

SIMUREX 3 - 29/10/2015



Modélisation de l'impact de l'architecture intérieure sur le transfert de CO₂ au sein d'un bâtiment ventilé



Clément LAFFÉTER (Ensem, CSTB)
François DEMOUGE (CSTB)
Ophélie CABALLINA (Ensem)

Résumé

Le logiciel MATHIS est utilisé pour l'évaluation technique des systèmes de ventilation en terme de qualité de l'air et de performance énergétique. Il repose sur un modèle de calcul nodal : il est simple d'utilisation et peu coûteux en temps de calcul.

L'étude présentée s'intéresse au transfert de CO₂ entre deux pièces isothermes ventilées séparées par une porte ouverte. Une personne présente dans l'une des pièces dégage du dioxyde de carbone et de la vapeur d'eau. Porte ouverte, le gradient de pression entre les deux pièces est faible et la concentration en espèces (CO₂, H₂O) a une influence non négligeable sur le transfert de CO₂ entre pièces.

L'évolution temporelle de la concentration des espèces est calculée par un logiciel de CFD utilisé comme référence et par MATHIS. L'effet de la prise en compte ou non par MATHIS de la variation de la masse volumique du mélange en fonction des concentrations est analysé.

Schématisation du problème

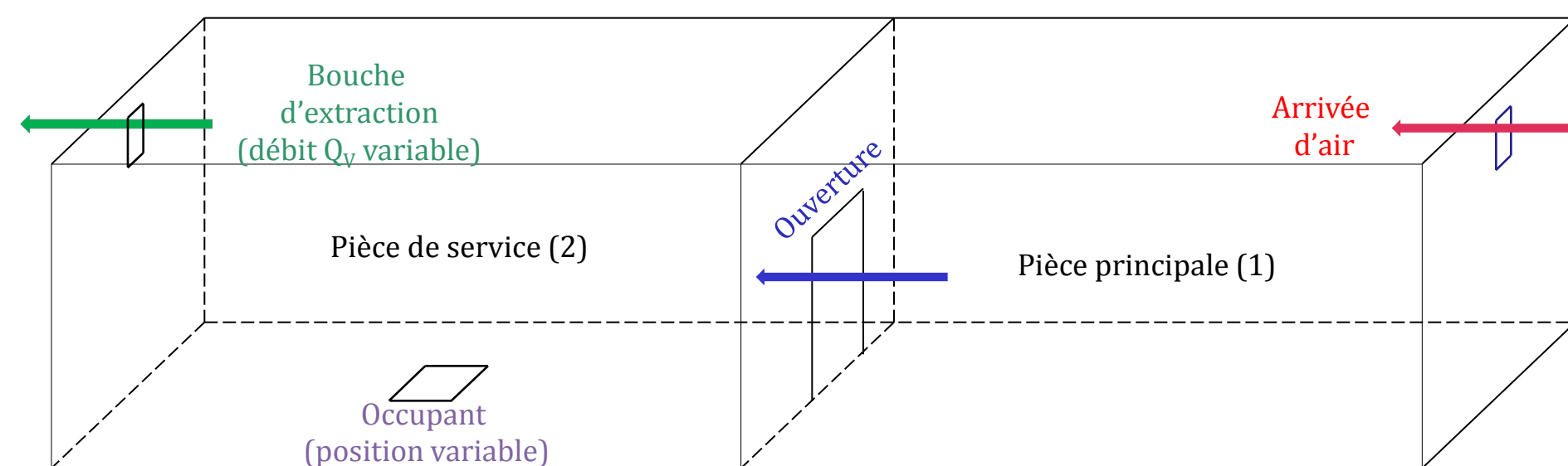


Figure 1 : Présentation du cas étudié

Comparaison des deux modèles

Le logiciel FDS (NIST) : modèle CFD (méthode des volumes finis)

- Intègre tous les phénomènes de transport de masse, y compris la turbulence (LES)
- Calcule les concentrations locales de H₂O et CO₂ dans les deux pièces à chaque pas de temps

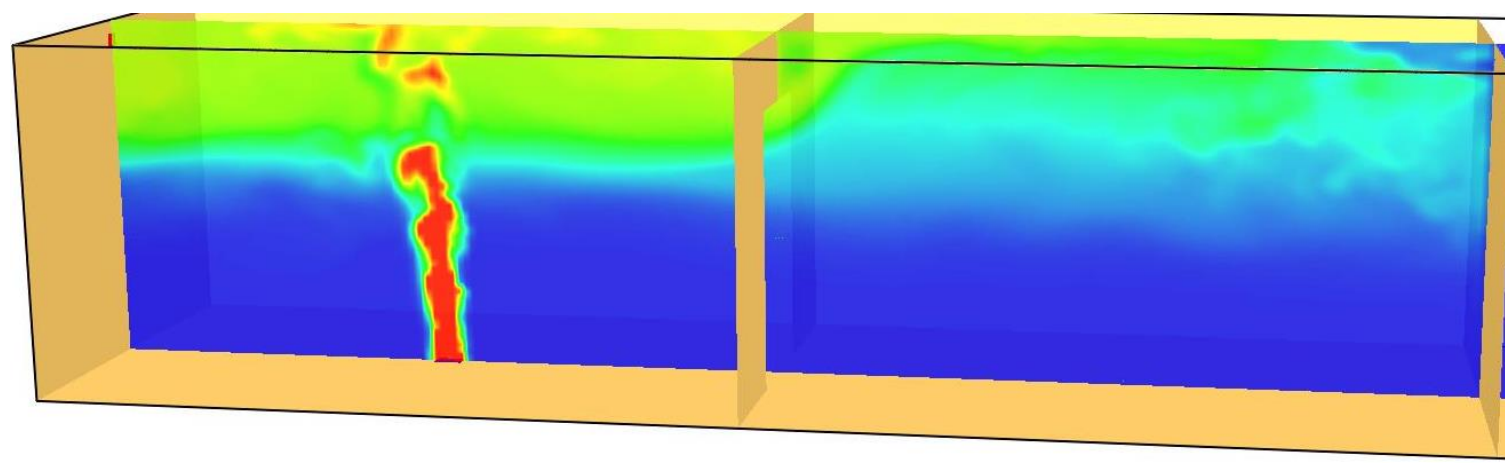
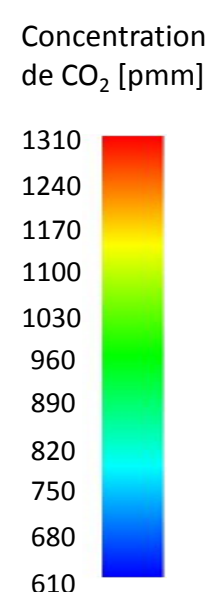


Figure 2 : Concentration de CO₂ à t=34 minutes d'occupation de la pièce de service.
occupant : q_{CO2}=29 g/h, q_{H2O}=55 g/h; ventilation : Q_v = 15 m³/h



Le logiciel MATHIS (CSTB) : modèle nodal

- Assimile chaque pièce d'un bâtiment à un nœud. Les grandeurs physiques y sont uniformes
- Calcule la concentration moyenne de H₂O et CO₂ dans les deux pièces à chaque pas de temps

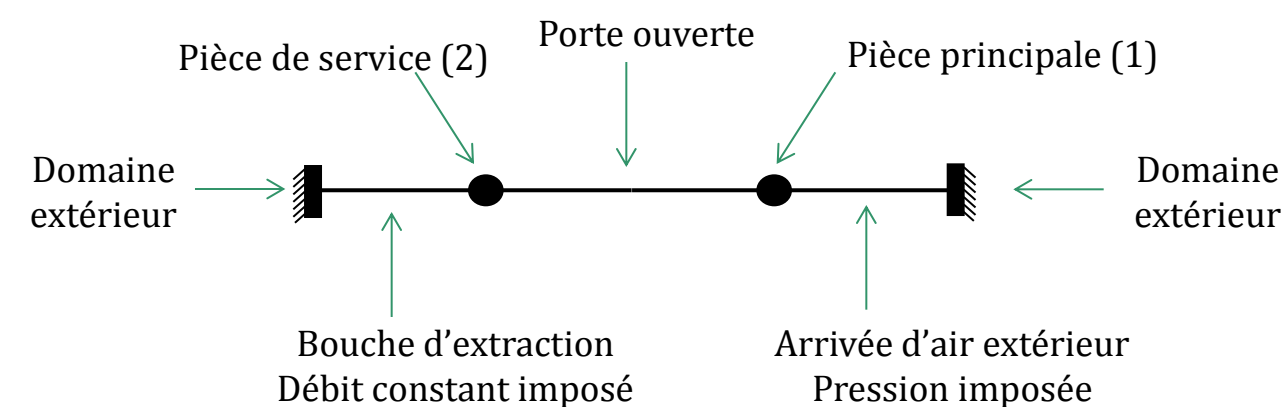


Figure 3 : Schématisation du modèle nodal

Code de calcul Mathis

Modèle d'ouverture verticale

L'hydrostatique des fluides dans les deux pièces (1 et 2) donne $\begin{cases} P_1 = P_{1,sol} - \rho_1 g z \\ P_2 = P_{2,sol} - \rho_2 g z \end{cases}$
Les masses volumiques influencent le gradient de pression et donc le débit, qui peut s'inverser pour une certaine hauteur dite neutre notée $Z_N = \frac{P_{1,sol} - P_{2,sol}}{g(\rho_1 - \rho_2)}$

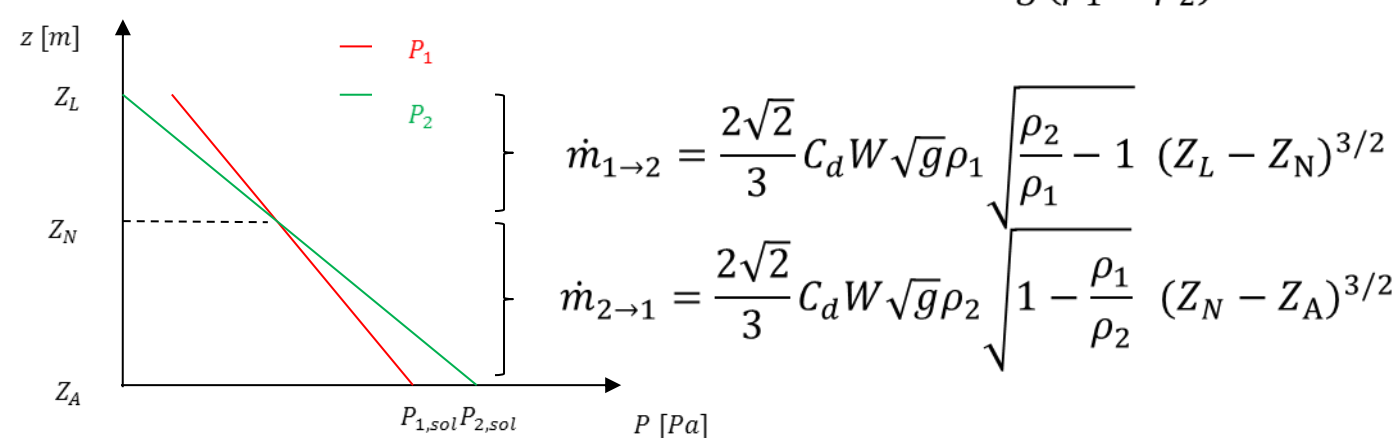


Figure 4 : Influence des masses volumiques sur le débit d'une ouverture verticale

Il est alors nécessaire de calculer les masses volumiques de manière précise et de prendre en compte tous les paramètres qui les influencent.

Termes ajoutés si Cp et Cv sont fonctions des concentrations

$\rho = \frac{P}{T(C_p - C_v)}$ où $C_p(T, Y_k)$ et $C_v(T, Y_k)$ avec Y_k les fractions massiques d'espèces.

Donc ρ dépend des Y_k et la prise en compte de cette dépendance ajoute des termes (en rouge) aux équations résolues par MATHIS :

$$\frac{dP}{dt} = \left(\frac{C_p - C_v}{C_v} \right) \frac{1}{V} \dot{Q} + \rho T \sum_k \left(C_{pk} - \frac{C_p}{C_v} C_{vk} \right) \frac{dY_k}{dt}$$

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{T \dot{m}}{\rho V} + \frac{1}{\rho C_v V} \dot{Q} - \frac{T}{C_v} \sum_k C_{vk} \frac{dY_k}{dt}$$

$$\frac{dY_k}{dt} = \frac{1}{\rho V} (\dot{m}_k - Y_k \dot{m})$$

\dot{Q} : flux net de chaleur (W)
 \dot{m} : flux net de masse (kg/s)
 \dot{m}_k : flux net de l'espèce k (kg/s)

Résultats

Si MATHIS ne prend pas en compte l'influence de la concentration des espèces sur la masse volumique, en vertu du modèle d'ouverture verticale présenté ci-contre, le phénomène de retour de CO₂ de la pièce de service vers la pièce principale n'est pas reproduit.

Ainsi, la concentration reste constante dans la pièce principale et vaut 607 ppmm, concentration de l'air extérieur.

Les différences sont donc très importantes entre MATHIS et FDS, qui lui restitue le retour de CO₂.

Si MATHIS prend en compte que la masse volumique est fonction de la concentration des espèces, alors l'outil reproduit les retours de CO₂ de la pièce de service vers la pièce principale.

La concentration de CO₂ augmente donc dans la pièce principale et est moins importante dans la pièce de service que précédemment.

L'écart au bout d'une heure entre les deux modèles diminue : de 250 ppmm à 80 ppmm dans la pièce de service, et de 200 ppmm à 20 ppmm dans la pièce principale.

L'écart subsistant entre les deux modèles provient de la stratification du mélange qui n'est pas pris en compte dans le modèle nodal.

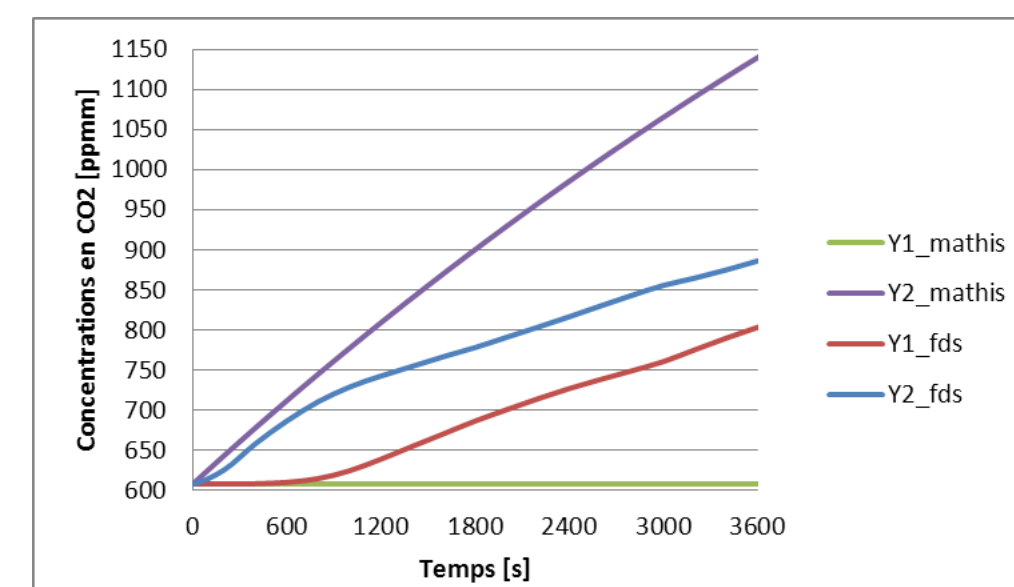


Figure 5 : Comparaison des concentrations moyennes, occupant dans la pièce de service, Cp et Cv constants

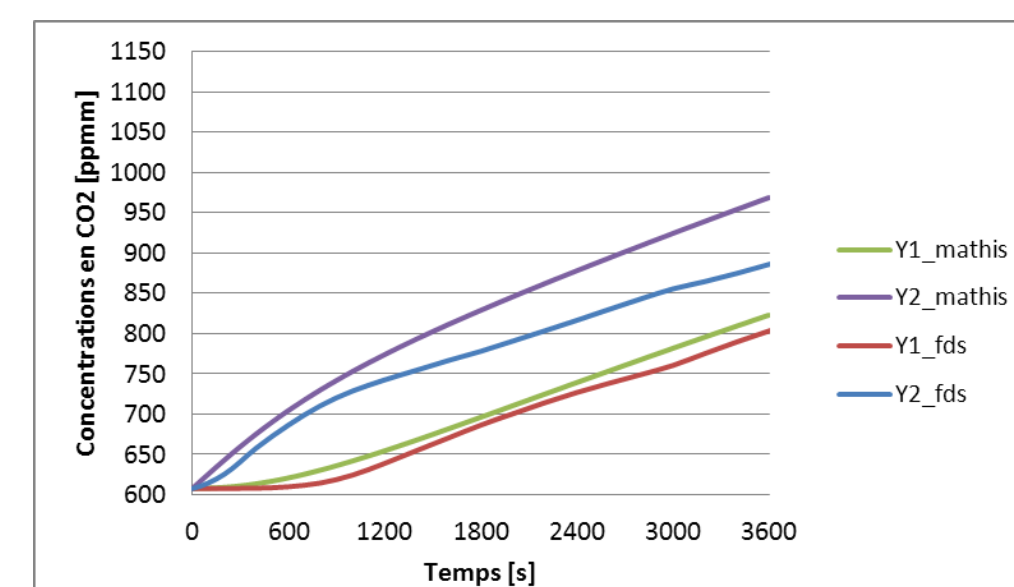


Figure 6 : Comparaison des concentrations moyennes, occupant dans la pièce de service, Cp et Cv fonction des Yk