

Simulation de l'efficacité énergétique d'une façade double peau ventilée mécaniquement

Valentin Trillat-Berdal¹, Malorie Trillat-Berdal¹

¹Patriarche & Co

4 allée du lac de garde – Taxiway – BP 285 73375 Le Bourget du Lac

m.trillat@patriarche.fr

RESUME. Nous étudions le comportement énergétique d'une façade vitrée ventilée mécaniquement exploitée pour le chauffage d'un bâtiment de 5 niveaux et d'une surface chauffée de 3000 m² situé dans la région parisienne. Des simulations dynamiques et thermo-aérauliques (CFD) réalisées sous TRNSYS et CFX ont permis de déterminer le gain énergétique et de l'optimiser en fonction des différents paramètres dont le débit imposé par la Centrale de Traitement d'Air (CTA). Les résultats montrent qu'un fort débit de ventilation, malgré un gain énergétique important, n'est pas intéressant car un échangeur de chaleur est nécessaire, entraînant des consommations énergétiques supplémentaires. Ainsi, un débit de ventilation plus faible, assurant uniquement les besoins du bâtiment en air neuf, apporte un gain énergétique intéressant et apporte 7 kWh de chaleur par m² de surface chauffée et par an.

MOTS-CLÉS : Mur vitré, ventilation mécanique, étude dynamique, étude CFD

ABSTRACT. We study the energetic behaviour of a single skin façade with mechanical ventilation used for the heating of a building with a heated surface of 3000m² in the region of Paris. Dynamic and CFD studies allow to determine the energetic gain and to optimize the width of the air gap and the air flow imposed by the HVAC. The results show that high flow ventilation despite a good energetic gain is not worthwhile because of the need of a heat exchanger bringing additional consumptions. Hence, lower flow ventilation providing just fresh air into the building, allows a better energetic gain and provide 7 kWh of heat per m² of heated surface per year.

KEYWORDS: single skin façade, mechanical ventilation, dynamic study, CFD study.

1. INTRODUCTION

L'intégration énergétique dans les bâtiments est aujourd'hui indispensable pour tendre vers une autonomie énergétique. L'énergie solaire est une énergie renouvelable omniprésente qui est encore peu utilisée pour le chauffage des bâtiments alors que la quantité d'énergie solaire incidente aux sites de construction (toitures, façades) est importante.

Le mur vitré, ou façade double peau, est un procédé simple basé sur la ventilation naturelle d'une lame d'air située entre un mur opaque et un vitrage. En hiver et mi-saison, il permet de préchauffé l'air neuf entrant dans le bâtiment. En été, la lame d'air est ventilée naturellement et le bâtiment puise son air neuf directement à l'extérieur.

Dans le cas de bâtiments basse consommation, ce procédé peut répondre à une grande partie des besoins de chauffage. Cependant, un fonctionnement hivernal en ventilation naturelle ne permet pas une bonne diffusion de cette chaleur et la limite aux pièces adjacentes. Le recours à une mécanisation de la ventilation est alors nécessaire. L'exploitation d'une double peau pour le chauffage de tels bâtiments consiste alors à le connecter sur une Centrale de Traitement d'Air (CTA) imposant le débit

d'aspiration d'air préchauffé. Dans notre étude, nous utilisons le mur vitré uniquement pour préchauffer l'air neuf parmi les différentes possibilités d'exploitation d'un mur vitré (Poirzis, 2004).

. Nous étudions dans cet article le comportement énergétique d'une façade vitrée ventilée mécaniquement en réalisant des études thermo-aérauliques et dynamiques. L'objectif est de déterminer les apports énergétiques de la double peau utilisée pour le préchauffage de l'air neuf en hiver en fonction de différents paramètres, en particulier le débit de soufflage

Ce mur vitré est installé sur la façade Sud-Ouest d'un immeuble de 5 niveaux dans la région parisienne. Il est composé, de l'extérieur vers l'intérieur : d'un vitrage classique ; d'une lame d'air ; d'un mur en béton armé ; d'un isolant, du mur de structure. La largeur de la lame d'air n'est pas inférieure à 80 cm. De plus, des caillebotis sont présents dans la lame d'air à tous les niveaux du bâtiment pour circuler dans la lame d'air.

2. ETUDE CFD

2.1. HYPOTHESES

2.1.1. Modèle CFD

Le mur a une hauteur de 16m et une largeur de 12m. La largeur de la lame d'air est de 80 cm, d'un volume de 154 m³ et d'un mur en béton plein de 20 cm, un isolant de 20 cm et un mur de structure de 20 cm. L'émissivité du vitrage est de 0.9 (simple vitrage), le coefficient d'absorption du mur de 0.9.

Quatre bouches aspirant l'air vers la CTA sont régulièrement espacées au sommet de la double peau. L'air entre librement sur toute la longueur en partie inférieure du mur. Les caillebotis au niveau des étages et des ventelles de prise d'air en bas de la lame d'air ne sont pas modélisés.

Nous utilisons l'approximation de Boussinesq pour prendre en compte les forces de flottabilité hydrostatique. Le modèle k- ϵ de turbulence est employé avec production et dissipation de turbulence due à la flottabilité. Un modèle de radiation Monte-Carlo est utilisé. Le simple vitrage, ayant des propriétés constantes en fonction de la longueur d'onde, permet d'utiliser le modèle du corps gris.

2.1.2. Maillage

Concernant la lame d'air, la couche limite est maillée plus finement en fonction du nombre de Reynolds et est vérifiée a posteriori pour être en accord avec le modèle de turbulence utilisé. Pour modéliser les échanges par conduction et rayonnement dans les corps solides, le maillage comporte dans chacun des trois domaines solides un nombre d'éléments suffisant dans l'épaisseur. Des tests ont été réalisés afin de vérifier que ce maillage est suffisamment fin pour modéliser les phénomènes de conduction et de rayonnement au sein des solides.

2.1.3. Conditions aux limites

Nous utilisons la valeur normalisée du coefficient de convection au niveau de la lame d'air en contact avec le verre $h_{ext} = 23 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (Saint Gobain Glass, 2007). Pour l'entrée d'air, le gradient de vitesse perpendiculaire à la bouche est nul. Il s'agit de l'option la plus appropriée pour un écoulement complet et les résultats sont les plus réalistes (CFX, 2006). Pour les sorties d'air, le débit d'air est imposé à l'entrée de la CTA au sommet du mur. Au niveau des interfaces solide-fluide et solide-solide, les connections sont réalisées pour prendre en compte le non alignement des maillages.

Les conditions extérieures sont prises en compte par l'intermédiaire de la température moyenne, des flux diffus et moyens pour chaque période de l'année considérée, basée sur le fichier météo de la

région. Ainsi en mi-saison, la température moyenne extérieure est de 10.6°C . Le flux direct est de $117\text{W}/\text{m}^2$ et le flux diffus de $78\text{W}/\text{m}^2$ à l'entrée de la lame d'air, soit le côté intérieur du vitrage. Ces flux prennent en compte l'orientation de la paroi, le facteur solaire, les flux diffus venant du ciel et du sol (Fraisie et Virgone, 2003). En hiver, la température moyenne extérieure est de 4.9°C . Le flux direct est de $117\text{W}/\text{m}^2$ et le flux diffus de $51\text{W}/\text{m}^2$ à l'entrée de la lame d'air. L'effet du vent n'est pas pris en compte.

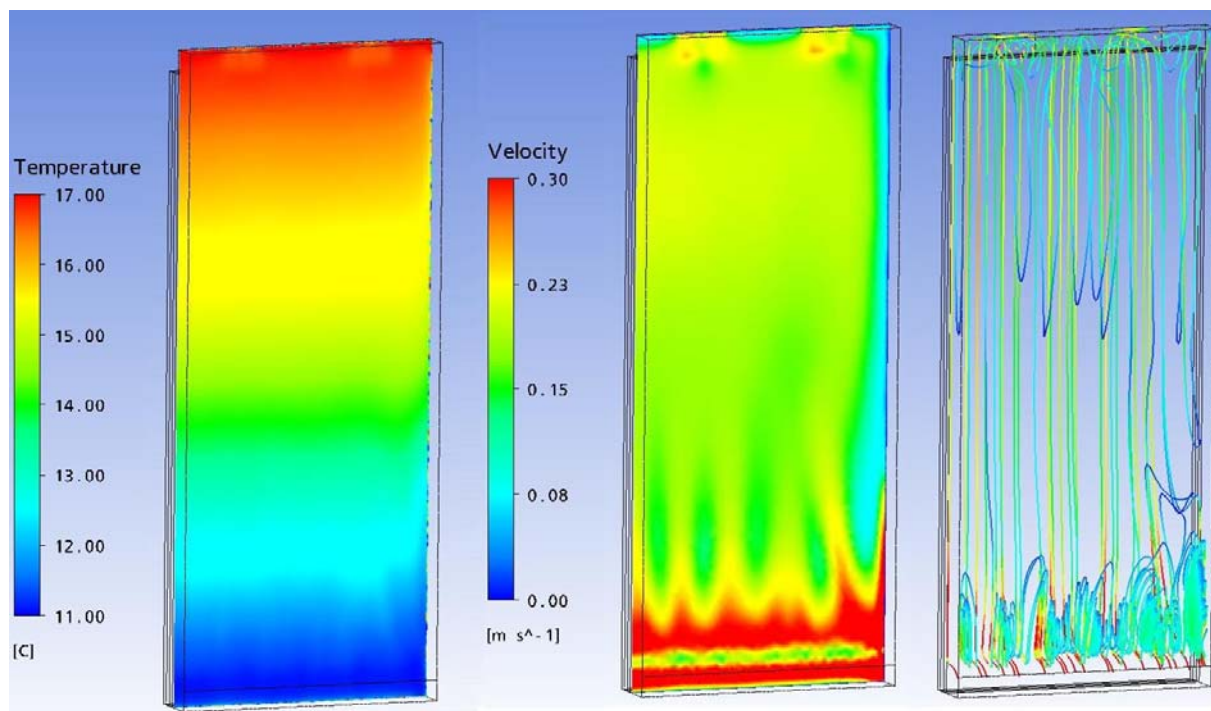


Figure 1 : Température et vitesses de l'air à 10cm du mur d'inertie pour un débit de $2700\text{ m}^3/\text{h}$ en mi-saison. A droite : Lignes de courant. Le plan de symétrie est à gauche.

2.2. RESULTATS

Pour un débit de $2700\text{ m}^3/\text{h}$, les figures 1 et 2 montrent que la température s'élève progressivement de 10.6°C à 16.8°C , température à l'entrée des bouches vers la CTA. La vitesse est la plus grande à l'entrée d'air, où il y a une recirculation importante (tourbillons). En hiver, la température s'élève de 4.9 à 11.2°C . Dans la lame d'air, la vitesse est de $0.2\text{m}/\text{s}$ en moyenne à 10 cm du mur d'inertie.

Pour un débit de $2700\text{ m}^3/\text{h}$, la puissance est ainsi de 5.6 kW en mi-saison et de 6.0 kW en hiver. Pour un débit de $20000\text{ m}^3/\text{h}$, la puissance de 10.3 kW . Le gain énergétique n'est pas calculé car il manquerait de précision.

Dans les domaines solides, la température est uniforme dans le mur de structure (21°C , température des bureaux) et dans le mur d'inertie (14°C). L'isolant joue son rôle en effectuant la transition en température, avec une température de 27°C en mi-saison.

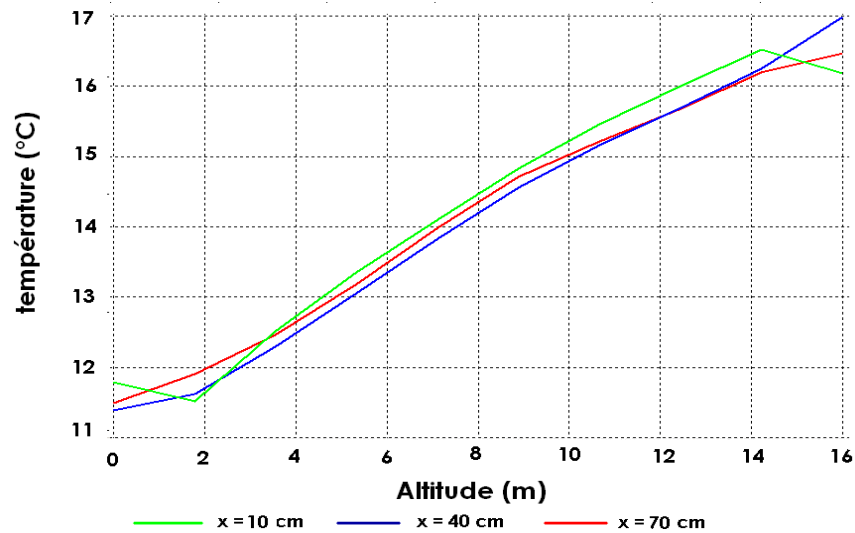


Figure 2 : Température et vitesses de l'air en fonction de l'altitude. ($x=0$ correspond au mur d'inertie) pour un débit de 2700 m³/h en mi-saison.

3. ETUDE DYNAMIQUE

Sous TRNSYS (Klein *et al.*, 2000), le type 36 est utilisé pour simuler le mur vitré. Ce type modélise directement un mur vitré dans le module « simulation studio » de TRNSYS. Le débit de ventilation dans la lame d'air est imposé.

Certains paramètres sont différents de ceux utilisés dans l'étude CFD précédente. Cela s'explique par le fait que l'étude sous TRNSYS est antérieure à celle sous CFX et que certains paramètres comme l'émissivité du vitrage ou les dimensions exactes des bâtiments n'étaient alors pas connus exactement. Par manque de temps, les études n'ont pas pu être corrélées. Pour l'étude sous CFX, l'émissivité du vitrage est de 0.9 (au lieu de 0.2), le coefficient d'absorption du mur est de 0.9 (au lieu de 0.8). Le mur a une hauteur de 16m et une largeur de 12m. La largeur de la lame d'air est de 80 cm (au lieu de 90 cm).

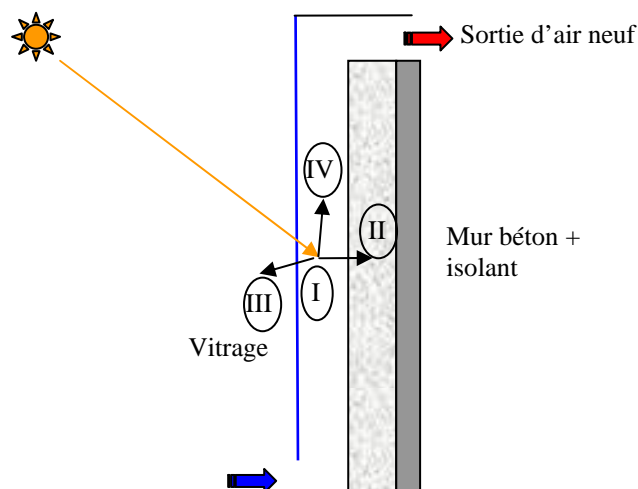


Figure 3 : bilan thermique dans la lame d'air

3.1. BILAN THERMIQUE DU MODELE

La variation de puissance échangée avec le mur opaque (béton) est calculée. Il s'agit du flux thermique échangé entre la lame d'air et le mur béton : stockage de chaleur au cours de journées ensoleillées, déstockage de chaleur au cours de la nuit. L'énergie perdue par la lame d'air d'une part par la peau extérieure et d'autre part par l'air qui en sort est également calculée. Enfin, l'énergie solaire absorbée par la lame d'air (I) correspond à la somme (Fig. 3) :

- du flux thermique échangé entre la lame d'air et le mur béton (II) ;
- des pertes thermiques par le vitrage (III) ;
- de l'énergie perdue par la lame d'air par l'air qui en sort (IV).

3.2. HYPOTHESES DE BASE

L'objectif est d'étudier le comportement du mur vitré en fonction des principaux paramètres. Les hypothèses correspondants à la variante de base des simulations sont les suivantes: orientation Sud-Ouest ; hauteur: 20m et largeur: 12m (surface de 240 m²); épaisseur du mur béton: 20cm ; coefficient d'absorption du mur béton: 0.8 ; émissivité du verre: 0.2 ; coefficient de transmission du verre : 0.89 ; largeur de la lame d'air: 90cm. Le volume de la lame d'air est de 216m³. Le débit d'air neuf dans la lame d'air est de 2700 m³/h, il correspond au besoin d'air neuf du bâtiment, composé de 5 niveaux pour une surface chauffée de 3000 m².

3.3. ETUDES PARAMETRIQUES

L'objectif est d'étudier le comportement du mur vitré en fonction des paramètres principaux. Pour cela, nous calculons l'énergie fournie à l'air sortant de la lame d'air pour la période de chauffage de fin septembre à fin avril. Les résultats suivants sont des écarts relatifs du bilan énergétique par rapport à la variante de base.

3.3.1. Epaisseur de la lame d'air

Une diminution de 20cm de l'épaisseur de la lame d'air génère une augmentation de 15% de l'énergie absorbée par l'air. Cela semble logique, puisqu'à débit constant, une diminution du volume de la lame d'air augmente la vitesse de l'air le long des parois, d'où une puissance thermique échangée plus importante.

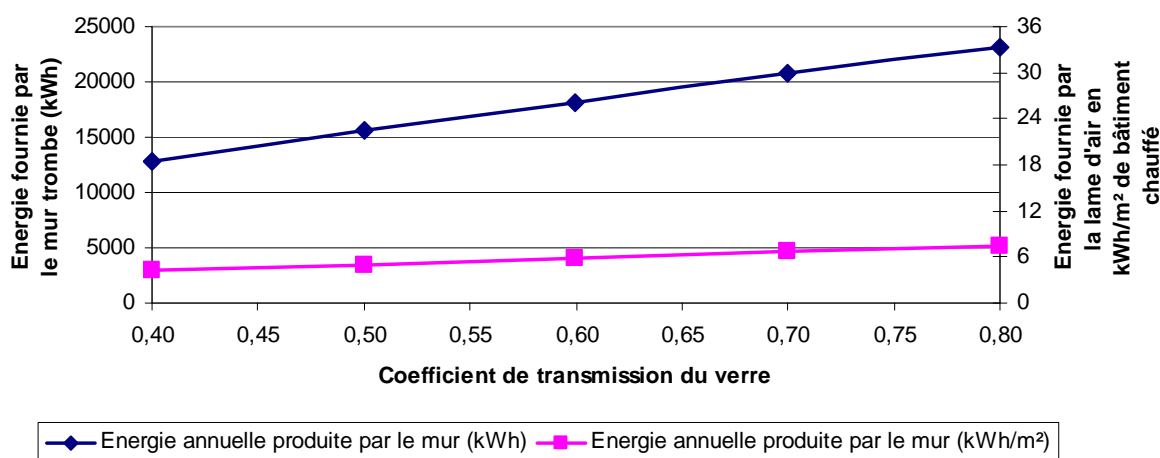


Figure 4 : Energie fournie par le mur vitré en fonction du coefficient de transmission du verre pour un débit d'air neuf imposé (2700m³/h)

3.3.2. Coefficient de transmission du vitrage

La chaleur fournie par le mur vitré varie linéairement en fonction du coefficient de transmission du verre (Fig.4). Une diminution de 50% du coefficient de transmission du vitrage génère une baisse de 44% de l'énergie fournie par le mur vitré.

3.3.3. Effet du débit d'air

On constate (Fig. 5 et 6) que les performances sont fortement liées au débit de circulation d'air. Les performances commencent à être intéressantes pour un débit de 20 000 m³/h (soit une vitesse d'air d'environ 0,25 m/s dans la lame d'air). A partir d'une telle valeur, l'air circulant dans la lame d'air absorbe plus de 45% de l'énergie solaire incidente à la peau extérieure. Le débit d'air neuf nécessaire au bâtiment (2700 m³/h) n'est donc pas optimal vis-à-vis du potentiel solaire exploitable. En effet, ce débit ne permet d'exploiter que 18% de l'énergie solaire incidente à la peau extérieure. Mais cela représente tout de même un apport de chaleur de 21 300 kWh au bâtiment, soit près de 7 kWh de chaleur par m² de surface chauffée.

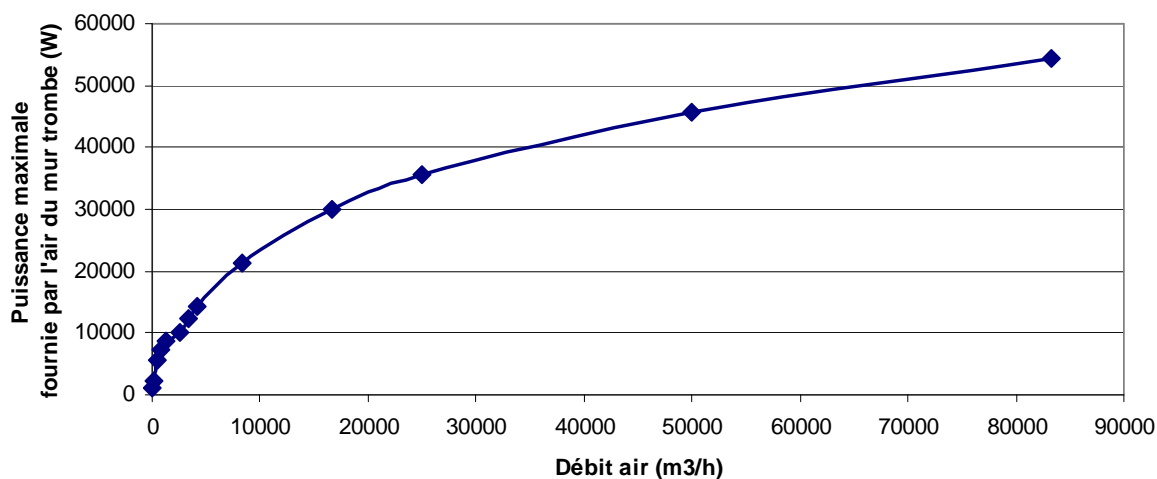


Figure 5 : Puissance maximale fournie par la lame d'air en fonction du débit d'air.

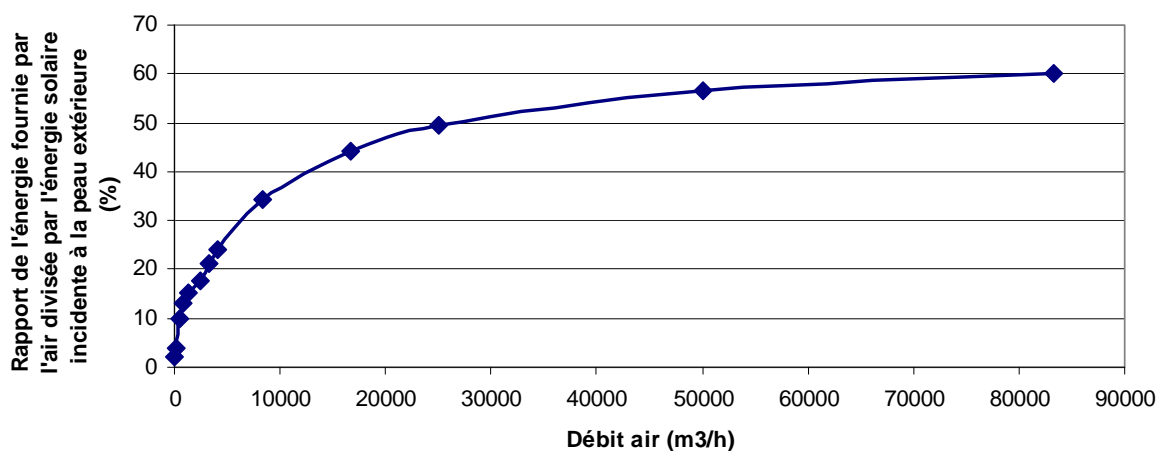


Figure 6: Rapport de l'énergie fournie par la lame d'air divisée par l'énergie solaire incidente à la peau extérieure en fonction du débit d'air.

3.3.4. Effet du coefficient d'absorption du mur

Les simulations montrent que la puissance ou la quantité d'énergie fournie par le mur vitré varie linéairement en fonction du coefficient d'absorption du mur (Fig. 7) quelque soit le débit de circulation d'air dans le mur vitré. Une augmentation de 0.1 du coefficient d'absorption du mur génère une augmentation de 9% de l'énergie absorbée par l'air. Cependant, une augmentation de 50% du coefficient d'absorption du mur (passage de 0,5 à 0,75) génère une augmentation de l'énergie fournie par le mur vitré de 37% pour un débit de 2700 m³/h et de 43% pour un débit de 20 000 m³/h. Cela permet de conclure que plus le débit est important, plus une augmentation du coefficient d'absorption du mur a un effet bénéfique sur le bilan énergétique. Cela est encore une fois logique, puisque plus la vitesse de l'air est élevée contre les parois, plus l'échange de chaleur avec l'air est important.

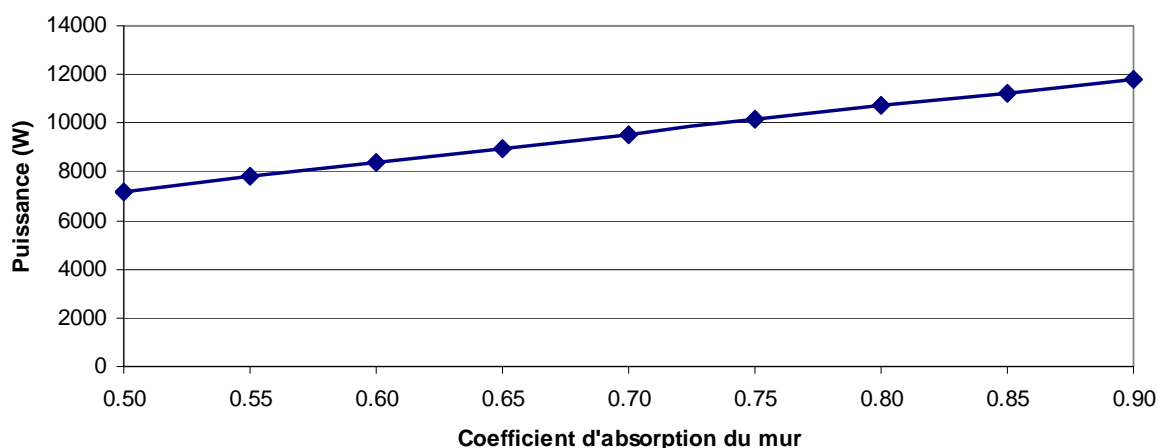


Figure 7 : Puissance maximale fournie par l'air en fonction du coefficient d'absorption du mur pour un débit d'air de 2700 m³/h.

3.4. CONCLUSION

Les différentes simulations dynamiques permettent de conclure assez logiquement qu'un coefficient d'absorption élevé du mur, un taux de transmission du verre élevé et qu'un débit minimal sont nécessaires pour optimiser le rendement énergétique d'un mur vitré.

Pour un débit de 2700 m³/h (soit 12.5 vol/h de la lame d'air), 18% de l'énergie solaire incidente à la peau extérieure est exploitée pour le chauffage du bâtiment.

Un débit de 20 000 m³/h (soit 92 vol/h de la lame d'air) associe un bon rendement énergétique (45% de l'énergie solaire incidente exploitée) à des vitesses d'air peu élevées dans la lame d'air (0,23 m/s). Par contre, ce débit est trop important par rapport au débit d'air neuf nécessaire (2700 m³/h) : un système d'échangeur de chaleur doit alors être installé pour exploiter ce potentiel énergétique.

4. COMPARAISON DES RESULTATS

Pour un débit de 2700 m³/h, la puissance est de 5.6 kW (élévation de température moyenne de 6.2°C) sous CFX. Sous TRNSYS, la moyenne des puissances instantanées est de 4.2 kW (élévation de température moyenne de 5°C). Ces résultats semblent cohérents.

Pour un débit de 20 000 m³/h, la puissance est de 10.3 kW sous CFX contre une puissance moyenne instantanée de 12.7 kW avec TRNSYS. La différence peut s'expliquer par les données du problème, la méthode de résolution et d'exploitation de résultats qui ne sont pas identiques.

5. DISCUSSION : PRISE EN COMPTE DES CONSOMMATIONS D'UN ECHANGEUR

Un débit de ventilation élevé (20 000 m³/h) permet d'exploiter une plus grande partie de l'énergie solaire mais doit être couplé à un échangeur de chaleur pour pouvoir être exploité. Les consommations énergétiques des ventilateurs de l'échangeur doivent donc être déduites dans le bilan énergétique. En se basant sur une efficacité de 80% d'énergie récupérée (sur l'enthalpie de l'air), le gain énergétique peut être considéré comme nul. Cela est dû à la différence moyenne entre la température de l'air extérieur et la température de l'air sortant qui est trop faible.

Malgré une plus faible exploitation d'énergie solaire, il est préférable d'utiliser le débit nécessaire aux besoins de ventilation, soit 2700 m³/h, sans utiliser d'échangeur. Le rendement énergétique assuré est alors de 7 kWh/m².

6. CONCLUSION

Nous avons étudié à l'aide de simulations thermo-aérouliques et dynamiques une double peau en façade Sud-Ouest d'un immeuble de 5 niveaux et 3000 m² chauffé en région parisienne. Les études dynamiques montrent qu'un débit d'air optimum existe (20 000 m³/h) combinant une puissance solaire exploitée élevée et une faible vitesse de circulation d'air. Mais pour exploiter un tel débit, un système additionnel, comme un échangeur de chaleur, doit être ajouté. La prise en compte des consommations et de l'efficacité de l'échangeur annule ce gain. Il est donc préférable d'utiliser un débit d'air plus faible (celui nécessaire aux besoins de ventilation du bâtiment, soit 2700 m³/h) apportant moins d'énergie mais ne nécessitant pas d'échangeur. Le rendement énergétique est alors de 7 kWh par m² chauffé et par an. Pour un bâtiment basse consommation, dont les consommations de chauffage ne dépassent pas 15 kWh/m², cela représente près de la moitié des besoins.

7. BIBLIOGRAPHIE

CFX (2006), *ANSYS CFX reference guide Release 11.0*.

Fraisse G., Virgone J. (2003). *Modélisation numérique d'un bâtiment multizone sous TRNSYS*, LOCIE, Université de Savoie.

Klein S.A. et al. (2000). *TRNSYS a transient system simulation program Version 15.2*, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin.

Poirzis H. (2004). *Double skin façades for office buildings: literature review*. Report EBD, Department of construction and architecture, University of Lund.

Saint Gobain Glass (2007). *Mémento*.