) 605–619.
- [13] Elarga, H., D.C. M, A. Zarrella (2015). A simplified mathematical model for transient simulation of thermal performance and energy assessment for active facades. *Energy and Buildings* 104 (2015) 97–107.
- [14] Gavan, V., M.Woloszyn, F. Kuznik, J.J. Roux (2010). Experimental study of a mechanically ventilated double-skin façade with venetian sun-shading device: a full-scale investigation in controlled environment. *Solar Energy* 84 (2010) 183–195.
- [15] Gracia, A., A. Castell, L. Navarro, E. Oro, L.F.Cabeza (2013). Numerical modelling of ventilated facades: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 22 (2013) 539–549.
- [16] Pasquay, T. (2004). Natural ventilation in high-rise buildings with double facades, saving or waste of energy. *Energy and Buildings* 36 (2004) 381e389.
- [17] Spitz, C. (2012) *Analyse de la fiabilité des outils de simulation et des incertitudes de métrologie appliquée à l'efficacité énergétique des bâtiments*. Thèse de Doctorat, Université de Grenoble, France.
- [18] Haase M, F. Marques da Silva, A. Amato (2009). Simulation of ventilated facades in hot and humid climates. *Energy and Buildings* 41 (2009) 361–373.
- [19] Soudani, L.C.L. (2016). *Modelling and experimental validation of the hygrothermal performances of earth as a building material*. Thèse de Doctorat, Université de Lyon, France.
- [20] Sanjuan, C., M.J. Suárez, M. González, J. Pistono, E. Blanco (2011). Energy performance of an open-joint ventilated façade compared with a conventional sealed cavity façade. *Solar Energy* 85 (2011) 1851–1863.
- [21] Suárez, M.J., C. Sanjuan, A.J. Gutiérrez, J. Pistono, E. Blanco (2012). Energy Evaluation of an horizontal open joint ventilated façade. *Applied Thermal Engineering* 37 (2012) 302–313.
- [22] Gagliano, A., F. Nocera, S. Aneli (2016). Thermodynamic analysis of ventilated façades under different wind conditions in summer period. *Energy and Buildings* 122 (2016) 131–139.