



**HAL**  
open science

# INFLUENCE DU REGLAGE DE LA VENTILATION A LA DEMANDE SUR LA QUALITE DE L'AIR INTERIEURE ET LA CONSOMMATION ENERGETIQUE D'UN LOCAL EN BETON DE CHANVRE

Anh Dung Tran Le, Omar Douzane, Geoffrey Promis, Anh Tuan Nguyen,  
Benoit Rocq, Driss Samri, Laurent Lahoche, Thierry Langlet

► **To cite this version:**

Anh Dung Tran Le, Omar Douzane, Geoffrey Promis, Anh Tuan Nguyen, Benoit Rocq, et al.. INFLUENCE DU REGLAGE DE LA VENTILATION A LA DEMANDE SUR LA QUALITE DE L'AIR INTERIEURE ET LA CONSOMMATION ENERGETIQUE D'UN LOCAL EN BETON DE CHANVRE. XIII Colloque International Franco-Québécois sur la Thermique des Systèmes (CIFQ17), May 2017, Saint Lo, France. hal-04502270

**HAL Id: hal-04502270**

**<https://hal.science/hal-04502270v1>**

Submitted on 13 Mar 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# INFLUENCE DU REGLAGE DE LA VENTILATION A LA DEMANDE SUR LA QUALITE DE L'AIR INTERIEURE ET LA CONSOMMATION ENERGETIQUE D'UN LOCAL EN BETON DE CHANVRE

Anh Dung **TRAN LE**<sup>1\*</sup>, Omar **DOUZANE**<sup>1</sup>, Geoffrey **PROMIS**<sup>1</sup>, Anh Tuan **NGUYEN**<sup>2</sup>, Benoit **ROCQ**<sup>3</sup>, Driss **SAMRI**<sup>4</sup>, Laurent **LAHOUCHE**<sup>1</sup>, Thierry **LANGLET**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LTI, EA 3899 – Université de Picardie Jules Verne, IUT Amiens, Avenue des Facultés – Le Bailly, 80025 Amiens Cedex 1, France

<sup>2</sup>Faculty of Architecture, University of Science and Technology – the University of Danang, 54 Nguyen Luong Bang, Lien Chieu, DaNang, Vietnam

<sup>3</sup>ATMO Hauts de France, 55 place Rihour - 59044 Lille Cedex, France

<sup>4</sup>Cerema, Direction territoriale Sud-Ouest, Rue Pierre Ramond CS 60013 33166 Saint Médard en Jalles Cedex, France

## RÉSUMÉ

L'objectif de cet article est d'étudier l'influence du système de ventilation dont le débit est une fonction de l'humidité relative et de la concentration en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) intérieure sur la performance hygrothermique et la qualité de l'air d'un local en béton de chanvre. Dans ce papier, un modèle de prédiction de CO<sub>2</sub> est présenté et implémenté dans l'environnement orienté objet SPARK (Simulation Problem Analysis and Research Kernel). Le modèle est ensuite validé en comparant les résultats analytiques avec ceux numériques. Les simulations effectuées permettent de confirmer que l'utilisation du système de ventilation à la demande est une bonne solution pour réduire la consommation énergétique sans dégrader la qualité de l'air et le confort hygrothermique intérieur.

**Mots Clés :** *qualité de l'air, ventilation réglable, comportement hygrothermique, confort hygrothermique, béton de chanvre*

## NOMENCLATURE

C <sub>p</sub>	Chaleur spécifique	J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
C	Concentration de CO <sub>2</sub>	ppm ou mg/m <sup>3</sup>
C <sub>0</sub>	Chaleur spécifique de matériau sec	J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
C <sub>1</sub>	Chaleur spécifique de l'eau	J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
D <sub>T</sub>	Coefficient de transport de masse de l'eau liée à un gradient de température	m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
D <sub>T,v</sub>	Coefficient de transport de la vapeur lié à un gradient de température	m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
D <sub>θ</sub>	Coefficient de transport de masse d'eau associé à un gradient en humidité volumétrique	m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>
D <sub>θ,v</sub>	Coefficient de transport de masse de la vapeur d'eau associé à un gradient en humidité volumétrique	m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>
g	Accélération de la pesanteur	m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>
h <sub>M</sub>	Coefficient d'échange massique	kg.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup>

h <sub>T</sub>	Coefficient d'échange convectif	W. m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup>
L <sub>v</sub>	Chaleur latente de vaporisation	J.kg <sup>-1</sup>
T	Température	K
t	Temps	s
w	Teneur en eau massique	Kg.m <sup>-3</sup>
x	Abscisse	m
θ	Teneur en eau volumique	m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup>
λ	Conductivité thermique	W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
ρ <sub>0</sub>	Masse volumique du matériau sec	kg.m <sup>-3</sup>
ρ <sub>1</sub>	Masse volumique de l'eau	kg.m <sup>-3</sup>
ρ <sub>v</sub>	Masse volumique de la vapeur	kg.m <sup>-3</sup>
φ	Humidité relative	%
π	Perméabilité à la vapeur	kg.m <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> .Pa <sup>-1</sup>

\* auteur correspondant

Adresse électronique : [anh.dung.tran.le@u-picardie.fr](mailto:anh.dung.tran.le@u-picardie.fr)

## 1. INTRODUCTION

Un des objectifs les plus importants pour la conception des bâtiments est de satisfaire les personnes qui y habitent. Cette satisfaction est liée au confort thermique, à la qualité de l'air intérieur, au confort acoustique et visuel. Parmi les facteurs qui influent la perception de la qualité de l'air intérieur et du confort, l'humidité relative (RH) et la concentration de CO<sub>2</sub> sont des paramètres importants. Une concentration élevée en humidité et de CO<sub>2</sub> intérieur peut nuire à la construction et avoir un effet néfaste sur la santé. L'humidité élevée nuit aux matériaux, en particulier en cas de condensation qui va contribuer au développement des moisissures et augmente des risques allergiques. La croissance microbienne favorisée par une humidité relative élevée, conduit à une mauvaise qualité de l'air intérieur (QAI) et à la détérioration des bâtiments. Une QAI médiocre entraîne des problèmes de santé et pourrait réduire la productivité de travail. Par conséquent, les moyens permettant de maintenir les niveaux de l'HR et de CO<sub>2</sub> intérieurs à un niveau de confort sont nécessaires et essentiels pour améliorer les performances du bâtiment en termes de qualité de l'air intérieur, de performance énergétique et de durabilité des matériaux.

Pour avoir une qualité d'air intérieur acceptable, la Société Américaine des Ingénieurs en Chauffage, en Réfrigération et en Climatisation (ASHRAE) recommande deux procédures: la procédure de ventilation spécifiant la qualité et la quantité d'air de ventilation d'un espace et la procédure de qualité de l'air intérieure qui exige le contrôle de tous les contaminants à des certains niveaux acceptables dans un espace. Parmi les deux procédures, celle de taux de ventilation est la plus utilisée [1].

Une méthode qui peut être utilisée pour évaluer la QAI et le confort hygrothermique est d'étudier les concentrations intérieures de CO<sub>2</sub> et de RH. Comme il est recommandé dans les normes européennes et américaines, la ventilation conçue pour la zone occupée peut être raisonnablement établie en s'assurant que la concentration intérieure de CO<sub>2</sub> est de 1000 ppm ou moins et que l'humidité relative intérieure est maintenue entre 30 et 60%. Dans des conditions climatiques froides, les besoins énergétiques pour le chauffage liés à la ventilation sont potentiellement élevés. Un taux de ventilation trop faible entraîne une faible QAI pour les occupants et un risque de condensation, cependant, un taux de ventilation trop élevé cause une consommation d'énergie plus importante et inutile. Par conséquent, cet article vise à coupler les deux concepts pour réduire la consommation d'énergie d'un bureau en béton de chanvre. Plus précisément, ce travail va étudier l'influence des stratégies de ventilation sur la QAI et la performance énergétique. Dans cette étude, la

concentration de CO<sub>2</sub> est considérée comme l'indicateur pour évaluer la QAI dans le bâtiment.

## 2. Modèle mathématique

### 2.1 Transferts hygrothermiques dans une paroi

Dans la littérature on trouve plusieurs modèles permettant de modéliser les transferts hygrothermiques dans une paroi. Ces modèles diffèrent par leur approche et leur complexité. Ils sont surtout basés sur la théorie de Philip et De Vries [2].

Selon la théorie de Philip et De Vries ([2-3]), les transferts hygrothermiques dans une paroi simple couche peuvent être modélisés en considérant que l'humidité traverse le matériau poreux sous forme liquide et vapeur. La phase liquide est supposée se déplacer par capillarité tandis que la phase vapeur se diffuse en fonction des gradients de pression partielle de vapeur. Avec ces considérations, l'équation du bilan d'humidité devient :

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_T \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( D_\theta \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) \quad (1)$$

Avec comme conditions aux limites (en x=0 et x=L) :

$$- \rho_l \left( D_T \frac{\partial T}{\partial x} + D_\theta \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) \Big|_{x=0,e} \quad (2)$$

$$= h_{M,e} (\rho_{ve,a,e} - \rho_{ve,s,e}) - \rho_l \left( D_T \frac{\partial T}{\partial x} + D_\theta \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) \Big|_{x=L,i} = \quad (3)$$

$$h_{M,i} (\rho_{ve,s,i} - \rho_{ve,a,i})$$

L'équation du bilan d'énergie indique que la variation d'énergie en fonction du temps est liée à la fois à la chaleur échangée par conduction ainsi qu'au changement de phase dans les pores :

$$\rho_0 C p_m \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + L_v \rho_l \left( \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{T,v} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{\theta,v} \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) \right) \quad (4)$$

$$C p_m = C p_0 + C p_1 \frac{\rho_l}{\rho_0} \theta \quad (5)$$

Où C p<sub>m</sub> est la chaleur spécifique moyenne tenant compte de la chaleur spécifique du matériau sec et de la contribution de la chaleur spécifique dans la phase liquide. λ est la conductivité thermique, fonction de l'humidité relative.

Les conditions aux limites sont les suivantes :

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} - L_v \rho_l \left( D_{T,v} \frac{\partial T}{\partial x} + D_{\theta,v} \frac{\partial \theta}{\partial x} \right)_{x=0,e} = \quad (6)$$

$$h_{T,e} (T_{a,e} - T_{s,e}) + L_v h_{M,e} (\rho_{ve,a,e} - \rho_{ve,s,e})$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} - L_v \rho_l \left( D_{T,v} \frac{\partial T}{\partial x} + D_{\theta,v} \frac{\partial \theta}{\partial x} \right)_{x=L,i} = \quad (7)$$

$$h_{T,i} (T_{s,i} - T_{a,i}) + L_v h_{M,i} (\rho_{ve,s,i} - \rho_{ve,a,i})$$

Dans ce travail, le contact parfait est considéré pour la paroi multicouche (ceci signifie que l'humidité relative et la température sont continues à l'interface entre deux couches). En ce qui concerne la diffusivité hygrique, les coefficients peuvent être déduits à partir de la perméabilité apparente à la vapeur  $\pi$  et de l'inverse des pentes des tangentes aux isothermes d'adsorption-désorption. On a :

$$D_{\theta} = \pi \frac{P_{vs}(T)}{\rho_l} \frac{\partial \phi}{\partial \theta} \quad (8)$$

Concernant la diffusion de l'humidité sous l'effet d'un gradient thermique, elle est considérée négligeable comme il est généralement admis.

## 2.2 Modèle de l'ambiance

Pour modéliser le transfert hygrothermique dans l'ambiance, nous utilisons la méthode nodale. En considérant le mélange parfait, chaque zone du bâtiment est caractérisée par une pression, une température et une concentration de l'humidité. La méthode nodale se compose des équations de conservation de l'énergie et de masse dans l'ambiance, des équations de transfert hygrothermique dans les parois, des formules additionnelles de convection entre les surfaces intérieures de paroi avec les couches limites adjacentes et finalement des équations des échanges radiatifs entre les surfaces et son environnement.

Le bilan d'énergie de l'ambiance est écrit sous la forme :

$$(\rho_i c_p V + I) \frac{\partial T}{\partial t} = \Phi_{Ouest} - \Phi_{Est} + \Phi_{Sud} - \Phi_{Nord} + \Phi_{Bas} - \Phi_{Haut} + \Phi_{Source} \quad (9)$$

Où I est l'inertie thermique du local.

L'humidité dans l'ambiance est due aux échanges avec les surfaces intérieures des parois, au taux de production de vapeur (dû aux occupants ou autres sources d'humidité). Par conséquent, le bilan de masse est décrit par:

$$V \frac{\partial \rho_i}{\partial \tau} = Q_{mOuest} - Q_{mEst} + Q_{mSud} - Q_{mNord} + Q_{mBas} - Q_{mHaut} + Q_{mSource} \quad (10)$$

Concernant les échanges radiatifs entre les surfaces, nous allons utiliser la méthode de la température radiante moyenne. Le flux radiatif entre une paroi et les autres parois est calculé selon la formule suivante :

$$\Phi_{rad,GL}^{int} = h_r S (T - T_m) \quad (11)$$

$$\text{Avec} \quad h_r = 4\varepsilon\sigma T_m^3 \quad (12)$$

## 2.3 Modèle de la prédiction de la QAI

Il est supposé que l'air de la pièce est parfaitement mélangé, le bilan massique de la concentration de dioxyde de carbone peut être exprimé comme suit:

$$V \frac{\partial C}{\partial t} = Q [C_o(t) - C(t)] + G(t) \quad (13)$$

Où :  $C_o(t)$  est la concentration de CO<sub>2</sub> extérieure (mg/m<sup>3</sup>);  $C(t)$  est la concentration de CO<sub>2</sub> intérieure à l'instant t (mg/m<sup>3</sup>);

V est le volume de la pièce (m<sup>3</sup>);

Q est le débit de ventilation (m<sup>3</sup>/s).

## 2.4 Prédiction du pourcentage d'insatisfaits de l'odeur corporelle

Car l'homme produit du dioxyde de carbone et des odeurs corporelles en même temps, quelques auteurs ont étudié la relation entre le niveau de CO<sub>2</sub> et l'acceptabilité d'un espace en termes d'odeur corporelle [4]. L'équation 14 représente le pourcentage d'insatisfaits (PD) dans un espace en fonction de la concentration intérieure de CO<sub>2</sub> [5].

$$PD_{Odor} = 395 * \exp \left[ -17.55 * (C_{in} - C_{out})^{-0.25} \right] \quad (14)$$

## 3 VALIDATION DU MODEL DE LA QUALITE DE L'AIR

Afin de résoudre le système obtenu, les équations ont été implémentées dans l'environnement de simulation SPARK, un environnement orienté objet permettant de résoudre de façon efficace les systèmes d'équations différentielles [6-7]. La méthode des différences finies avec un schéma implicite a été utilisée. Les modèles hygrothermiques implémentés ont été validés dans le cadre de l'annexe 41 de l'Agence Internationale de l'Energie [8-9].

Cette partie présente seulement la validation du modèle de prédiction de la QAI. A partir de l'équation 13, nous pouvons en déduire la solution analytique de la concentration intérieure de CO<sub>2</sub>:

$$C(t) = K.e^{-\frac{Q}{V}t} + \frac{QC_o + G}{Q} \quad (15)$$

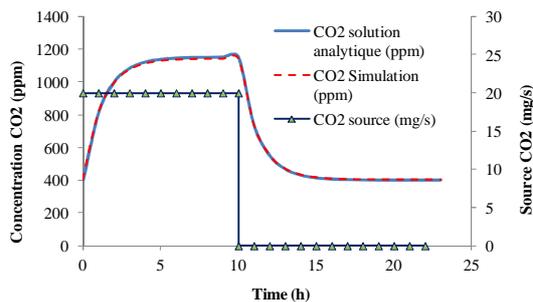


Figure 1: Comparaison entre modèle numérique et model analytique

Pour valider le modèle, nous considérons une pièce dont le volume est de  $62 \text{ m}^3$ , occupée par 2 personnes (la source de  $\text{CO}_2$  est de  $20 \text{ mg/s}$ ) pendant 10 heures. Le taux de ventilation et la concentration de  $\text{CO}_2$  extérieure sont respectivement de  $0,8 \text{ l/h}$  et de  $400 \text{ ppm}$ . La Figure 1 montre une très bonne concordance entre la solution analytique et les résultats numériques, ce qui montre que le modèle numérique peut être utilisé pour étudier la QAI en termes de la concentration de  $\text{CO}_2$  dans une pièce occupée.

## 4. Etude Numérique et Discussion

### 4.1 Description de la pièce étudiée et conditions de simulation

La coupe longitudinale du bâtiment étudié est représentée dans la Figure 2. Le bureau a une surface de  $5,5 * 4 \text{ m}^2$  et un volume de  $61,6 \text{ m}^3$ . La façade sud est une fenêtre triple vitrage (avec  $U_g = 1 \text{ W / m}^2\text{K}$ ) qui est en contact avec les conditions extérieures tandis que les autres murs, le plancher et le plafond sont considérés en contact avec l'espace chauffé (à  $19 \text{ }^\circ\text{C}$  et  $50 \%$  de température et HR respectivement). Les cloisons sont les parois multicouches en béton de chanvre qui sont composées de  $1,5 \text{ cm}$  de l'enduit chanvre-chaux,  $20 \text{ cm}$  de béton de chanvre et  $1,5 \text{ cm}$  de l'enduit chanvre-chaux (de l'intérieur à l'extérieur).

Les propriétés hygrothermiques du béton de chanvre et de l'enduit chanvre-chaux mesurées par Collet [10] ont été utilisées. La température de consigne dans le bureau est mise à  $19 \text{ }^\circ\text{C}$ . Les coefficients d'échange convectif sont  $h_{T,e}=16 \text{ W/m}^2\text{K}$  pour les surfaces extérieures et  $h_{T,i}=4 \text{ W/m}^2\text{K}$  pour les surfaces intérieures. Les coefficients de d'échange massique sont calculés à partir des coefficients d'échange convectif de chaleur en considérant le nombre de Lewis égal à 1. Le bureau est occupé de 8 heures à 17 heures par deux personnes (les apports internes de vapeur, de chaleur et de dioxyde de carbone sont respectivement de  $140 \text{ g/h}$ ,  $160 \text{ W}$  et  $20 \text{ mg/s}$ ). La concentration initiale de  $\text{CO}_2$ , la température et l'humidité relative (dans les murs et dans la pièce étudiée) sont respectivement de  $400 \text{ ppm}$ ,  $19 \text{ }^\circ\text{C}$  et  $50 \%$ . Les simulations sont réalisées pour trois mois de l'hiver avec les données météorologiques de Nancy en France. La paroi est discrétisé en 24 nœuds (7 nœuds

pour l'enduit chanvre-chaux et 10 nœuds pour le béton de chanvre). Le pas de temps est de 240 secondes. Dans cet article, on considère une concentration de dioxyde de carbone extérieure de  $775 \text{ mg/m}^3$  (ce qui équivaut à  $400 \text{ ppm}$ ); un taux de ventilation de  $0,8 \text{ l/h}$  est considéré comme le cas de référence car cette valeur a été déterminée en se basant sur la valeur recommandée par la norme européenne [11].

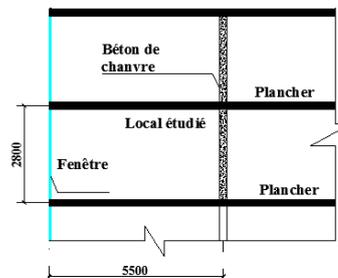


Figure 2: Coupe longitudinale du bâtiment étudié (unité: mm)

### 4.2 Description de la ventilation sensible à la concentration de $\text{CO}_2$ ( $\text{CO}_2 \text{ SVS}$ ) ou à l'humidité relative ( $\text{RH SVS}$ )

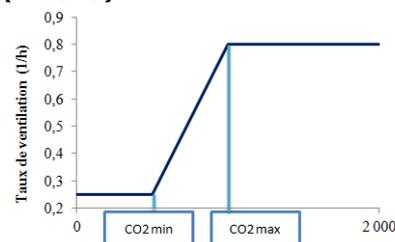


Figure 3: Taux de ventilation en fonction de  $\text{CO}_2$

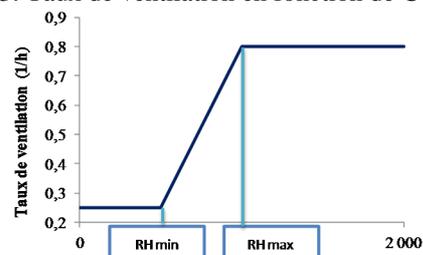


Figure 4: Taux de ventilation en fonction de l'humidité relative

La ventilation permet de créer un renouvellement d'air afin d'assurer une bonne qualité de l'air intérieur et la pérennité du bâti. Un taux de ventilation constant va entraîner un gaspillage d'énergie pendant la période inoccupée. La ventilation à la demande a été développée pour tenir compte à la fois de la QAI et de l'efficacité énergétique en régulant le débit de ventilation en fonction de la demande réelle. Dans ce travail, deux stratégies de ventilation dont le débit est une fonction de la concentration de  $\text{CO}_2$  ( $\text{CO}_2 \text{ SVS}$ ) ou d'humidité relative intérieure ( $\text{RH SVS}$ ) sont étudiées. Il est noté que la dernière est devenue le système de référence de la réglementation en vigueur en France. La description de

ces systèmes de ventilation est illustrée dans les Figure 3 and Figure 4.

#### 4.3 Influence des systèmes de ventilation étudiés sur la qualité de l'air intérieur

Les taux de ventilation pour les différentes stratégies de ventilation sont présentés sur la Figure 5. Comme on peut le constater, le taux de ventilation obtenu pour le système CO<sub>2</sub> SVS est plus élevé que RH SVS pendant la période occupée, mais il est plus faible pendant la période inoccupée. Ceci s'explique par la capacité tampon hygrique des parois en béton de chanvre qui permet de réduire la variation de l'humidité relative intérieure du local.

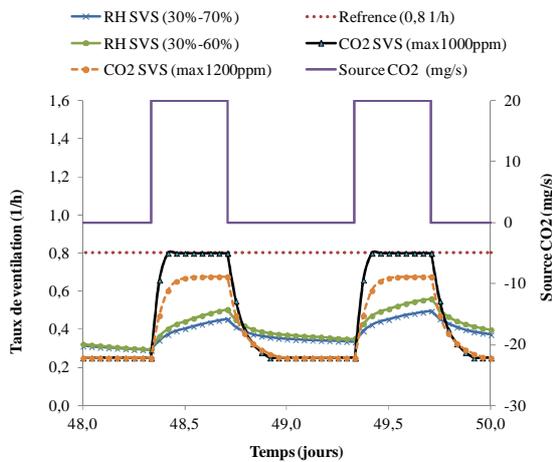


Figure 5: Taux de ventilation en fonction des stratégies étudiées

La Figure 6 montre les concentrations intérieures de CO<sub>2</sub> pour les différentes stratégies de ventilation. Plus la valeur cible est élevée, plus la concentration intérieure de CO<sub>2</sub> est élevée. On constate que les concentrations de CO<sub>2</sub> dans le bureau pour les deux cas Cible\_1000 ppm et le cas de référence (taux de ventilation constant et égal à 0,8 1/h) sont très proches. Ce résultat montre que le débit de ventilation recommandé par la norme permet d'avoir une concentration de CO<sub>2</sub> inférieure à 1140 ppm. Lorsque la valeur cible CO<sub>2</sub>max passe de 1000 ppm à 1200 ppm, la concentration intérieure maximale de CO<sub>2</sub> augmente de 1140 ppm à 1280 ppm. En ce qui concerne le système de ventilation SVS RH, lorsque l'humidité relative cible passe de 60% à 70%, la concentration maximale de CO<sub>2</sub> dans l'habitation passe de 1630 ppm à 1730 ppm.

Par rapport au système de la ventilation RH SVS, la concentration de CO<sub>2</sub> obtenue pour le système CO<sub>2</sub> SVS est plus faible. Numériquement, la concentration maximale de CO<sub>2</sub> dans le bureau est de 1140 ppm pour le SVS\_ CO<sub>2</sub> (max 1000 ppm) et de 1630 ppm pour le SVS RH (30% - 60%), ce qui correspond à une différence de 30%. Notez que la concentration de CO<sub>2</sub> va avoir une influence sur l'acceptabilité en termes de l'odeur corporelle qui peut être exprimée par le pourcentage d'insatisfaits PD (voir la Figure 7). Le

résultat montre que l'utilisation du système CO<sub>2</sub> SVS peut réduire le pourcentage d'insatisfaits de 34% à 23% par rapport au système RH SVS.

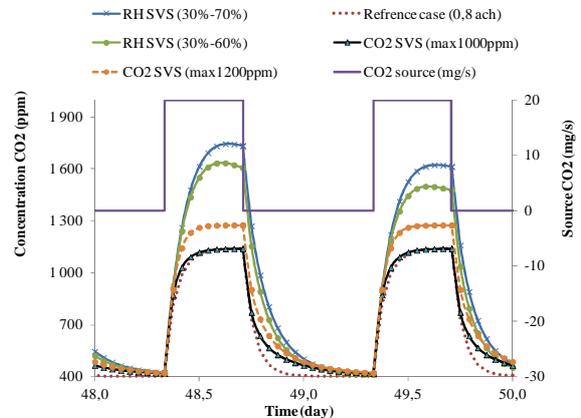


Figure 6: Concentration de CO<sub>2</sub> en fonction des stratégies étudiées

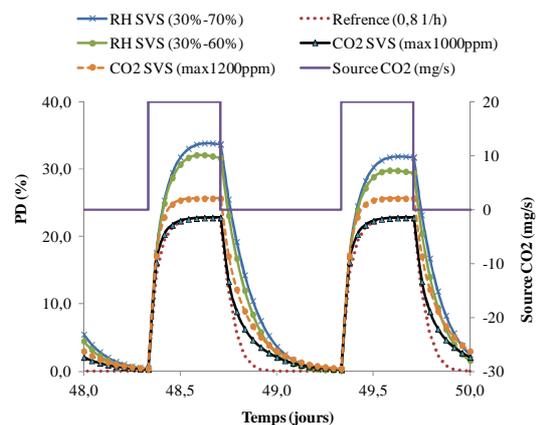


Figure 7: Pourcentage d'insatisfaits en termes d'odeur corporelle en fonction des stratégies étudiées

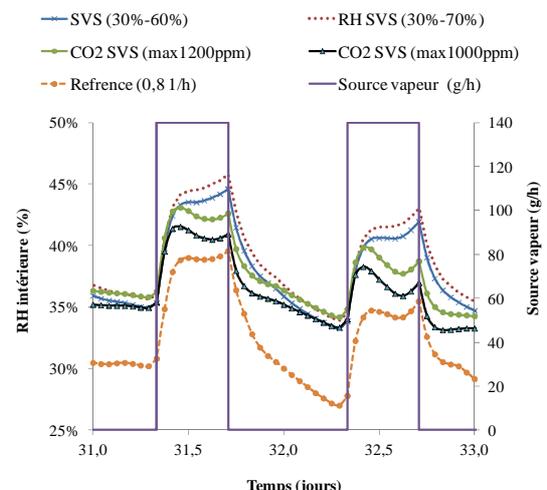


Figure 8: Humidité relative intérieure en fonction des stratégies étudiées

La Figure 8 illustre l'influence des stratégies de ventilation sur l'humidité relative intérieure. On constate que, par rapport au système de ventilation dont le débit de ventilation est constant, les humidités relatives pour les systèmes de ventilation à la demande sont plus élevées puisque le taux de ventilation est plus faible (voir la Figure 5). Cependant, l'HR intérieure est toujours dans la zone de confort, à l'exception du cas de référence (0.8 l/h) où elle est parfois inférieure à 30% au début de la période occupée (voir Figure 8).

#### 4.4 Influence de la ventilation à la demande sur la consommation énergétique

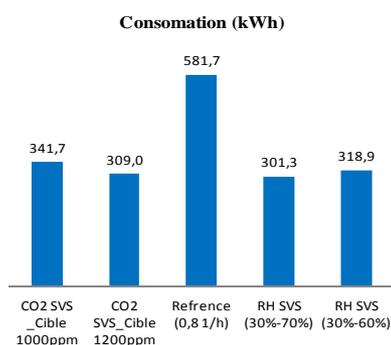


Figure 9: Influence des stratégies étudiées sur la consommation énergétique

La Figure 9 présente l'influence des stratégies de ventilation sur la consommation énergétique. Le résultat montre que la réduction du taux de ventilation pour la ventilation à la demande permet de réduire la consommation d'énergie. Comparé au CO<sub>2</sub> SVS (cible 1000 ppm), la consommation énergétique pour RH SVS est plus faible car le taux de ventilation est plus faible. Pendant trois mois de l'hiver, la consommation d'énergie pour RH SVS (30% -60%) et CO<sub>2</sub> SVS (cible 1000 ppm) sont respectivement de 318,9 kWh et 341,7 kWh, avec une différence de 6,7 %. En comparaison avec le système de ventilation avec un taux de ventilation constant (cas de référence 0,8 l/h), le système RH SVS (30-70%) peut réduire 48% la consommation d'énergie sans dégrader la qualité de l'air intérieur.

## 5. CONCLUSION

Cet article étudie l'influence des systèmes de ventilation sensible au dioxyde de carbone ou à l'humidité relative intérieure sur la qualité de l'air et la performance hygrothermique dans un bureau en béton de chanvre. Un modèle couplé de transfert hygrothermique et de la QAI intérieure est intégré dans l'environnement de simulation SPARK et est validé en comparant les résultats numériques avec ceux analytiques.

Cette étude a confirmé que l'utilisation du système de ventilation à la demande est un moyen efficace pour réduire la consommation d'énergie. Pour les cas étudiés, par rapport au cas dont le taux de ventilation est constant, le système de la ventilation sensible peut réduire la consommation d'énergie d'environ 48% sans dégrader la qualité de l'air intérieur.

Finalement, grâce à la capacité de régulation tampon hygrique du béton de chanvre, comparé au système de ventilation sensible à CO<sub>2</sub>, la consommation énergétique du système de ventilation sensible à l'humidité relative (celui est largement utilisé maintenant en France) est plus faible (environ 6,7%). Cependant, il se traduit par un pourcentage d'insatisfaits en termes d'odeur corporelle plus élevé (PD passe de 23% à 34%).

## RÉFÉRENCES

- [1] Shaw C.Y. 1997. Maintaining Acceptable Air Quality in Office Buildings Through Ventilation National Research Council of Canada, January 1997, ISSN 1206-1220.
- [2] Philip, J.R. and De Vries, D.A. (1957), Moisture movement in porous materials under temperature gradients, *Transaction of American Geophysical Union*. V.38, n.2, p.222-232.
- [3] Mendes, N., Philippi, P.C. 2005. A method for predicting heat and moisture transfer through multilayer walls based on temperature and moisture content gradients. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48: 37-51.
- [4] Fanger P O and Berg-Munch B. 1983. Ventilation requirements for the control of body odor. Proc. of Engineering Foundation Conference on Management of Atmospheres in Tightly Enclosed Spaces, ASHRAE, Atlanta, GA (1983).
- [5] CEC. 1992. Guidelines for Ventilation Requirements in buildings. Report No. 11, European Concerted Action Indoor Air Quality & Its Impact on Man. Commission of the European Communities, Directorate General for Science, Research and Development.
- [6] Sowell E.F., Haves P. (2001). Efficient solution strategies for building energy system simulation, *Energy and Buildings*, vol. 33, p. 309-317.
- [7] Mendonça K.C., Inard C., Wurtz E., Winkelmann F.C. and Allard F. (2002), A zonal model for predicting simultaneous heat and moisture transfer in buildings, *Indoor Air 2002, 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Monterey, USA, 2002.
- [8] Annex 41, (2003). Whole bidding Heat, Air, Moisture Response; <http://www.kuleuven.ac.be/bwf/projects/protected/overview.php>.
- [9] Tran Le, A.D, Maalouf C., Douzane O., Promis G., Mai T.H, Langlet T, Impact of combined moisture buffering capacity of a hemp concrete building envelope and interior objects on the hygrothermal performance in a room, *Journal of Building Performance Simulation*, (2016). <http://dx.doi.org/10.1080/19401493.2016.1160434>.
- [10] Collet F. (2004), Caractérisation hydrique et thermique de matériaux de génie civil à faibles impacts environnementaux, *Thèse de Doctorat*, INSA de Rennes, 220 p.
- [11] EN 13779-2007. Ventilation for non-residential buildings, Performance requirements for ventilation and room conditioning systems.