

# Étude énergétique d'une conception rationalisée de la façade : le concept Core-Skin-Shell

Laëtitia Arantes<sup>1,2</sup>, Xavier Bucchianeri<sup>3</sup>, Daniel Quenard\*<sup>1</sup>, Olivier Baverel<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

24 rue Joseph Fourier 38400 Saint Martin d'Hères France

<sup>2</sup> Laboratoire Cultures Constructives, École Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble

60 avenue de Constantine CS 12636 F-38036 Grenoble Cedex 2 France

<sup>3</sup> École Nationale des Travaux Publics de l'État

3 Rue Maurice Audin 69518 Vaulx-en-Velin Cedex France

<sup>4</sup> Laboratoire Navier, École des Ponts ParisTech

Cité Descartes, 6-8 Avenue Blaise Pascal, 77455 Champs-sur-Marne France

\*[daniel.quenard@cstb.fr](mailto:daniel.quenard@cstb.fr)

---

*RESUME. Surface et interface, la façade doit remplir de multiples fonctions qui vont de son rôle traditionnel de protection jusqu'à à celui plus récent de production (PV, eau ...). En matière d'énergie, ce double rôle alloué à la façade, fait apparaître ce que nous appelons le « paradoxe de la surface » : d'une part, on cherche à réduire la surface de l'enveloppe pour réduire les pertes et d'autre part, on souhaiterait augmenter cette dernière pour accroître les gains. Le concept Core-Skin-Shell (CSS) entend répondre à ce paradoxe en séparant les surfaces de déperdition des surfaces de production. Une analyse simplifiée et imparfaite du concept CSS a été réalisée avec le logiciel COMFIE. Dans le cas des bâtiments anciens le concept se montre efficace dans la réduction de la facture énergétique des bâtiments dont l'enveloppe est de faible qualité architecturale et agrandit l'espace disponible aux usagers. Le concept CSS pourrait donc fournir une alternative intéressante aux opérations de réhabilitations en proposant une amélioration spatiale et énergétique des qualités du bâtiment.*

*MOTS-CLÉS : Enveloppe / façade, Core-Skin-Shell, Énergie.*

---

*ABSTRACT. The building façade is both a surface and an interface. It performs many functions such as ensuring people privacy and safety, providing comfort and more recently producing energy or collecting water. Considering energy issues, the building envelope is facing to the "surface paradox": on the one hand, reducing the surface to reduce heat losses; on the other hand, increasing this surface in order to collect solar energy. As an answer to this duality, the Core-Skin-Shell concept separates the production envelope from the living space envelope. This paper describes a simplified energy analysis of the Core-Skin-Shell concept with the COMFIE software. It reveals promising preliminary results. The concept is relevant to improve the energy balance of old buildings and simultaneously expanding the living area. By improving the energy performance and the quality of space, the Core-Skin-Shell concept is therefore a potential solution relating to buildings refurbishment.*

*KEYWORDS: Building envelope / façade, Core-Skin-Shell, Energy.*

---

## 1. INTRODUCTION

Basé sur l'optimisation et la décomposition des fonctions du bâtiment en plusieurs « couches » ou « strates », le concept architectural Core-Skin-Shell permet d'envisager une spécialisation des

différentes parties qui composent un bâtiment pour répondre de façon optimale à chacune des fonctions qu'il doit assurer. Cet article discute la pertinence énergétique de ce concept. Après avoir décrit ce concept, il identifie les enjeux qui gravitent autour de l'explosion en plusieurs « strates » de la façade. Enfin, il détaille l'étude énergétique de deux configurations de Shell avec le logiciel Pleiades+Comfie, avant de conclure sur les intérêts énergétiques du concept Core-Skin-Shell pour la construction neuve et la réhabilitation.

## 2. LE CONCEPT CORE-SKIN-SHELL

Le concept Core-Skin-Shell propose de décomposer le bâtiment en trois couches (Figure 1) :

- Le cœur (Core) est le système nerveux du bâtiment. Il assure sa stabilité et son bon fonctionnement. Il pompe l'air, fait circuler les fluides, assure la régulation des conditions de confort intérieur. Il est généralement réalisé avec un matériau lourd du type béton, brique ou terre pour contribuer à l'inertie du bâtiment.
- L'enveloppe (Skin) détermine les contours du volume habitable. Elle assure l'isolation, la mise hors d'eau et hors d'air du bâtiment, la transmission de la lumière naturelle, et contribue à la création de l'ambiance intérieure par la nature des matériaux qui la composent.
- La carapace ou coquille (Shell) est l'élément de protection périphérique qui englobe les deux éléments précédents, tout en s'en détachant physiquement. Bouclier ou blindage, elle protège des aléas climatiques, assure sa sécurité et contribue à sa durabilité dans le temps. Elle peut également devenir réactive et collectrice de ressources : énergie ou eau.

L'intérêt de ce feuilletage est qu'il permet de considérer distinctement chaque couche et d'y mettre en œuvre les matériaux les plus appropriés pour un fonctionnement optimal. Le travail des concepteurs réside alors principalement dans la manière de composer les articulations et les échanges entre ces différentes strates. P. Madec résume très bien cette attitude de conception : « on ne construit plus des murs, on construit des échanges » (Durand et Justman 2009).

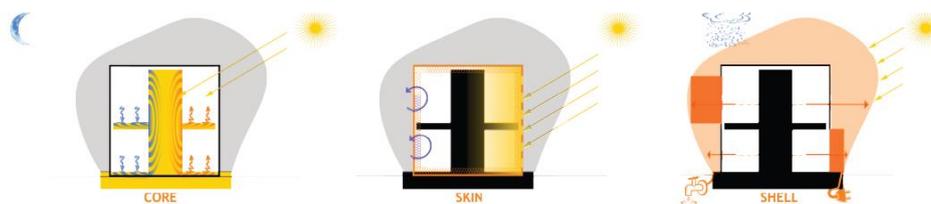


Figure 1 : Schématisation du concept Core-Skin-Shell.

## 3. LES ENJEUX DE L'EXPLOSION DE LA FAÇADE

### 3.1. LES PHENOMENES EN JEU

La littérature sur les façades double-peau fait état de deux phénomènes prépondérants dans la simulation du comportement des double-peau : l'écoulement du fluide et le transfert de chaleur entre les deux parois de la double-peau et l'influence des coefficients de transfert convectif et conductif de la façade vitrée (Fedorov et Viskanta 1997 ; Zöllner et al. 2002 ; Cherecheş 2009).

### 3.1.1. Le débit d'air

Le débit d'air dans une façade double-peau ventilée naturellement est induit par des différences de pression, liées à l'effet du vent et à l'effet du tirage thermique dû aux différences de températures. Le logiciel Comfie ne prend pas en compte les phénomènes de transferts de masse dus aux différences de températures. Néanmoins, il permet de définir des scénarios de ventilation externes modulables sur l'année et des scénarios de ventilation internes entre les différentes zones thermiques dont on peut régler le débit nominal et le déclenchement. Sur la base des hypothèses et résultats publiés par Gratia et De Herde nous avons assigné un modèle de tirage thermique au débit en journée et une valeur moyenne de débit nocturne.

### 3.1.2. Le transfert thermique

Le transfert thermique entre un fluide et une paroi est décrit par le coefficient de convection  $h_c$ , qui dépend du nombre de Nusselt  $Nu$  (Brau et Kuznik 2009), qui varie lui-même selon le régime laminaire ou turbulent de l'écoulement ou encore la géométrie du système (Peixinho 2004). En pratique, la représentation des échanges par convection et par rayonnement au niveau des surfaces se fait par l'utilisation d'un coefficient d'échange superficiel global qui prend en compte les deux phénomènes. Dans notre étude, l'espace formé entre la Skin et la Shell est considéré comme un espace intérieur. La valeur utilisée pour le coefficient d'échange superficiel global est de  $8,13 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

### 3.1.3. Les apports solaires passifs

Le moteur de calcul de Comfie ne permet pas de décrire une zone tampon : il prend en compte les apports solaires à travers une paroi si et seulement si celle-ci est considérée comme étant en contact avec l'extérieur. Pour résoudre ce problème, Izuba propose d'utiliser la méthode suivante (Figures 2, 3 et 4) (Izuba 2012) :

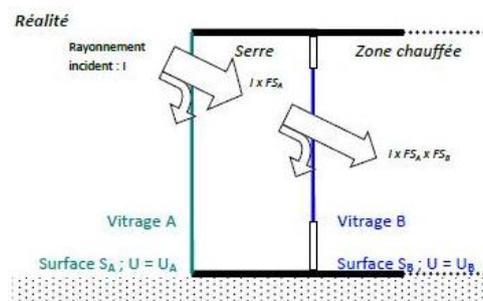


Figure 2 : Schématisation du rayonnement à travers une serre ou un espace tampon : situation réelle.

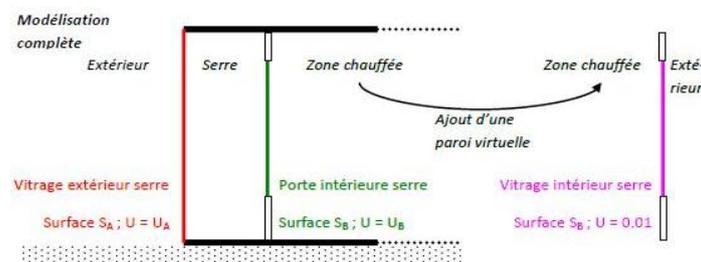


Figure 3 : Schématisation du rayonnement à travers une serre ou un espace tampon : modélisation sous Comfie-Pleiade

- La première étape consiste à créer une paroi fictive à l'intérieur de chacun des appartements dont les conditions aux limites sont en contact direct avec l'extérieur. Le moteur de calcul accepte l'existence d'un rayonnement à travers un vitrage défini sur celle-ci. Les rayons incidents traversent deux vitrages. Le facteur solaire de la menuiserie doit être adapté en conséquence.
- Les apports solaires à l'intérieur de la Shell donnés par Comfie sont surévalués : pour un calcul exact, il faut leur soustraire l'énergie qui a traversé les vitrages. C'est aussi la modification du facteur solaire de la menuiserie qui permet de représenter cette réalité dans le logiciel.
- Enfin, il est nécessaire de conserver dans le calcul l'influence des gains et pertes par conduction au niveau des fenêtres. Pour cela, on leur substituera des menuiseries de même résistance thermique.

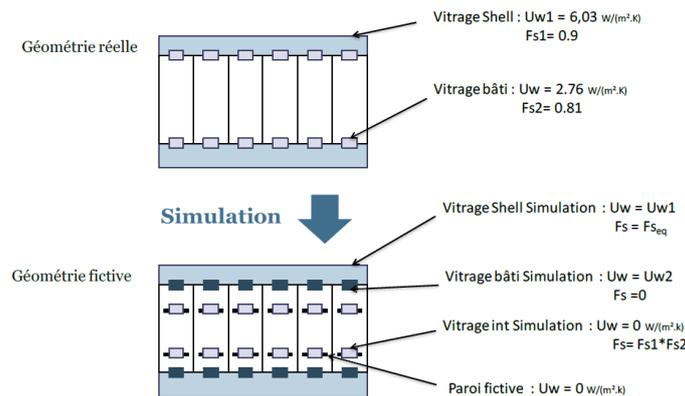


Figure 4 : Schématisation des modifications géométriques apportées à la géométrie du modèle pour décrire la zone tampon dans Comfie-Pléiade.

## 4. ÉTUDES ENERGETIQUES DE DEUX CONFIGURATIONS DE SHELL

### 4.1. DESCRIPTION DU PROBLEME

#### 4.1.1. Le corps du bâtiment

Le bâtiment modélisé est un immeuble de logements collectifs de type « barre » (à gauche de la Figure 5). Il s'agit d'un bâtiment résidentiel de cinq étages identiques, comprenant chacun six appartements. Les logements sont « traversants » et leur profondeur est fixée à douze mètres pour des conditions d'accès à la lumière et la ventilation naturelles (Ratti et Richens 2004 ; Avouac et al. 2009). Les vitrages sont intégrés selon les proportions conformes à la Réglementation Thermique 2005 : la surface des baies vitrées représente  $1/6^{\text{ème}}$  de la surface habitable et les vitrages sont uniformément répartis sur les quatre façades du bâtiment (CSTB 2007). Pour s'accorder avec les principes conceptuels du Core-Skin-Shell, les espaces de circulation et de desserte sont reportés en façade.

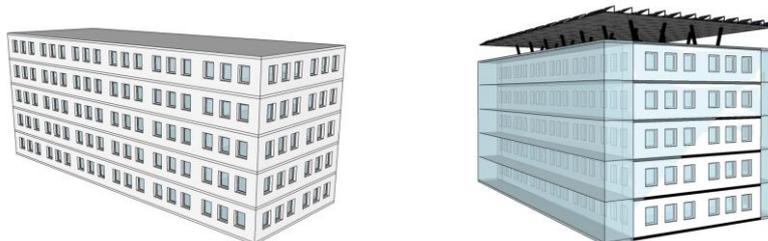


Figure 5 : Perspective du bâtiment seul (à gauche) et équipé d'une Shell (à droite).

#### 4.1.2. Les trois performances de bâtiment étudiées

Nous analysons trois modèles de bâtiment : « ancien », « rénové », « neuf » (Tableau 1). Tous trois ont la même géométrie, la même composition matérielle, ainsi que les mêmes scénarios d'occupation. Ils se caractérisent par trois niveaux différents d'isolation et d'étanchéité à l'air de la Skin qui permettent d'atteindre trois classes de performance énergétique : A pour le bâtiment neuf, C pour le rénové, E pour l'ancien. Leurs équipements de chauffage et de production solaire varient également. Alors que les bâtiments ancien et rénové ne sont équipés d'aucun système actif de production d'énergie, le bâtiment neuf supporte en toiture des panneaux solaires thermiques et photovoltaïques. Les capteurs solaires thermiques sont installés sur 43 m<sup>2</sup> et assurent environ un tiers des besoins de chauffage de l'eau chaude sanitaire. Le reste de la toiture est destiné à l'installation de panneaux photovoltaïques, soit 500 m<sup>2</sup>.

	Bâtiment ancien	Bâtiment rénové	Bâtiment neuf
Caractéristiques des parois	R = 0,33 m <sup>2</sup> .K/W Q <sub>inf</sub> = 0,52 vol./h ψ = 0,89 W/m.K	R = 2,55 m <sup>2</sup> .K/W Q <sub>inf</sub> = 0,26 vol./h ψ = 0,89 W/m.K	R = 5,67 m <sup>2</sup> .K/W Q <sub>inf</sub> = 0,26 vol./h ψ = 0,05 W/m.K
Caractéristiques des vitrages	U <sub>v</sub> = 4,08 W/m <sup>2</sup> .K g <sub>v</sub> = 0,9	U <sub>v</sub> = 2,76 W/m <sup>2</sup> .K g <sub>v</sub> = 0,81	U <sub>v</sub> = 2,76 W/m <sup>2</sup> .K g <sub>v</sub> = 0,81

Tableau 1 : Les caractéristiques des trois modèles de bâtiment

#### 4.1.3. Les deux « Shells » étudiées

La Shell est pensée comme une structure autoportante et indépendante du reste du bâtiment (Figure 5, droite). Elle repose sur une structure métallique et se matérialise par une paroi vitrée installée à 2 m de la Skin au Nord et à 2,4 m au Sud. Au Nord, la Shell est surtout utilisée comme un élément de circulation et de desserte des logements. Au Sud, elle est utilisée comme une extension du logement, une pièce à vivre. Le travail repose sur l'analyse de deux types de Shell : une Shell Multi-Etages (ME) qui constitue une seule et même zone sur toute la hauteur du bâtiment (Figure 6, gauche), et une Shell Corridor compartimentée au niveau de chaque étage (Figure 6, droite).

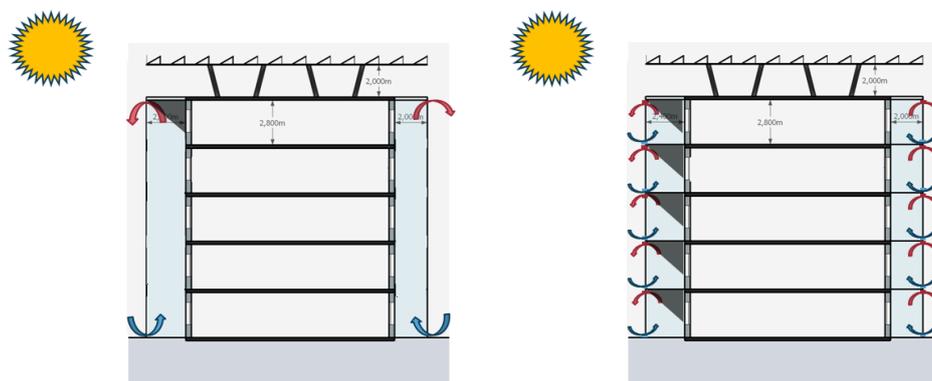


Figure 6 : Coupe selon l'axe Sud-Nord du bâtiment équipé d'une Shell Multi-Etages (ME) (à gauche) et d'une Shell Corridor (à droite).

Dans chacun des deux cas, la Shell n'est installée qu'en façades Nord et Sud du bâtiment. En toiture, une structure supportant des panneaux solaires thermiques et photovoltaïques intercepte une partie du rayonnement solaire. Dans le cas de la Shell multi-étages, l'entrée d'air est située au niveau

du sol sur la peau extérieure et la sortie d'air au niveau du toit de la Shell. L'entrée et la sortie sont distantes de 15 mètres. Dans le cas de la Shell compartimentée, chaque étage présente une entrée et une sortie d'air placées respectivement au niveau du plancher et au niveau du plafond de l'étage. Leur écart est réduit à 3 mètres. Dans le cas de la Shell corridor, les planchers des terrasses et coursives sont réalisés en structure et revêtement bois. La simulation des débits d'air dans la « shell » est réalisée sur la base des travaux de Gratia et De Herde

#### 4.2. METHODOLOGIE

Les simulations thermiques, en accord avec la RT 2005, ont été réalisées, selon trois étapes : (1) la géométrie du bâtiment est définie sous le logiciel Alcyone; (2) les données matérielles, les scénarios et les paramètres de la modélisation sont renseignés à l'aide de l'interface utilisateur Pleiades; (3) le moteur de calcul Comfie réalise la simulation thermique du bâtiment modélisé.

#### 4.3. RESULTATS

##### 4.3.1. La performance initiale des bâtiments

Les consommations et apports annuels unitaires réglementaires pour chaque configuration étudiée sont présentés

Figure 7. Les consommations incluent les cinq usages imposés par la Réglementation Thermique française (chauffage, refroidissement, eau chaude sanitaire, éclairage, auxiliaires). Pour le bâtiment neuf, on prend en compte des productions solaires actives (thermiques et photovoltaïques).

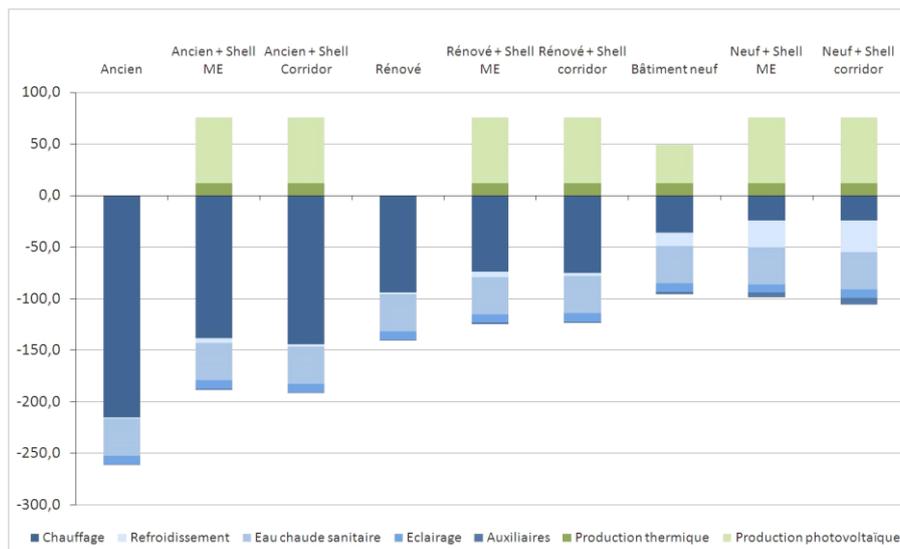


Figure 7 : Consommations et apports annuels réglementaires de chaque bâtiment ( $kWh_{ep}/m^2_{SHON.an}$ ).

Sur le graphique, les consommations sont rapportées au  $m^2_{SHON}$ . Les deux bâtiments ancien et rénové sans Shell répondent aux objectifs affichés d'étudier des bâtiments de performances différentes : en classe C pour le bâtiment rénové (avec une consommation annuelle réglementée de  $-140 kWh_{ep}/m^2_{SHON.an}$ ) et en classe E pour l'ancien ( $-261,1 kWh_{ep}/m^2_{SHON.an}$ ). Sans prendre en compte les apports solaires photovoltaïques, le bâtiment neuf sans Shell consomme  $-96 kWh_{ep}/m^2_{SHON.an}$ . Avec les apports solaires actifs, il respecte l'objectif de performance visé avec un bilan réglementaire de  $-46,7 kWh_{ep}/m^2_{SHON.an}$ , ce qui le situe en classe de performance A.

#### 4.3.2. L'intérêt énergétique de l'installation d'une Shell La

Figure 8 donne le bilan énergétique réglementaire annuel unitaire des neuf configurations étudiées. Le bilan réglementaire prend en compte les cinq usages de consommation identifiés par la Réglementation Thermique réévalués par les apports solaires actifs (thermiques et photovoltaïques).

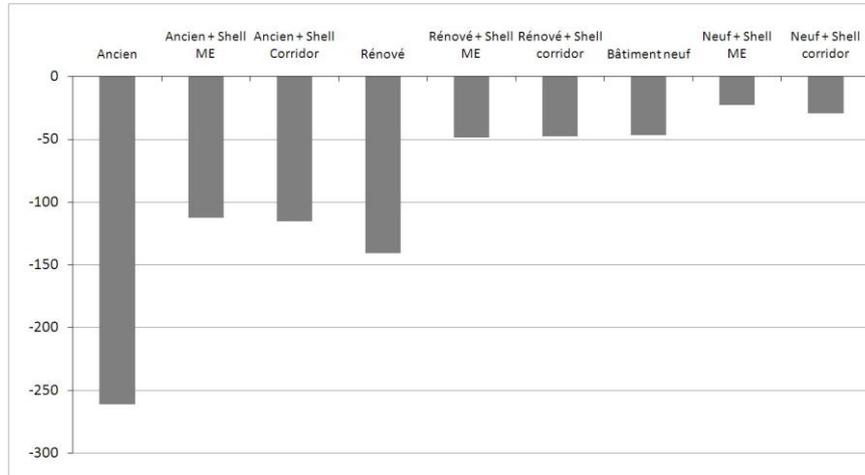


Figure 8 : Bilan annuel unitaire réglementaire de chaque modèle de bâtiment (kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHON</sub>.an).

On voit ainsi que la mise en place d'une Shell permet d'améliorer considérablement le bilan réglementaire de chaque bâtiment. Ces améliorations sont variables : (1) d'environ 55 % pour le bâtiment ancien ; (2) 65 % pour le bâtiment rénové ; (3) de 37 à 52 % pour le bâtiment neuf. Ces améliorations sont dues à deux phénomènes : (1) la réduction des consommations de chauffage, (2) la production solaire active. D'une part, la création d'une zone tampon permet de réduire les déperditions de chaleur à travers l'enveloppe thermique du bâtiment et donc les besoins et les consommations de chauffage. En effet, pour les trois modèles de bâtiment, la mise en place d'une Shell permet de réduire jusqu'à un tiers les consommations de chauffage (

Figure 7). D'autre part, les améliorations du bilan réglementaire sont également liées à l'installation de panneaux solaires photovoltaïques en toiture du bâtiment, dont la production compense en partie les consommations. Pour toutes les configurations équipées d'une Shell, la production active est la même, avec une production annuelle unitaire de 76 kWh/m<sup>2</sup>.an (thermique et photovoltaïque confondus). Dans le cas du bâtiment neuf, la sur-toiture offre plus de surface de captage que la toiture du bâtiment seul : la production photovoltaïque s'en trouve nettement augmentée (passant de 37 à 64 kWh/m<sup>2</sup>.an).

Si l'on observe plus en détails les consommations et les apports, les bénéfices de la mise en place d'une Shell sont à nuancer (

Figure 7). Si l'on ne considère que les consommations, les résultats montrent que la mise en place d'une Shell est bénéfique dans le cas des modèles de bâtiments ancien et rénové. Elle permet une réduction des consommations de chauffage et donc plus largement des consommations réglementées. L'amélioration est nettement plus visible dans le cas du bâtiment ancien, dont l'enveloppe présente une performance thermique médiocre. Pour chaque cas, la mise en place d'une Shell induit une augmentation des surchauffes estivales et donc une augmentation des consommations de refroidissement : cette augmentation va de + 67 à + 300 % selon les cas. Cette surconsommation de refroidissement entraîne aussi une consommation plus forte en électricité pour le fonctionnement des auxiliaires. Dans le cas du bâtiment neuf déjà très performant avant la mise en place d'une Shell, l'augmentation des consommations de climatisation contrebalance les bénéfices observés dans la

réduction des consommations de chauffage. Cela a pour conséquence que les consommations réglementées sont plus importantes quand le bâtiment neuf est équipé d'une Shell.

## 5. CONCLUSION

Derrière les résultats présentés, se trouve un important travail de modélisation : les façades ventilées double-peau sont très complexes à modéliser d'un point de vue thermique et le modèle proposé est imparfait de par ses nombreuses simplifications. Néanmoins, il permet d'apporter quelques préconisations quant à la pertinence des systèmes amovibles de type Shell en tant qu'outil de rénovation. Bien que, dans le cas des bâtiments neufs, l'intérêt énergétique soit peu rentable devant l'investissement financier, dans le cas des bâtiments anciens et rénovés, la Shell se montre efficace dans la réduction de la facture énergétique des bâtiments dont l'enveloppe est de faible qualité et agrandit l'espace disponible aux usagers. Le concept Core-Skin-Shell pourrait donc fournir une alternative intéressante aux opérations de réhabilitations courantes des immeubles, en proposant une amélioration spatiale et énergétique des qualités du bâtiment. Avec une isolation moins performante, le concept Core-Skin-Shell permet d'obtenir des résultats équivalents à ceux d'un bâtiment neuf bien isolé. Il constitue ainsi une alternative dans la manière d'isoler le bâtiment.

## 6. BIBLIOGRAPHIE

- Avouac, Pascale, Marc Fontoynt, et Michel Perraudeau. 2009. *Guide pratique de l'éclairage naturel*. Paris: CSTB / ADEME.
- Brau, Jean, et Frédéric Kuznik. 2009. *Transferts de chaleur et de masse*. INSA de Lyon.
- Cherecheș, Nelu-Cristian, Cătălin-Viorel Popa, et Monica Cherecheș. 2009. « Étude numérique des régimes d'écoulement en convection naturelle dans une façade type double-peau », *Bulletin of the Polytechnic Institute of Jassy*. 55 (59): 43-52.
- CSTB. 2007. *Réglementation Thermique 2005, Guide réglementaire*.
- Durand, Béatrice, et Éric Justman. 2009. « La France a-t-elle 15 ans de retard ? Entretien avec Marie-Hélène Contal ». *Ecologik*. 8: 68- 70.
- Fedorov, Andrei G. et Raymond Viskanta. 1997. « Turbulent natural convection heat transfer in an asymmetrically heated, vertical parallel-plate channel ». *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 40 (16): 3849- 3860.
- Gratia, Elisabeth, et André De Herde. 2004. « Natural ventilation in a double-skin façade », *Energy and Buildings*. 36 (2) : 137- 146.
- Izuba. 2012. « Modéliser une serre ou une véranda ». <http://docs.izuba.fr/fr/wakka.php?wiki=Tuto4pleiadesserre>
- Peixinho, Jorge. 2004. *Contribution expérimentale à l'étude de la convection thermique en régime laminaire, transitoire et turbulent pour un fluide à seuil en écoulement dans une conduite*. Thèse de doctorat, Université Henri Pointcaré.
- Ratti, Carlo, et Paul Richens. 2004. « Raster analysis of urban form », *Environment and Planning B: Planning and Design*. 31: 297- 309.
- Zöllner, Alfred, Edgar R.F. Winter, et Raymond Viskanta. 2002. « Experimental Studies of Combined Heat Transfer in Turbulent Mixed Convection Fluid Flows in Double-Skin-Facades », *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 45 (22): 4401- 4408.