

UNE REVUE DES FAÇADES SOLAIRES OPAQUES ET TRANSPARENTES

Guillermo **QUESADA**^{*}, Yvan **DUTIL**, Daniel **ROUSSE**, Stephane **HALLE**

Chaire de recherche industrielle t3e, École de technologie supérieure, Montréal, Canada

RÉSUMÉ

Dans l'Antiquité, les peuples connaissaient déjà les principes de l'architecture solaire, en orientant leurs maisons vers le sud pour profiter du Soleil en toutes saisons. Actuellement, l'architecture solaire connaît une véritable révolution en raison du développement, entre autres, de façades spéciales utilisées dans les processus de chauffage, de ventilation, d'isolation thermique, d'ombrage, de production d'électricité et d'éclairage des maisons, appelées «façades solaires». Ce travail vise à examiner l'évolution de la recherche scientifique sur les façades solaires au cours des dix dernières années.

Mots Clés : bâtiment, rayonnement solaire, façade solaire, stockage thermique, cheminée solaire, façade ventilée.

1. INTRODUCTION

En architecture, une façade est, par définition générale, l'enveloppe extérieure de l'espace de vie d'un logement, qui est située dans un plan vertical dans la plupart des cas.

La façade, en plus de sa fonction esthétique, doit satisfaire à d'autres exigences: être imperméable à l'eau, isoler l'intérieur du bâtiment thermiquement et acoustiquement et, dans certains cas, être résistante au feu.

Aujourd'hui, l'architecture solaire subit une véritable révolution en raison du développement, entre autres, de façades solaires conçues pour le chauffage, la ventilation, l'isolation thermique, l'ombrage, la production d'électricité et l'éclairage du bâtiment. Toutefois, sa mise en œuvre est accompagnée d'importants défis en termes de complexité des processus et des technologies utilisées et de la capacité d'adaptation de ces solutions pour les différentes zones géographiques avec des conditions climatiques particulières. Ce problème a suscité un vif intérêt de la communauté scientifique internationale qui a déjà réalisé de nombreuses études relatives aux façades solaires. La figure suivante illustre le classement général de ces façades.

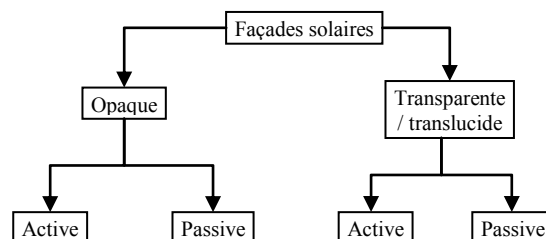


Figure 1. Classement général des façades solaires

Notre équipe a produit une recherche approfondie de l'évolution du travail scientifique sur les façades solaires au cours des dix dernières années. Les résultats de cette recherche sont résumés ici.

2. MÉTHODE DE RECHERCHE

Nous avons d'abord défini le cadre dans lequel la recherche se déroulerait. L'accent a été mis sur les journaux scientifiques publiés au cours des dix dernières années dans des bases de données ScienceDirect, Taylor & Francis Journals et Springer.

Ensuite, une liste des mots-clés trouvés lors de la recherche préliminaire a été dressée et une recherche dans les bases de données sélectionnées a été effectuée.

^{*} auteur correspondant

Adresse électronique : guillermo@t3e.info

Tableau 1 : Liste des mots-clés

Facade	Solar facade, Multifunctional solar facade, Active facade, Active transparent facade, Double-skin facade, Unglazed transpired solar facade
Wall	Solar wall, Trombe wall, Ventilated solar wall, Active thermal wall
Envelope	Active building envelope, Window active envelope
Collector	Unglazed perforated-absorber collector, Unglazed transpired solar collector
D'autres	Heat discharge system, Active Thermal insulators, Building-integrated Phtovoltaic panel, Transparent heat insulation

De l'ensemble d'articles trouvés, les plus pertinents ont été choisis et groupés selon le type de façade solaire étudiée dans l'article. Ensuite, chaque article a été analysé afin de déterminer des propriétés communes selon leur principe d'opération et un deuxième regroupement a été réalisé.

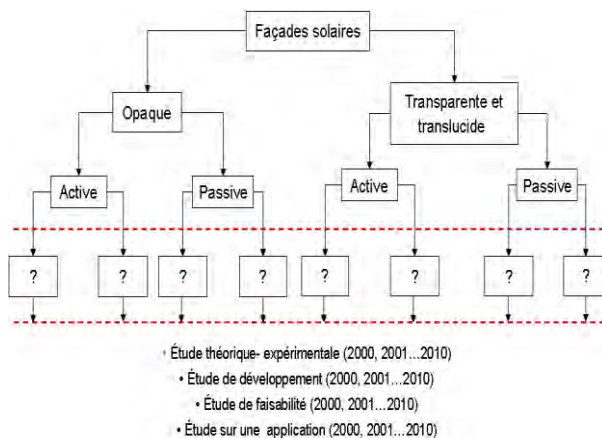


Figure 2. Organisation de la recherche

3. Résultats

Au total, 190 articles pertinents ont été trouvés, 68% d'entre eux ont été publiés dans les dernières cinq années (voir figure suivante). Toutefois, puisque le nombre de pages est limité, nous ne pourrions présenter dans les références qu'un extrait de ces articles.

Une augmentation significative du nombre de publications est aussi observée depuis 2007 dans la même figure.

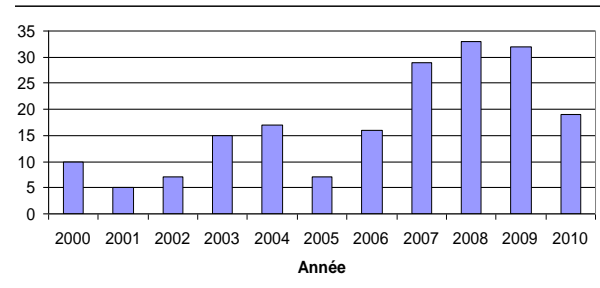


Figure 3. Répartition des articles par année

Nous avons noté aussi une concentration des articles dans un petit nombre de revues scientifiques. Ainsi, 75% des articles ont été publiés dans Energy and Buildings, Solar Energy, Building and Environment, Renewable Energy et Applied Thermal Engineering (voir tableau suivant).

Tableau 2 : Répartition des articles par magazine scientifique

Magazine scientifique	Nombre d'articles
Energy and Buildings	60
Solar Energy	34
Building and Environment	21
Renewable Energy	18
Applied Thermal Engineering	9

Nous décrivons ici brièvement, chaque type de façade solaire.

3.1. Façades solaires opaques et actives

Les façades solaires opaques absorbent et réfléchissent le rayonnement solaire incident, mais ne peuvent pas transférer directement le gain de chaleur solaire dans le bâtiment. Si ces façades solaires transforment le rayonnement solaire incident en électricité pour une utilisation immédiate ou si elles se servent d'équipements électriques ou mécaniques (pompes, ventilateurs, vannes, équipements de contrôle) pour la transmission de l'énergie thermique dans le bâtiment, elles sont appelées façades solaires opaques et actives.

Façade solaire thermique intégrée au bâtiment [1-12]

Une façade solaire thermique intégrée au bâtiment peut être conçue de telle sorte que le matériel remplit la fonction d'une enveloppe et recueille l'énergie solaire pour le chauffage.

Cette technologie présente certainement un intérêt, car elle est relativement simple. Néanmoins, elle n'est pas encore totalement optimisée. Par exemple, l'impact du vent n'est pas encore bien compris. Toutefois, de nouveaux revêtements augmentent la polyvalence de cette façade.

* auteur correspondant

Adresse électronique : guillermo@t3e.info

Façade solaire photovoltaïque intégrée au bâtiment [13-24]

Une façade solaire photovoltaïque intégrée au bâtiment consiste en l'intégration de panneaux photovoltaïques dans l'enveloppe du bâtiment tout en remplaçant les matériaux de construction traditionnels. Dans certains cas, l'existence d'un débit d'air derrière le panneau photovoltaïque a pour but d'améliorer son efficacité énergétique et sa longévité en diminuant sa température d'observation.

Façade solaire hybride photovoltaïque-thermique intégrée au bâtiment [25-34]

Une façade solaire hybride photovoltaïque-thermique intégrée au bâtiment combine les fonctions d'une façade solaire thermique avec ceux d'une façade solaire photovoltaïque. Cette combinaison vise à utiliser plus efficacement l'énergie solaire collectée par la façade. En effet, l'efficacité de conversion en électricité du flux solaire n'est pas très élevée (15%). Or, les pertes d'énergie se retrouvent en grande partie sous forme de chaleur. En récupérant cette chaleur pour son utilisation dans le bâtiment, on augmente l'efficacité globale du système.

3.2. Façades solaires opaques et passives

Les façades solaires opaques et passives peuvent être des murs ou des surfaces vitrées qui transforment la lumière solaire incidente en énergie thermique à des fins de chauffage ou de ventilation du bâtiment, sans utiliser d'équipements électriques ou mécaniques (pompes, ventilateurs, vannes, équipements de contrôle).

Mur de stockage thermique [35-57]

Un mur de stockage thermique combine les fonctions de capteur solaire et de stockage thermique dans une seule unité. La chaleur est transférée de la paroi à l'air dans le bureau et à l'air entre le vitrage et le mur par rayonnement et par convection naturelle.

C'est le système le mieux maîtrisé. Il a démontré de manière constante son potentiel pour la réduction de la charge de chauffage (40-50%). La technologie est suffisamment mature pour qu'une norme européenne et internationale UNE-EN ISO 13790 existe pour effectuer des calculs décrivant son comportement thermique.

Cheminée solaire [58-67]

Une cheminée solaire est une structure qui se compose principalement d'un capteur solaire vitré construit sur un mur face au Soleil. Quand l'énergie solaire réchauffe la surface de captation, il se produit un courant ascendant d'air dans la cheminée. L'aspiration naturelle créée à la base de la cheminée peut être utilisée pour ventiler le bâtiment.

Bien que similaire à celle du mur Trombe, la technologie de la cheminée solaire est moins développée. Si certains gains d'efficacité énergétique sont attendus, il y a encore un important potentiel d'optimisation.

3.3. Façades solaires transparentes / translucides actives

Les façades solaires transparentes / translucides actives, non seulement absorbent et réfléchissent une portion du rayonnement solaire incident, mais aussi transfèrent des gains directs de chaleur solaire dans le bâtiment. Si ces façades solaires transforment une partie du rayonnement solaire incident directement en électricité ou si elles se servent d'équipements électriques ou mécaniques (pompes, ventilateurs, vannes, équipements de contrôle) pour la transmission de l'énergie thermique dans le bâtiment, elles sont appelées façades solaires transparentes / translucides actives.

Façade ventilée mécaniquement [68-77]

Une façade ventilée mécaniquement utilise un système de ventilation mécaniquement assistée pour fournir, évacuer ou recirculer l'air à travers un canal situé entre deux surfaces transparentes ou translucides qui font partie de l'enveloppe du bâtiment. L'air extrait la chaleur de la cavité, réduisant ainsi les charges de chauffage (hiver) et de refroidissement (été) de l'immeuble.

Façade solaire photovoltaïque semi-transparente intégrée au bâtiment [78-87]

Une façade solaire photovoltaïque semi-transparente intégrée au bâtiment est intégrée dans l'enveloppe du bâtiment permettant la production d'électricité via des modules photovoltaïques et l'entrée de la lumière dans les espaces intérieurs.

Façade solaire photovoltaïque-thermique semi-transparente intégrée au bâtiment [88-89]

Une façade solaire photovoltaïque semi-transparente intégrée au bâtiment combine les fonctions d'un système photovoltaïque avec celles d'un système solaire thermique permettant également l'entrée de la lumière dans les espaces intérieurs.

3.4. Façades solaires transparentes/translucides passives

Les façades solaires transparentes/translucides passives peuvent être des surfaces vitrées qui transforment la lumière solaire incidente en énergie thermique à des fins de chauffage ou de ventilation du bâtiment. Elles n'utilisent pas d'équipements électriques ou mécaniques (pompes, ventilateurs, vannes, équipements de contrôle) et permettent le transfert de gain direct de chaleur solaire dans le bâtiment.

Façade ventilée naturellement [90-102]

Une façade ventilée naturellement fournit, évacue ou recircule l'air à travers un canal situé entre deux surfaces transparentes/translucides de l'enveloppe du bâtiment à cause de la pression du vent et / ou l'effet de pile. L'air extrait la chaleur de la cavité réduisant les charges de

* auteur correspondant

Adresse électronique : guillermo@t3e.info

chauffage (hiver) et de refroidissement (été) de l'immeuble.

4. CONCLUSION

Une revue détaillée des travaux scientifiques réalisés au cours des dix dernières années dans le domaine des façades solaires a été effectuée. Les études examinées ont été regroupées en neuf catégories (Fig. 4): façade solaire thermique intégrée au bâtiment (STIB), façade solaire photovoltaïque intégrée au bâtiment (SPIB), façade solaire hybride photovoltaïque-thermique intégrée au bâtiment (SPTIB), mur de stockage thermique (MST), cheminée solaire (CHS), façade ventilée mécaniquement (FVM), façade solaire photovoltaïque semi-transparente intégrée au bâtiment (SPSIB), façade solaire photovoltaïque-thermique semi-transparente intégrée au bâtiment (SPTSIB) et façade ventilée naturellement (FVN).

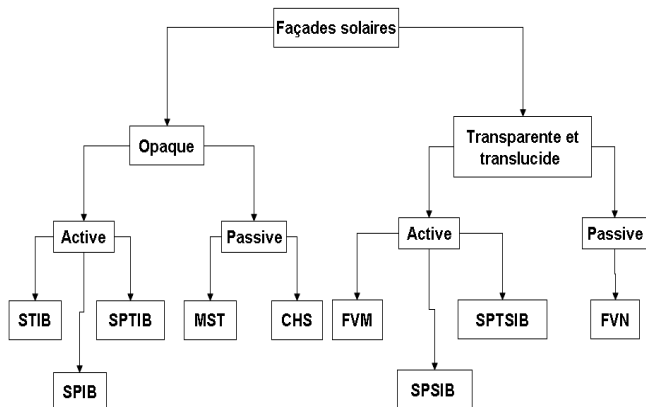


Figure 4. Classement des façades solaires

Les façades ventilées gagnent un espace remarquable comme élément architectural des édifices à bureaux. Au-delà de l'esthétique, ces façades protègent le bâtiment contre les intempéries et le bruit et réduisent également les charges de chauffage (hiver) et de refroidissement (été) de l'immeuble. Une attention particulière est portée à l'étude des dispositifs d'ombrage (par exemple, stores vénitiens, béton de masse thermique) situé dans le canal de ventilation de la façade dans le but de réduire les gains directs de chaleur solaire dans le bâtiment.

Les façades solaire photovoltaïque semi-transparente intégrée au bâtiment et solaire photovoltaïque-thermique semi-transparente intégrée au bâtiment fournissent de l'électricité, de la lumière naturelle et de la chaleur au bâtiment. Ces technologies sont encore à un stade précoce de développement.

Les travaux scientifiques analysés montrent que toutes ces technologies sont prometteuses. Toutefois, plusieurs études sont encore nécessaires pour qu'elles atteignent des performances optimales. Aujourd'hui,

seuls le mur de stockage thermique et ses variantes sont matures à ce point.

5. RÉFÉRENCES

- [1] VAN DECKER, G.W.E., HOLLANDS K.G.T., BRUNGER A.P., Heat-exchange relations for unglazed transpired solar collectors with circular holes on a square or triangular pitch, *Solar Energy*, 71, pp.33-45, (2001).
- [2] FLECK B.A., MEIER R.M., MATOVIC M.D., A field study of the wind effects on the performance of an unglazed transpired solar collector, *Solar Energy*, 73, pp.209-216, (2002).
- [3] GUNNEWIEK L.H., HOLLANDS K.G.T., BRUNDRETT E., Effect of wind on flow distribution in unglazed transpired-plate collectors, *Solar Energy*, 72, pp.317-325, (2002).
- [4] LEON M.A., KUMAR S., Mathematical modeling and thermal performance analysis of unglazed transpired solar collectors, *Solar Energy*, 81, pp.62-75, (2007).
- [5] BOUTIN Y., GOSSELIN L., Optimal mixed convection for maximal energy recovery with vertical porous channel (solar wall), *Renewable Energy*, 34, pp.2714-2721, (2009).
- [6] RICHMAN R.C., PRESSNAIL K.D., A more sustainable curtain wall system: Analytical modeling of the solar dynamic buffer zone (SDBZ) curtain wall, *Building and Environment*, 44, pp.1-10, (2009).
- [7] RICHMAN R., PRESSNAIL K.D., Quantifying and predicting performance of the solar dynamic buffer zone (SDBZ) curtain wall through experimentation and numerical modeling, *Energy and Buildings*, 42, pp.522-533, (2010).
- [8] OREL B., SPREIZER H., SURCA V.A., FIR M., MERLINI D., VODLAN M., KÖHL M., Selective paint coatings for coloured solar absorbers: Polyurethane thickness insensitive spectrally selective (TISS) paints (Part II), *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91, pp.108-119, (2007).
- [9] JAPELJ B., VUK A.S., OREL B., PERSE L.S., JERMAN I., KOVAC J., Preparation of a TiMEMO nanocomposite by the sol-gel method and its application in coloured thickness insensitive spectrally selective (TISS) coatings, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 92, pp.1149-1161, (2008).
- [10] KOZELJ M., VUK A.S., JERMAN I., OREL B., Corrosion protection of Sunselect, a spectrally selective solar absorber coating, by (3-mercaptopropyl) trimethoxysilane, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 93, pp.1733-1742, (2009).
- [11] JERMAN I., KOZELJ M., OREL B., The effect of polyhedral oligomeric silsesquioxane dispersant and low surface energy additives on spectrally selective paint coatings with self-cleaning properties, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 94, pp.232-245, (2010).
- [12] UBERTINI S., DESIDERI U., Design of a solar collector for year-round climatization, *Renewable Energy*, 28, pp.623-645, (2003).
- [13] HENEMANN A., BIPV: Built-in solar energy, *Renewable Energy Focus*, 9:14, pp.16-19, (2008).
- [14] BRINKWORTH B.J., MARSHALL RH, IBARAHIM Z., A validated model of naturally ventilated PV cladding, *Solar Energy*, 69, pp.67-81, (2000).
- [15] YANG H., BURNETT J., JI J., Simple approach to cooling load component calculation through PV walls, *Energy and Buildings*, 31, pp.285-290, (2000).
- [16] CHOW T.T., HAND J.W., STRACHAN P.A., Building-integrated photovoltaic and thermal applications in a subtropical hotel building, *Applied Thermal Engineering*, 23, pp.2035-2049 (2003).
- [17] HUANG M.J., EAMES P.C., NORTON B., Thermal regulation of building-integrated photovoltaics using phase change materials International, *Journal of Heat and Mass Transfer*, 47, pp.2715-2733, (2004).
- [18] HUANG M.J., EAMES P.C., NORTON B., Phase change materials for limiting temperature rise in building integrated photovoltaics, *Solar Energy*, 80, pp.1121-1130, (2006).

* auteur correspondant

Adresse électronique : guillermo@t3e.info

- [19] **BLOEM J.J.**, Evaluation of a PV-integrated building application in a well-controlled outdoor test environment, *Building and Environment*, 43, pp.205-216, (2008).
- [20] **FOSSA M., MENÉZO C., LEONARDI E.**, Experimental natural convection on vertical surfaces for building integrated photovoltaic (BIPV) applications, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 32, pp.980-990, (2008).
- [21] **JIMÉNEZ M.J., MADSEN H., BLOEM J.J., DAMMANN B.**, Estimation of non-linear continuous time models for the heat exchange dynamics of building integrated photovoltaic modules, *Energy and Buildings*, 40, pp.157-167, (2008).
- [22] **FRILING N., JIMÉNEZ M.J., BLOEM H., MADSEN H.**, Modelling the heat dynamics of building integrated and ventilated photovoltaic modules, *Energy and Buildings*, 41, pp.1051-1057, (2009).
- [23] **MAURUS H., SCHMID M., BLERSCH B., LECHNER P., SCHADE H.**, PV for buildings: Benefits and experiences with amorphous silicon in BIPV applications, *Refocus*, 5, pp.22-27 (2004).
- [24] **MALLICK T.K., EAMES P.C., NORTON B.**, Non-concentrating and asymmetric compound parabolic concentrating building facade integrated photovoltaics: An experimental comparison, *Solar Energy*, 80, pp.834-849, (2006).
- [25] **JI J., HAN J., CHOW T-t., YI H., LU J., HE W., SUN W.**, Effect of fluid flow and packing factor on energy performance of a wall-mounted hybrid photovoltaic/water-heating collector system, *Energy and Buildings*, 38, pp.1380-1387, (2006).
- [26] **MURESAN C., MENÉZO C., BENNACER R., VAILLON R.**, Numerical Simulation of a Vertical Solar Collector Integrated in a Building Frame: Radiation and Turbulent Natural Convection Coupling, *Heat Transfer Engineering*, 27, pp.29 – 42, (2006).
- [27] **CRAWFORD R.H., TRELOAR G.J., FULLER R.J., BAZILIAN M.**, Life-cycle energy analysis of building integrated photovoltaic systems (BiPVs) with heat recovery unit, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10, pp.559-575, (2006).
- [28] **CHOW T.T., HE W., JI J.**, An experimental study of facade-integrated photovoltaic/water-heating system, *Applied Thermal Engineering*, 27, pp.37-45, (2007).
- [29] **JIE J., HUA Y., WEI H., GANG P., JIANPING L., BIN J.**, Modeling of a novel Trombe wall with PV cells, *Building and Environment*, 42, pp.1544-1552, (2007).
- [30] **JIE J., HUA Y., GANG P., JIANPING L.**, Study of PV-Trombe wall installed in a fenestrated room with heat storage. *Applied Thermal Engineering* 2007;27:1507-1515.
- [31] **JIE J., HUA Y., GANG P., BIN J., WEI H.**, Study of PV-Trombe wall assisted with DC fan, *Building and Environment*, 42, pp.3529-3539, (2007).
- [32] **TONUI J.K., TRIPANAGNOSTOPOULOS Y.**, Air-cooled PV/T solar collectors with low cost performance improvements, *Solar Energy*, 81, pp.498-511, (2007).
- [33] **TONUI J.K., TRIPANAGNOSTOPOULOS Y.**, Improved PV/T solar collectors with heat extraction by forced or natural air circulation, *Renewable Energy*, 32, pp.623-637, (2007).
- [34] **TONUI J.K., Tripanagnostopoulos Y.**, Performance improvement of PV/T solar collectors with natural air flow operation, *Solar Energy*, 82, pp.1-12, (2008).
- [35] **FANG X., LI Y.**, Numerical simulation and sensitivity analysis of lattice passive solar heating walls, *Solar Energy*, 69, pp.55-66 (2000).
- [36] **FANG X., YANG T.**, Regression methodology for sensitivity analysis of solar heating walls, *Applied Thermal Engineering*, 28, pp.2289-2294, (2008).
- [37] **ZALEWSKI L., LASSUE S., DUTHOIT B., BUTEZ M.**, Study of solar walls -- validating a simulation model, *Building and Environment*, 37, pp.109-121, (2002).
- [38] **ONBASIOGLU H., EGRICAN A.N.**, Experimental approach to the thermal response of passive systems, *Energy Conversion and Management*, 43, pp.2053-2065, (2002).
- [39] **STRITH U.**, Heat transfer enhancement in latent heat thermal storage system for buildings, *Energy and Buildings*, 35, pp.1097-1104, (2003).
- [40] **CHEN W., LIU W.**, Numerical analysis of heat transfer in a passive solar composite wall with porous absorber, *Applied Thermal Engineering*, 28, pp.1251-1258, (2008).
- [41] **HERNÁNDEZ V., MORILLÓN D., BEST J.F.R., ALMANZA R., CHARGOY N.**, Experimental and numerical model of wall like solar heat discharge passive system, *Applied Thermal Engineering*, 26, pp.2464-2469, (2006).
- [42] **THOMAS J., ALGOHARY S., HAMDAD F., SOBOYEJO W.**, Materials selection for thermal comfort in passive solar buildings, *Journal of Materials Science*, 41, pp.6897-6907, (2006).
- [43] **SHEN J., LASSUE S., ZALEWSKI L., HUANG D.**, Numerical study of classical and composite solar walls by TRNSYS, *Journal of Thermal Science*, 16, pp.46-55, (2007).
- [44] **ZAMORA B., KAISER A.S.**, Numerical study on mixed buoyancy-wind driving induced flow in a solar chimney for building ventilation, *Renewable Energy*, 35, pp.2080-2088, (2010).
- [45] **RUIZ Á., DOMÍNGUEZ S.Á., FERNÁNDEZ J.A.S.**, Revision of the Trombe wall calculation method proposed by UNE-EN ISO 13790, *Energy and Buildings*, 42, pp.763-773, (2010).
- [46] **BAKOS G.**, Energy management method for auxiliary energy saving in a passive-solar-heated residence using low-cost off-peak electricity, *Energy and Buildings*, 31, pp.237-241, (2000).
- [47] **BILGEN E.**, Experimental study of massive wall systems with fins attached on the heated wall and with glazing, *Heat and Mass Transfer*, 38, pp.159-164, (2001).
- [48] **ONISHI J., SOEDA H., MIZUNO M.**, Numerical study on a low energy architecture based upon distributed heat storage system, *Renewable Energy*, 22, pp.61-66, (2001).
- [49] **TYAGI V.V., BUDDHI D.**, PCM thermal storage in buildings: A state of art, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, pp.1146-1166, (2007).
- [50] **NWACHUKWU N.P., OKONKWO W.I.**, Effect of an Absorptive Coating on Solar Energy Storage in a Trombe wall system, *Energy and Buildings*, 40, pp.371-374, (2008).
- [51] **PASUPATHY A., VELRAJ R., SEENIRAJ R.V.**, Phase change material-based building architecture for thermal management in residential and commercial establishments, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, pp.39-64, (2008).
- [52] **SHARMA A., TYAGI V.V., CHEN C.R., BUDDHI D.**, Review on thermal energy storage with phase change materials and applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, pp.318-345, (2009).
- [53] **ZHU N., MA Z., WANG S.**, Dynamic characteristics and energy performance of buildings using phase change materials: A review, *Energy Conversion and Management*, 50, pp.3169-3181, (2009).
- [54] **HEIM D.**, Isothermal storage of solar energy in building construction, *Renewable Energy*, 35, pp.788-796, (2010).
- [55] **BLASCO LUCAS I., HOESÉ L., PONTORIERO D.**, Experimental study of passive systems thermal performance. *Renewable Energy*, 19, pp.39-45, (2000).
- [56] **YANG H., ZHU Z., BURNETT J.**, Simulation of the behaviour of transparent insulation materials in buildings in northern China, *Applied Energy*, 67, pp.293-306, (2000).
- [57] **RAMAN P., MANDE S., KISHORE V.V.N.**, A passive solar system for thermal comfort conditioning of buildings in composite climates, *Solar Energy*, 70, pp.319-329, (2001).
- [58] **AFONSO C., OLIVEIRA A.**, Solar chimneys: simulation and experiment, *Energy and Buildings*, 32, pp.71-79, (2000).
- [59] **ONG K.S.**, A mathematical model of a solar chimney, *Renewable Energy*, 28, pp.1047-1060, (2003).
- [60] **ONG K.S., CHOW C.C.**, Performance of a solar chimney, *Solar Energy*, 74, pp.1-17, (2003).
- [61] **BANSAL N.K., MATHUR J., MATHUR S., JAIN M.**, Modeling of window-sized solar chimneys for ventilation, *Building and Environment*, 40, pp.1302-1308, (2005).
- [62] **GAN G.**, Simulation of buoyancy-induced flow in open cavities for natural ventilation, *Energy and Buildings*, 38, pp.410-420, (2006).

* auteur correspondant

Adresse électronique : guillermo@t3e.info

- [63] MATHUR J., BANSAL N.K., MATHUR S., JAIN M., ANUPMA, Experimental investigations on solar chimney for room ventilation, *Solar Energy*, 80, pp.927-935, (2006).
- [64] NOUANÉGUÉ H.F., ALANDJI L.R., BILGEN E., Numerical study of solar-wind tower systems for ventilation of dwellings. *Renewable Energy*, 33, pp.434-443, (2008).
- [65] NOUANÉGUÉ H.F., BILGEN E., Heat transfer by convection, conduction and radiation in solar chimney systems for ventilation of dwellings, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 30, pp.150-157, (2009).
- [66] SAKONIDOU E.P., KARAPANTSIOS T.D., BALOUKTSIS A.I., CHASSAPIS D., Modeling of the optimum tilt of a solar chimney for maximum air flow, *Solar Energy*, 82, pp.80-94, (2008).
- [67] ZAMORA B., KAISER A.S., Optimum wall-to-wall spacing in solar chimney shaped channels in natural convection by numerical investigation, *Applied Thermal Engineering*, 29, pp.762-769, (2009).
- [68] BAKER P.H., MCEVOY M., Test cell analysis of the use of a supply air window as a passive solar component, *Solar Energy*, 69, pp.113-130, (2000).
- [69] MCEVOY M.E., SOUTHALL R.G., BAKER P.H., Test cell evaluation of supply air windows to characterise their optimum performance and its verification by the use of modelling techniques, *Energy and Buildings*, 35, pp.1009-1020, (2003).
- [70] SOUTHALL R.G., MCEVOY M.E., Investigations into the functioning of a supply air window in relation to solar energy as determined by experiment and simulation, *Solar Energy*, 80, pp.512-523, (2006).
- [71] ZÖLLNER A., WINTER E.R.F., VISKANTA R., Experimental studies of combined heat transfer in turbulent mixed convection fluid flows in double-skin-facades, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45, pp.4401-4408, (2002).
- [72] SAFER N., WOLOSZYN M., ROUX J.J., Three-dimensional simulation with a CFD tool of the airflow phenomena in single floor double-skin facade equipped with a venetian blind, *Solar Energy*, 79, pp.193-203, (2005).
- [73] BALOCCO C., COLOMBARI M., Thermal behaviour of interactive mechanically ventilated double glazed facade: Non-dimensional analysis, *Energy and Buildings*, 38, 1-7, (2006).
- [74] GOSSELIN J.R., CHEN Q., A computational method for calculating heat transfer and airflow through a dual-airflow window, *Energy and Buildings*, 40, pp.452-458, (2008).
- [75] JIRU T.E., HAGHIGHAT F., Modeling ventilated double skin facade--A zonal approach, *Energy and Buildings*, 40, pp.1567-1576, (2008).
- [76] GUARDO A., COUSSIRAT M., EGUSQUIZA E., ALAVEDRA P., CASTILLA R., A CFD approach to evaluate the influence of construction and operation parameters on the performance of Active Transparent Facades in Mediterranean climates, *Energy and Buildings*, 41, pp.534-542, (2009).
- [77] FULIOTTO R., CAMBULI F., MANDAS N., BACCHIN N., MANARA G., CHEN Q., Experimental and numerical analysis of heat transfer and airflow on an interactive building façade, *Energy and Buildings*, 42, pp.23-28 (2010).
- [78] FUNG T.Y.Y., YANG H., Study on thermal performance of semi-transparent building-integrated photovoltaic glazings, *Energy and Buildings*, 40, pp.341-350, (2008).
- [79] SONG J-H., AN Y-S., KIM S-G., LEE S-J., YOON J-H., CHOUNG Y-K., Power output analysis of transparent thin-film module in building integrated photovoltaic system (BIPV), *Energy and Buildings*, 40, pp.2067-2075, (2008).
- [80] HAN J., LU L., YANG H., Thermal behavior of a novel type see-through glazing system with integrated PV cells, *Building and Environment*, 44, pp.2129-2136, (2009).
- [81] PARK K.E., KANG G.H., KIM H.I., YU G.J., KIM J.T., Analysis of thermal and electrical performance of semi-transparent photovoltaic (PV) module, *Energy*, 35, pp.2681-2687 (2010).
- [82] PHANI G., TULLOCH G., VITTORIO D., SKRYABIN I., Titania solar cells: new photovoltaic technology, *Renewable Energy*, 22, pp.303-309, (2001).
- [83] XU X., DESSEL S.V., MESSAC A., Study of the performance of thermoelectric modules for use in active building envelopes, *Building and Environment*, 42, pp. 1489-1502, (2007).
- [84] XU X., VAN DESSEL S., Evaluation of a prototype active building envelope window-system, *Energy and Buildings*, 40, pp.168-174, (2008).
- [85] XU X., DESSEL S.V., Evaluation of an Active Building Envelope window-system, *Building and Environment*, 43, pp.1785-1791, (2008).
- [86] MERCALDO L.V., ADDONIZIO M.L., NOCE M.D., VENERI P.D., SCOGNAMIGLIO A., PRIVATO C., Thin film silicon photovoltaics: Architectural perspectives and technological issues, *Applied Energy*, 86, pp.1836-1844, (2009).
- [87] SPANOS I., DUCKERS L., Expected cost benefits of building-integrated PVs in UK, through a quantitative economic analysis of PVs in connection with buildings, focused on UK and Greece, *Renewable Energy*, 29, pp.1289-1303, (2004).
- [88] DAVIDSSON H., PERERS B., KARLSSON B., Performance of a multifunctional PV/T hybrid solar window, *Solar Energy*, 84, pp.365-372, (2010).
- [89] INFELD D., MEI L., EICKER U., Thermal performance estimation for ventilated PV facades, *Solar Energy*, 76, pp.93-98, (2004).
- [90] FAGGEMBAU D., COSTA M., SORIA M., OLIVA A., Numerical analysis of the thermal behaviour of ventilated glazed facades in Mediterranean climates. Part I: development and validation of a numerical model, *Solar Energy*, 75, pp.217-228, (2003).
- [91] BALOCCO C., A non-dimensional analysis of a ventilated double facade energy performance, *Energy and Buildings*, 36, pp.35-40, (2004).
- [92] PARK C-S., AUGENBROE G., MESSADI T., THITISAWAT M., SADEGH N., Calibration of a lumped simulation model for double-skin facade systems, *Energy and Buildings*, 36, pp.1117-1130, (2004).
- [93] PARK CSC-S., AUGENBROE G., SADEGH N., THITISAWAT M., MESSADI T., Real-time optimization of a double-skin facade based on lumped modeling and occupant preference, *Building and Environment*, 39, pp.939-948, (2004).
- [94] PÉREZ I., MESEGUER J., ALONSO G., Influence of glass properties on the performance of double-glazed facades, *Applied Thermal Engineering*, 25, pp.3163-3175, (2005).
- [95] CHOW W.K., HUNG W.Y., GAO Y., ZOU G., DONG H., Experimental study on smoke movement leading to glass damages in double-skinned façade, *Construction and Building Materials*, 21, pp.556-566, (2007).
- [96] KUZNIK F., RUSAOUEN G., Numerical Prediction of Natural Convection Occurring in Building Components: A Double-Population Lattice Boltzmann Method Numerical Heat Transfer, Part A: Applications, *An International Journal of Computation and Methodology*, 52, pp.315 – 335, (2007).
- [97] COUSSIRAT M., GUARDO A., JOU E., EGUSQUIZA E., CUERVA E., ALAVEDRA P., Performance and influence of numerical sub-models on the CFD simulation of free and forced convection in double-glazed ventilated facades, *Energy and Buildings*, 40, pp.1781-1789, (2008).
- [98] XU X-L., YANG Z., Natural ventilation in the double skin facade with venetian blind, *Energy and Buildings*, 40, pp.1498-1504, (2008).
- [99] DALAL R., NAYLOR D., ROELEVELD D., A CFD study of convection in a double glazed window with an enclosed pleated blind, *Energy and Buildings*, 41, pp.1256-1262, (2009).
- [100] KIM Y-M., KIM S-Y., SHIN S-W., SOHN J-Y., Contribution of natural ventilation in a double skin envelope to heating load reduction in winter, *Building and Environment*, 44, pp.2236-2244, (2009).
- [101] LAOUADI A., Thermal performance modelling of complex fenestration systems, *Journal of Building Performance Simulation*, 2, pp.189 – 207, (2009).
- [102] TANAKA H., OKUMIYA M., TANAKA H., YOUNG G., WATANABE K., Thermal characteristics of a double-glazed external wall system with roll screen in cooling season, *Building and Environment*, 44, pp.1509-1516, (2009).

* auteur correspondant

Adresse électronique : guillermo@t3e.info