

# Ventilation salles de classe

Ventilation par l'ouvertures manuelle  
des fenêtres

Modélisation et évaluation du  
comportement d'un système de ventilation  
et de son influence sur la qualité de l'air  
dans les salles de classe

La salle de classe peut accueillir jusqu'à 24 élèves + le professeur.  
Dans les calculs, nous avons considéré l'occupation maximale de la salle, à savoir, 25 personnes.

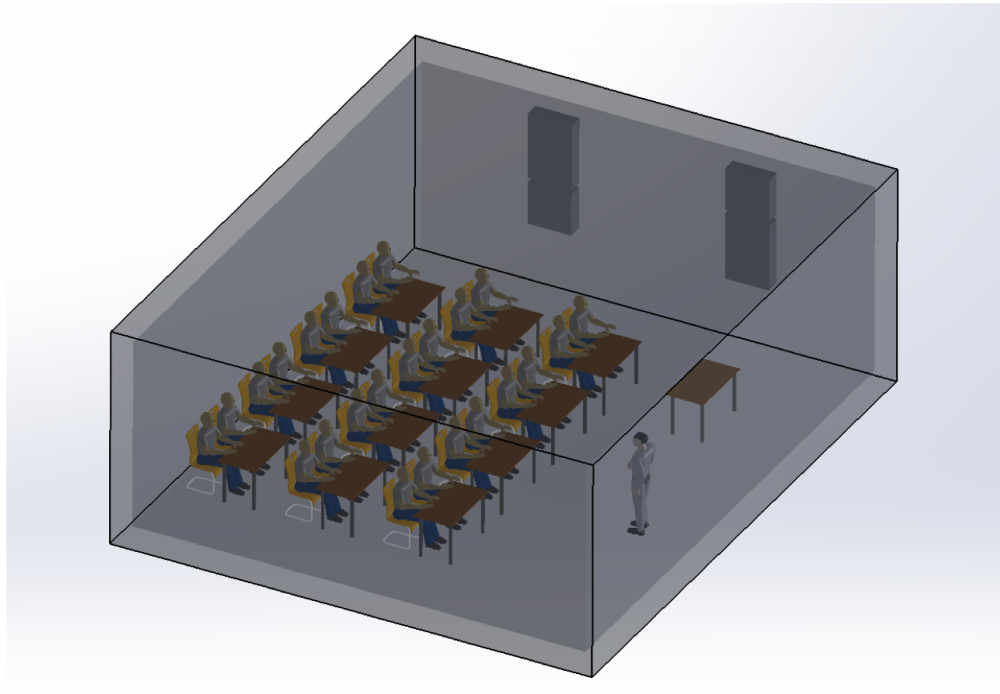


Figure 1 : Vue en 3D de la salle de classe modélisée

La concentration en ppm est définie comme le nombre de particules par million [mg/kg].

Afin de calculer la fraction massique correspondant à une concentration de X ppm il faut diviser la fraction massique

(w<sub>CO2</sub>) par le rapport  $\frac{\text{Masse molaire air}}{\text{Masse molaire CO}_2}$

$$\circ \quad w_{\text{CO}_2} = \frac{1000 \text{ ppm}}{\frac{M(\text{air})}{M(\text{CO}_2)}} = \frac{1000 * 10^{-6}}{\frac{28.96}{44.01}} = \frac{1000 * 10^{-6}}{0.65} = 1.5384 \cdot 10^{-3} = \mathbf{0.001538} \left[ \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kg air}} \right]$$

Donc, la valeur limite de la fraction massique correspondante à **1000 ppm** est **0.001538**  $\left[ \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kg air}} \right]$

La fraction massique correspondant à **400 ppm** est : 0.0006153  $\left[ \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kg air}} \right]$

La fraction massique correspondant à **1400 ppm** est : 0.0021538  $\left[ \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kg air}} \right]$

A noter que les plans de visualisation des résultats sont au niveau de la tête des étudiants assis (à 1.20 m du sol)

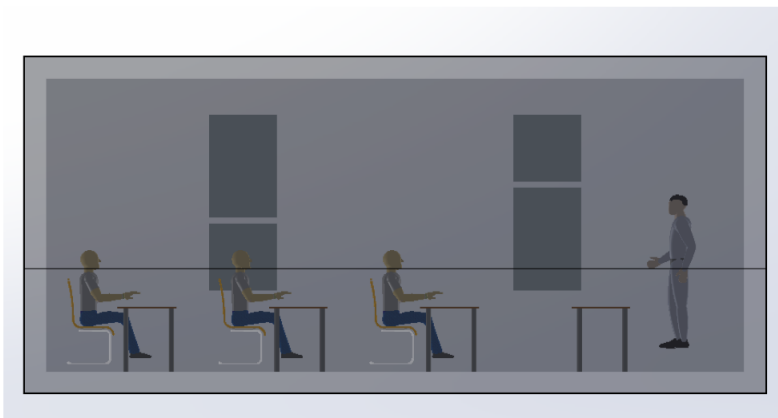


Figure 1 : niveau considéré des plans de visualisation des résultats

## 1.1. Scénario 1 - Modélisation du local avec fenêtres fermées

⇒ Les étudiants entrent dans la salle de cours, les fenêtres sont fermées, la ventilation simple flux est activée.

- But

Calculer et visualiser la concentration de  $\text{CO}_2$  dans l'air à différents moments de l'occupation de la classe

- Conditions de bord

Fenêtres et porte fermées

Simple flux activé : débit entrant : 90 m<sup>3</sup>/h, débit sortant : 90 m<sup>3</sup>/h

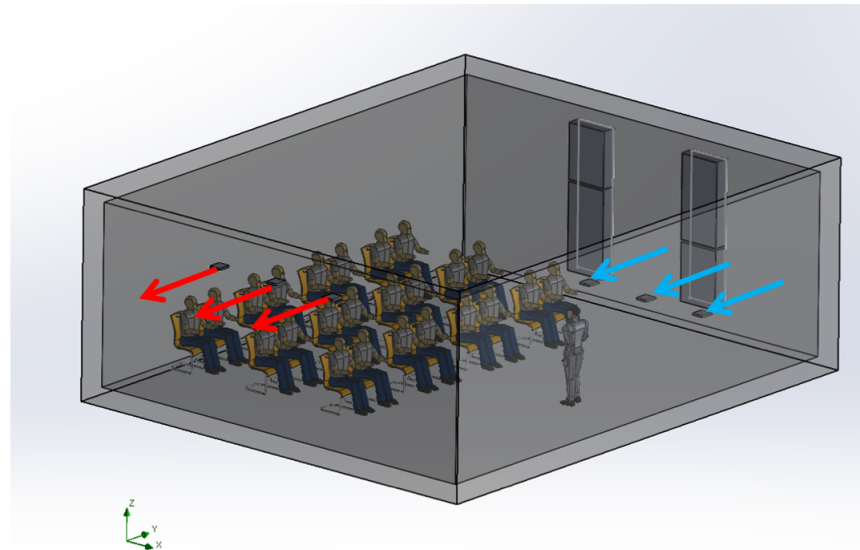


Figure 1 : Configuration salle, entrées/sorties d'air simple flux

L'échelle de visualisation des résultats est :

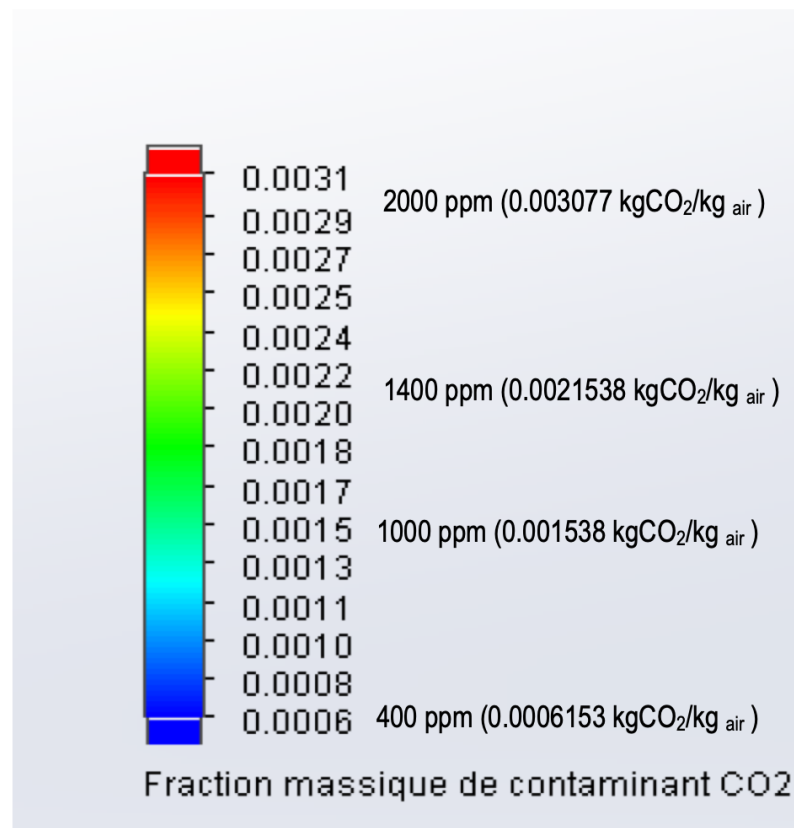


Figure 1 : Echelle de visualisation des résultats (min=400 ppm, max=1400 ppm)

t= 10 min

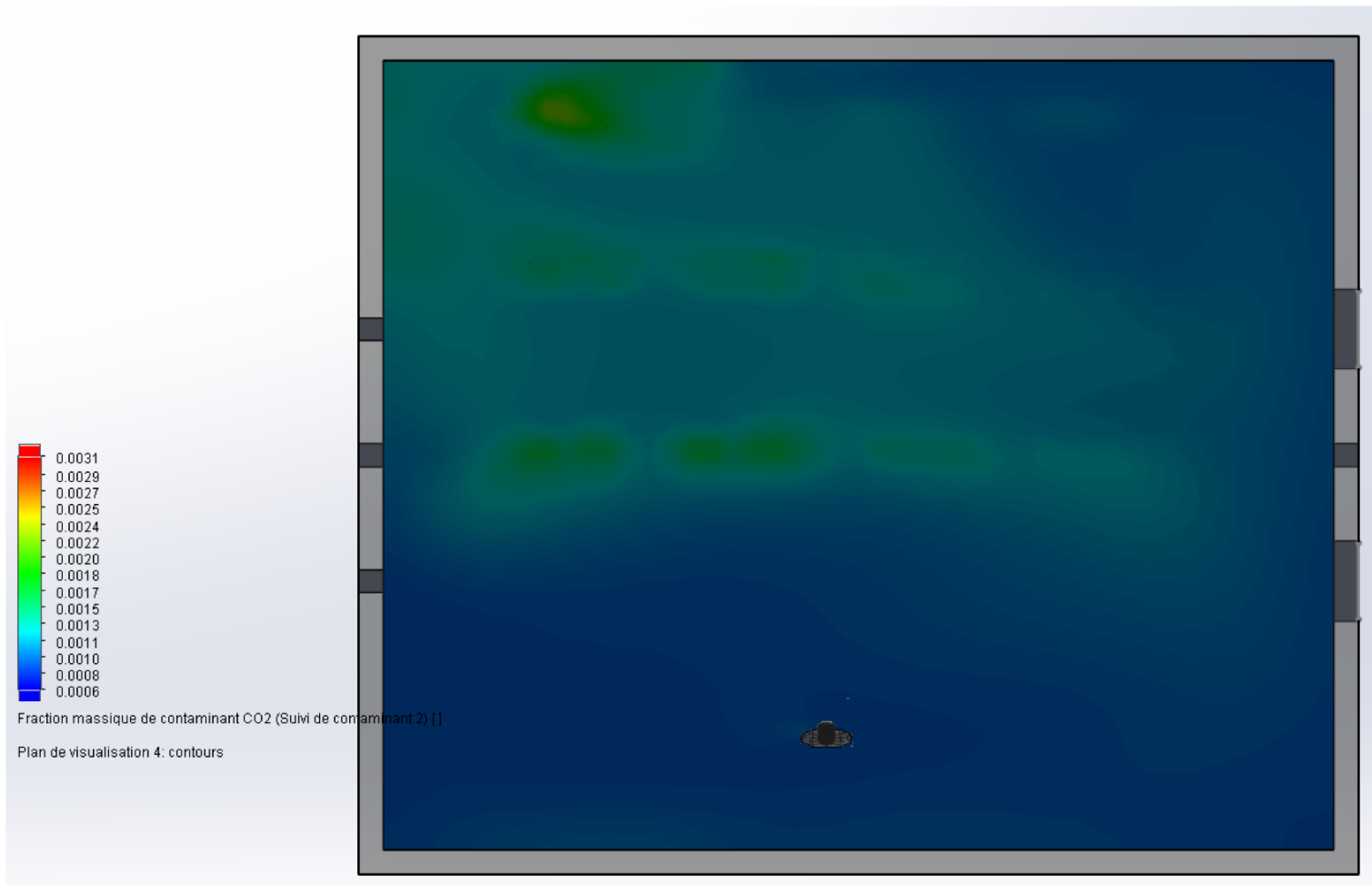


Figure 1 : plan de visualisation, concentration ppm à t= 10 min

t= 20 min

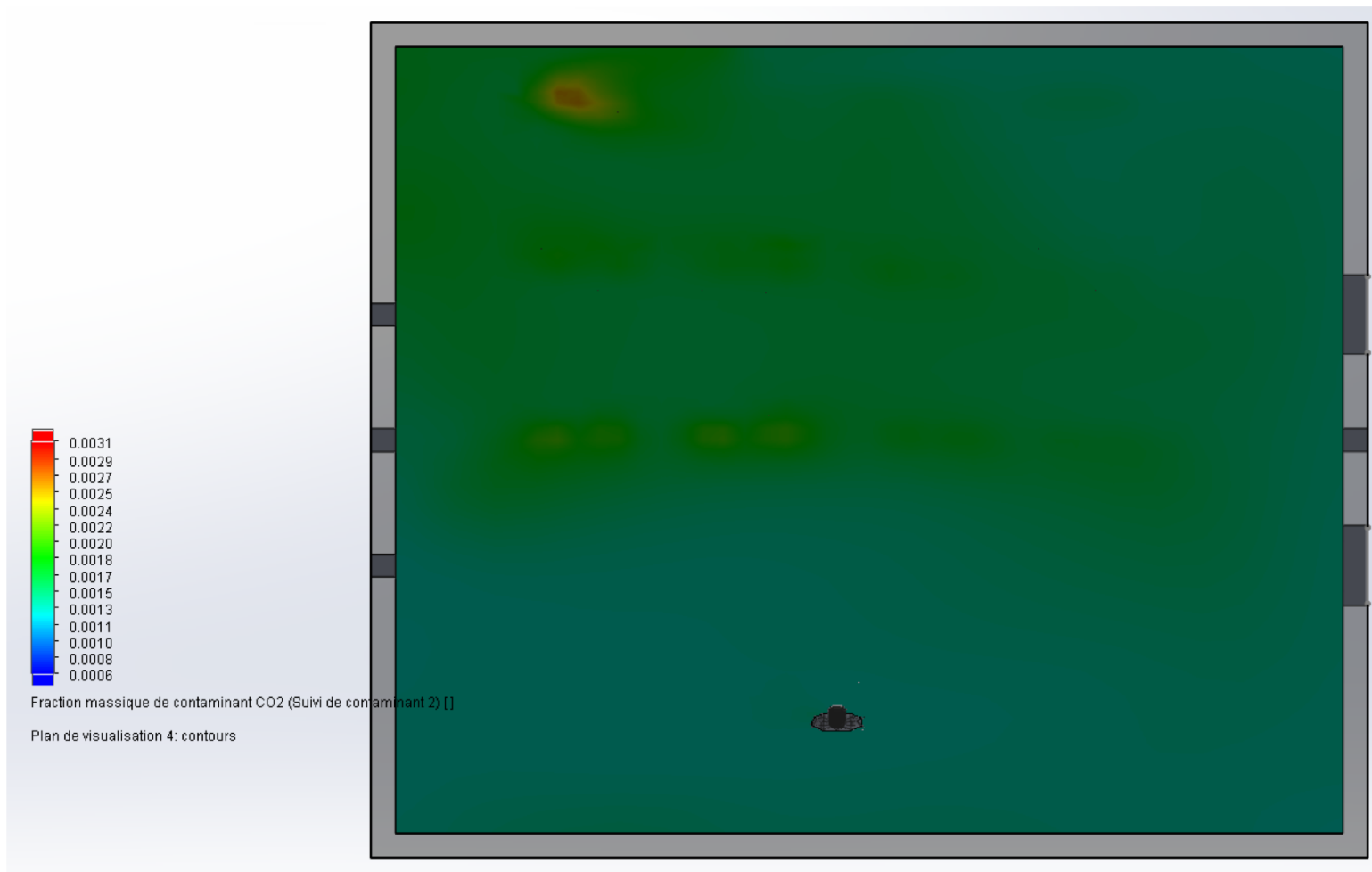


Figure 1 : plan de visualisation, concentration ppm à t= 20 min



t= 30 min

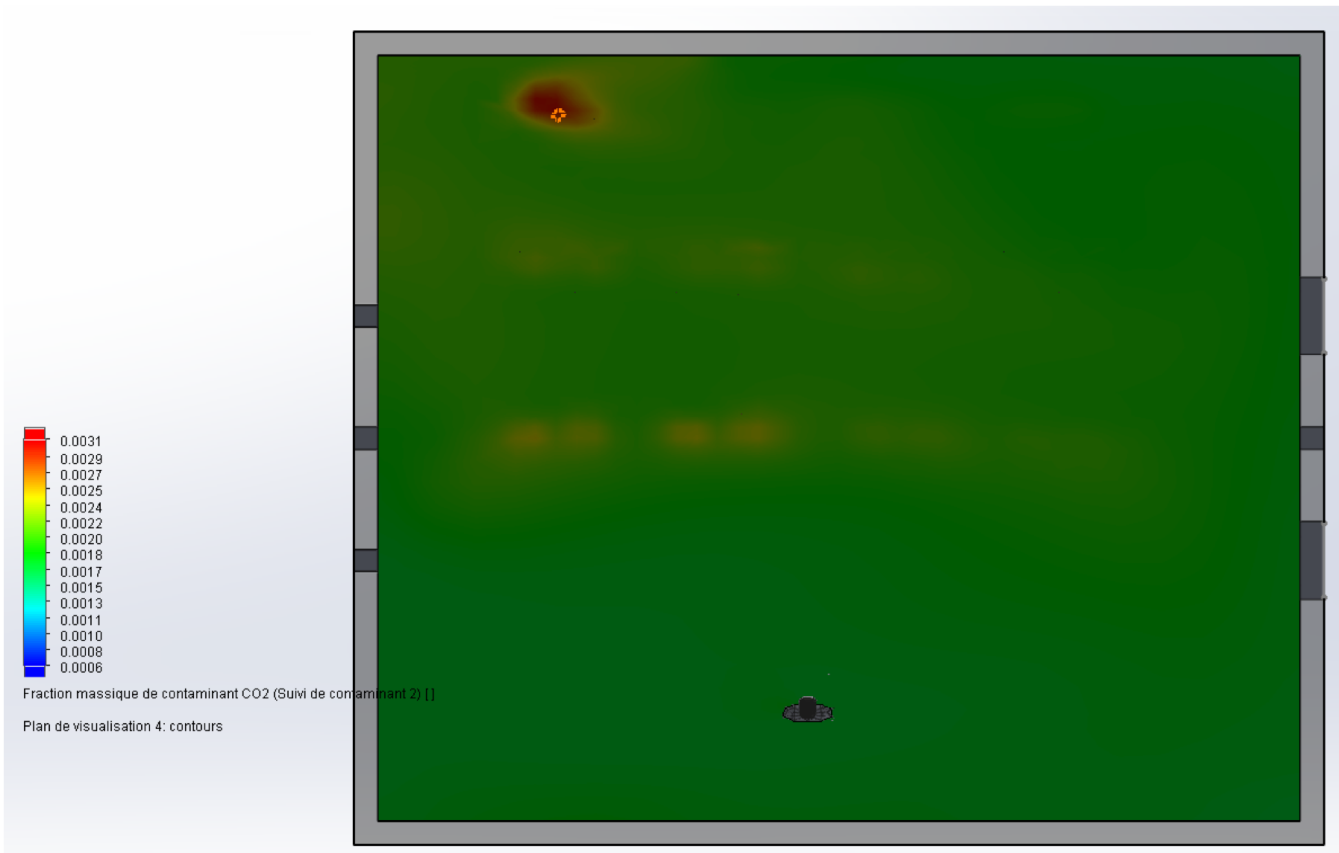


Figure 1 : plan de visualisation, concentration ppm à t=30 min

A t=30 min, la concentration de CO2 dans l'air est de 1000 ppm

t= 35 min

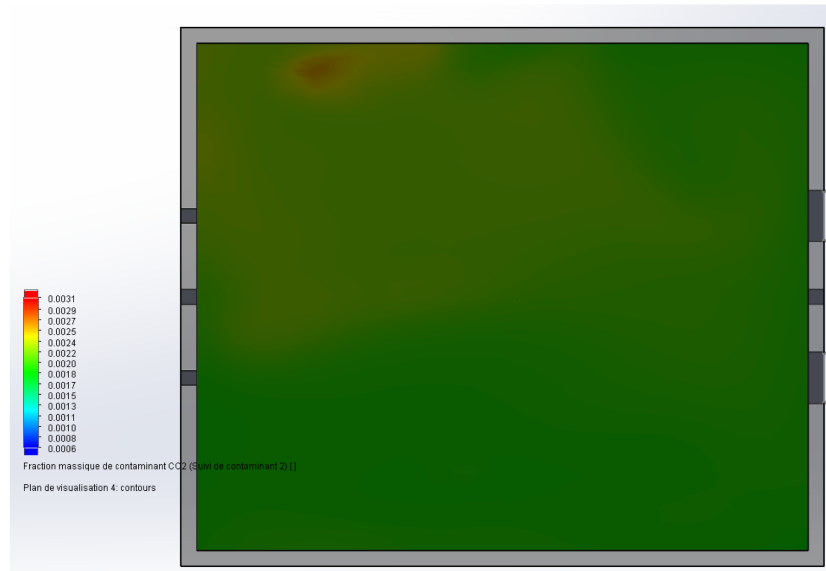


Figure 1 : plan de visualisation, concentration ppm à t=35 min0.

t= 40 min

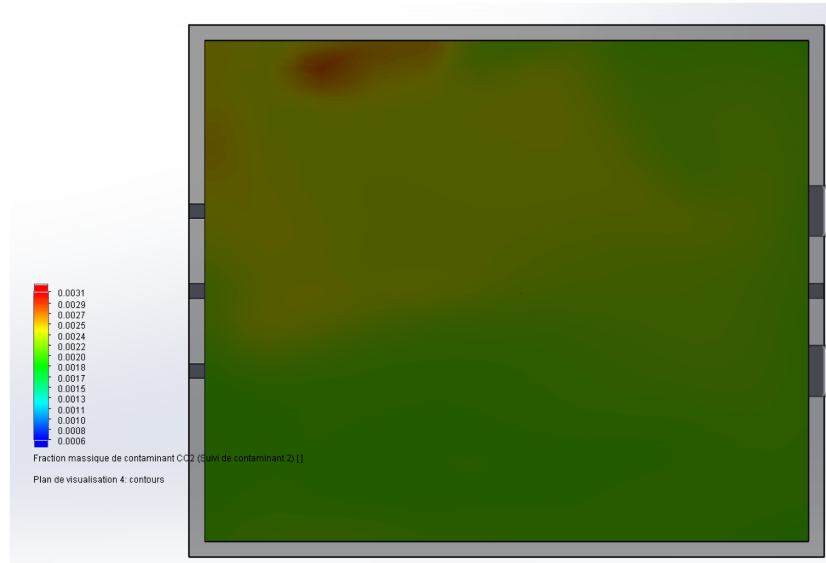


Figure 2 : plan de visualisation, concentration ppm à t=40 min

Au bout de 40 min, la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'air de la salle de cours atteint les **1400 ppm**.

t= 45 min

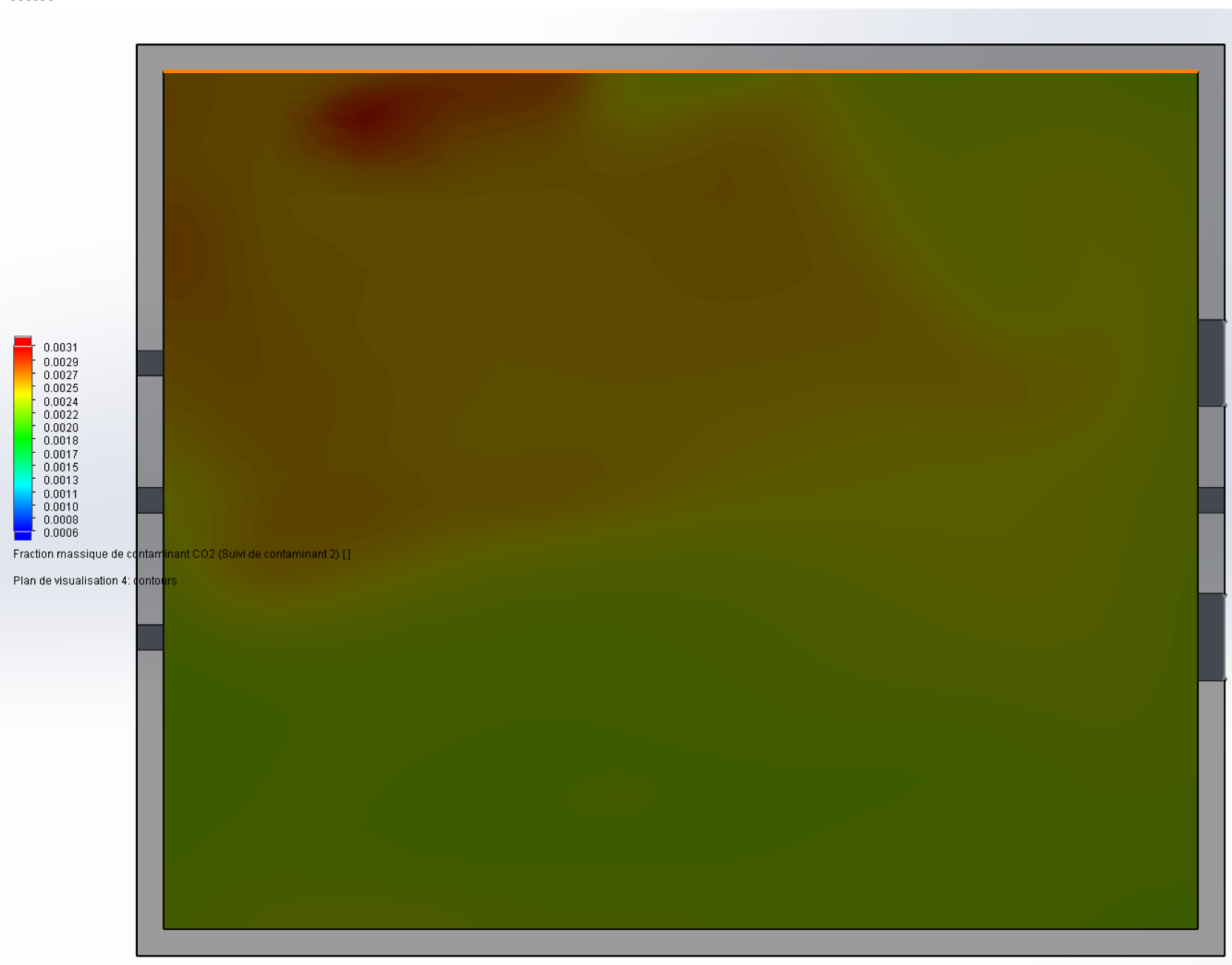


Figure 1 : Plan de visualisation, concentration ppm à t=45 min

La concentration de CO<sub>2</sub> dans l'air atteint et dépasse les 1500 ppm à t=45min

### 1.1. Scénario 2 : Modélisation du local avec ouverture des fenêtres

⇒ A  $t = 45$  minutes, le professeur ouvre les fenêtres.

La concentration initiale de  $\text{CO}_2$  dans l'air considérée est de **1400 ppm** (valeur à 40 minutes).

La ventilation simple flux reste activée

- But

Calculer la durée d'ouverture permettant de faire descendre la concentration de  $\text{CO}_2$  dans l'air à la valeur initiale de **400 ppm**

- Conditions de bord

Entrées d'air

	Dimensions [mm]
Ouverture 1	810/2770
Ouverture 2	810/2770

Tableau 1 : Dimension des ouvertures

La surface des ouvertures est considérée de telle manière que la moitié de ces ouvertures sont considérées comme des entrées d'air et l'autre moitié comme des ouvertures qui permettraient de faire entrer/sortir l'air.

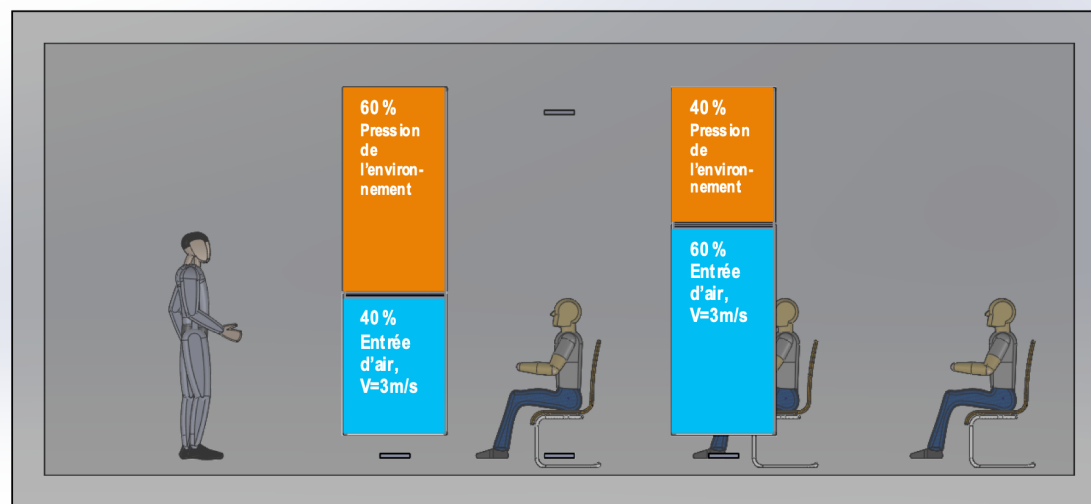


Figure 1 : condition de bord des ouvertures

- **Résultats**

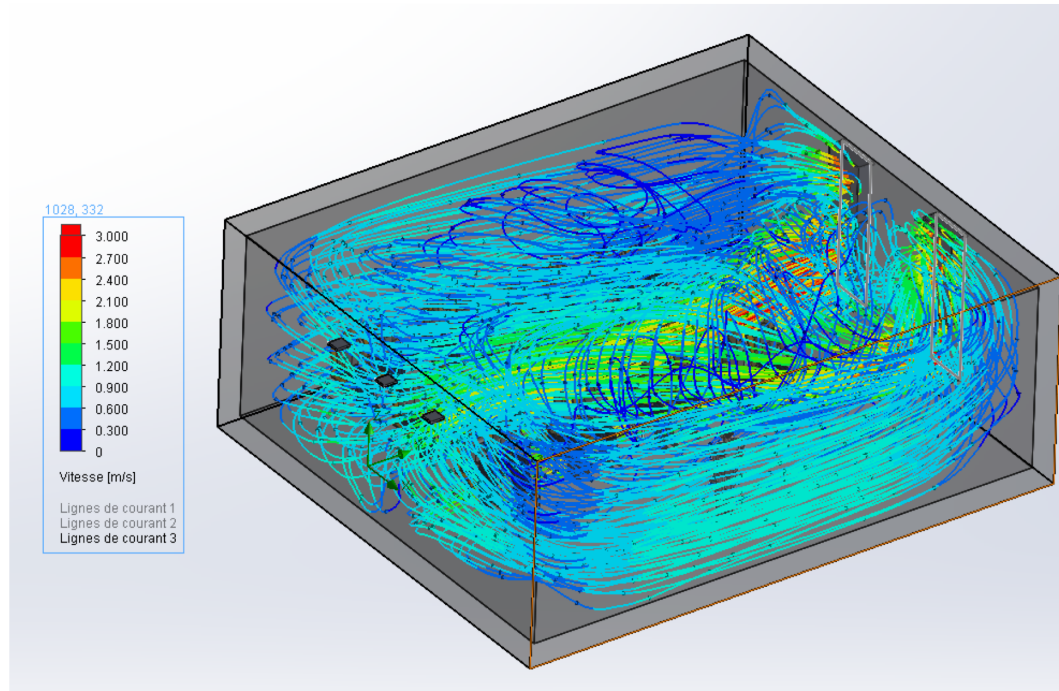


Figure 1 : Les lignes de courant d'air – Vitesse de l'air dans le local

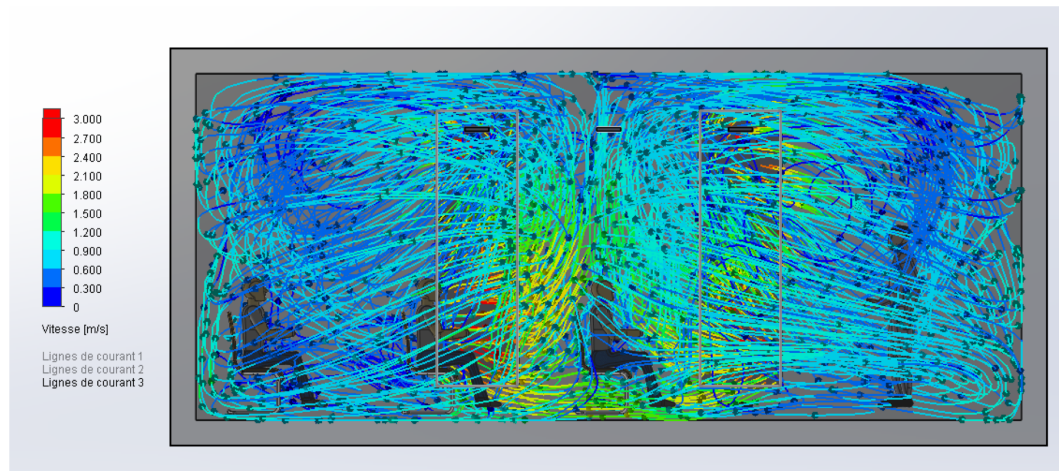


Figure 2 : lignes de courant – Vue de gauche

Concentration massique en fonction du temps

Figure 1 : plan de visualisation, concentration ppm à t=15s

t= 30 s

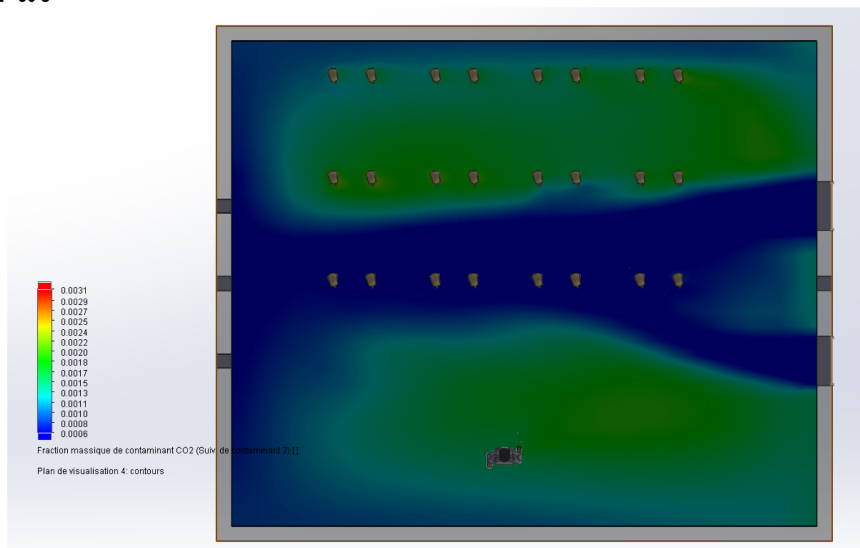


Figure 18 : plan de visualisation, concentration ppm à t=30 s

t= 60 s

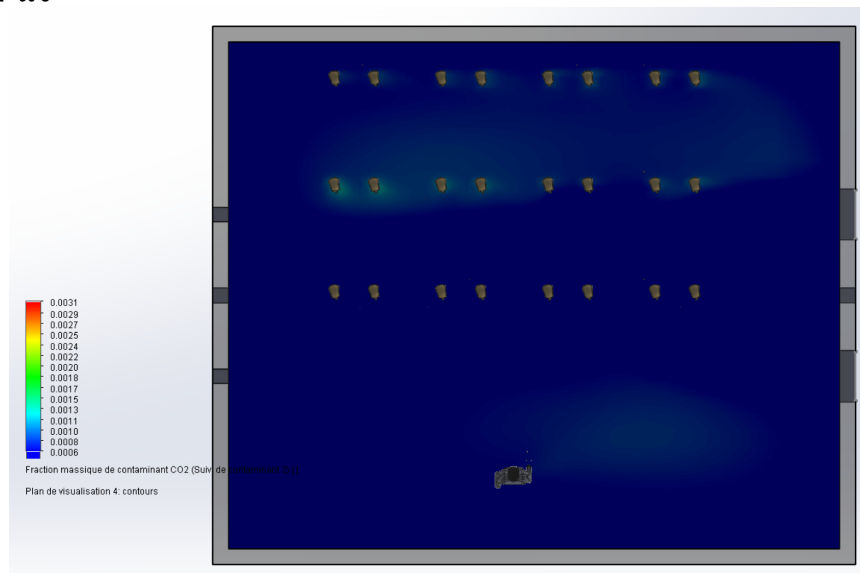


Figure 2 : plan de visualisation, concentration ppm à t=60 s

t= 75 s

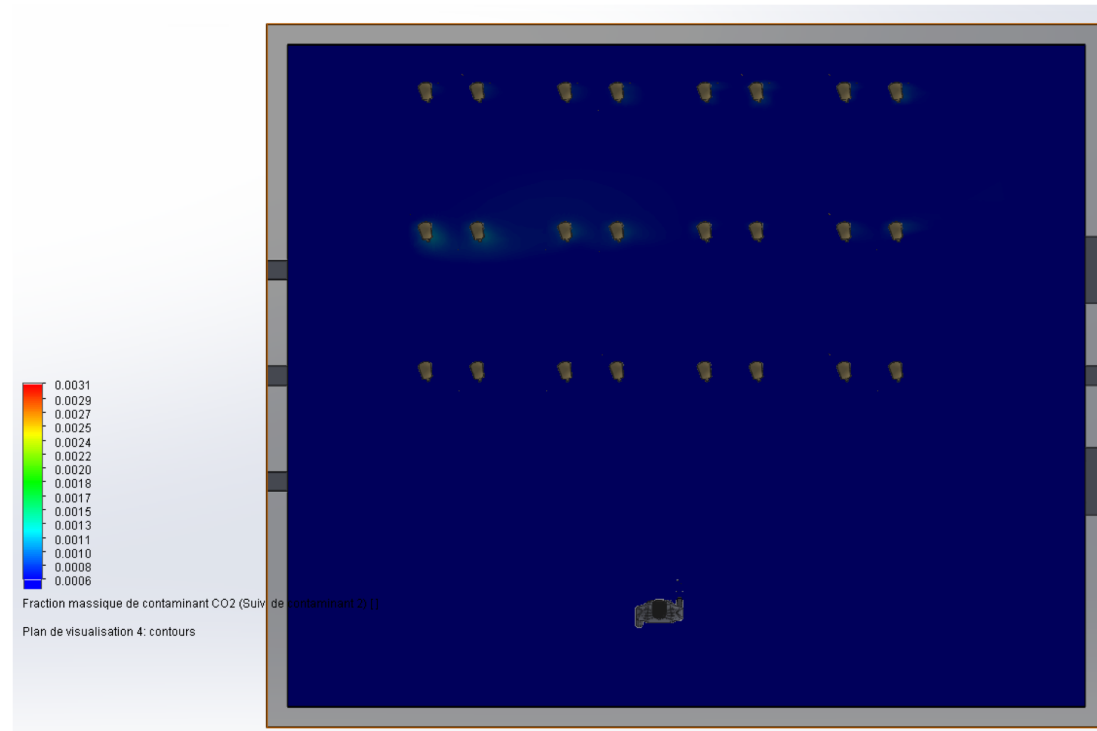


Figure 1 : plan de visualisation, concentration ppm à t=75 s

⇒ Grâce à l'ouverture des fenêtres pendant 1 min 25 s, le niveau de concentration du CO<sub>2</sub> initial baisse en fonction du temps. A partir de t= 1 min 25s, la concentration du CO<sub>2</sub> dans l'air revient à son état initial et est d'environ 400 ppm.

L'ouverture manuelle des fenêtres à **t= 45 minutes** pendant **1 minute 25 s** permet d'assurer une qualité d'air correcte. On aura une bonne qualité d'air durant les 30 premières minutes du cours où la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'air est en dessous des 1000 ppm, et une qualité atteignant 1400 ppm à 40 minutes.

A partir de cette constatation, une stratégie de renouvellement d'air par ouverture des fenêtres d'une durée de 1 minute et 25 secondes toutes les 45 minutes de cours est envisageable. Il est nécessaire d'évaluer l'impact d'ouverture des fenêtres sur le confort thermique et la consommation énergétique.

### Débit thermiquement actif

- Débit de dimensionnement par salle de classe

$$Q_{\text{par salle de classe}} = 3 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] * 2.24 [\text{m}^2] * 1.25 \left[ \frac{\text{min}}{\text{h}} \right] * 60 \left[ \frac{\text{s}}{\text{min}} \right] = 504 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

- Débit de dimensionnement par m<sup>2</sup> de SRE

SRE d'une salle de classe : 83 m<sup>2</sup>

$$\Rightarrow Q_{\text{par m}^2} = \frac{504}{83} = 6.07 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} \right]$$

- Quantité d'air de dimensionnement

La surface de référence énergétique des salles de classes ventilées naturellement : 2432 [m<sup>2</sup>]

$$\Rightarrow Q_{\text{dim}} = 2432 * 6.07 = 14'768 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

- Débit thermiquement actif

Le nombre d'heure de pleine charge de ventilation

$$\Rightarrow h_{\text{pleine charge}} = \frac{261}{2} \left[ \frac{\text{jr}}{\text{an}} \right] * 11 \left[ \frac{\text{h}}{\text{jr}} \right] * 1.25 \left[ \frac{\text{min}}{\text{h}} \right] * \frac{1}{60} \left[ \frac{\text{h}}{\text{min}} \right] = 29.91 \left[ \frac{\text{h}}{\text{an}} \right]$$

$$\Rightarrow Q_{\text{th,actif}} = \frac{14'768 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] * 29.91 [\text{h}]}{8760 [\text{h}]} = 50.45 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

- Débit d'air neuf thermiquement actif par m<sup>2</sup> de SRE relatif à la ventilation des salles de classe

Le calcul est fait avec le formulaire justificatif énergétique et la preuve de ventilation Minergie. Ces deux formulaires sont annexés à ce rapport.

$$\Rightarrow Q_{\text{th,actif,nat}} = 0.52 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] / \text{m}^2$$



### 1.1. Vérification du débit d'air par personne dans la salle de classe

L'ouverture des fenêtres toutes les 45 min de période de cours garantit un débit d'air neuf de 26.88 [m<sup>3</sup>/h] par personne :

$$Q_{ventil.} = \frac{3 \left[ \frac{m}{s} \right] * 2.24 [m^2] * 1.25 * 60 [s]}{0.75 [h] * 25} = 26.88 \left[ \frac{m^3}{h} \right] \text{ par personne}$$

Ce débit calculé est supérieur au débit exigé par la norme SIA 2024, à savoir 25 [m<sup>3</sup>/h] par personne.

## Evolution de la teneur en CO<sub>2</sub> en fonctions de l'occupation de la classe

Horaires :

Entrée en classe : 8h00  
Pause : 8h45 les élèves restent dans la classe  
Reprise du cours : 8h50  
Fin du cours : 9h35  
Récréation : 10 minutes les élèves quittent la salle  
Reprise du cours : 9h45  
Pause : 10h35 les élèves restent dans la classe  
Reprise du cours : 10h40  
Fin du cours : 11h25 les élèves quittent la salle  
Pause de midi

Constat :

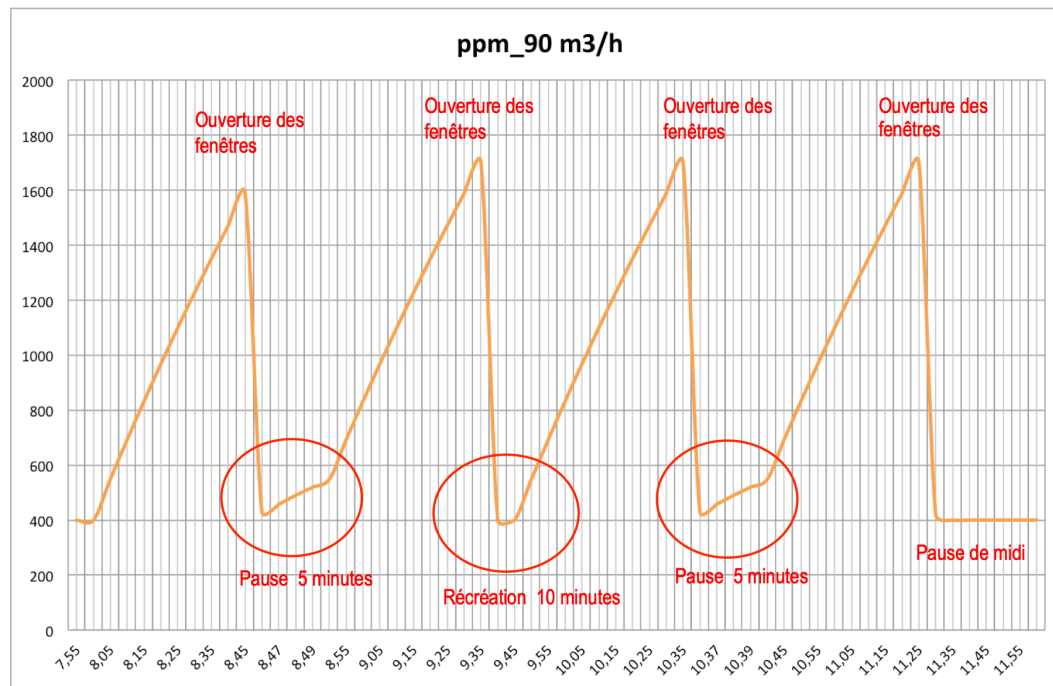
La teneur en CO<sub>2</sub> est de 1600 ppm après 45 minutes (1470 ppm à 40 minutes)  
Ouverture obligatoire des fenêtres à l'intercours pendant une à deux minutes (1 minute 25 sec. selon la simulation) pour revenir à 400 ppm  
Du fait que les élèves restent dans la classe à l'intercours, la teneur en CO<sub>2</sub> atteint 1700 ppm (1590 ppm à 9h30, à 10h30 et 10h20)

### 1) Ventilation simple flux

Entrées d'air par 3 réglettes de 30 m<sup>3</sup>/h (débit standard)

Débit d'air neuf : 90 m<sup>3</sup>/h

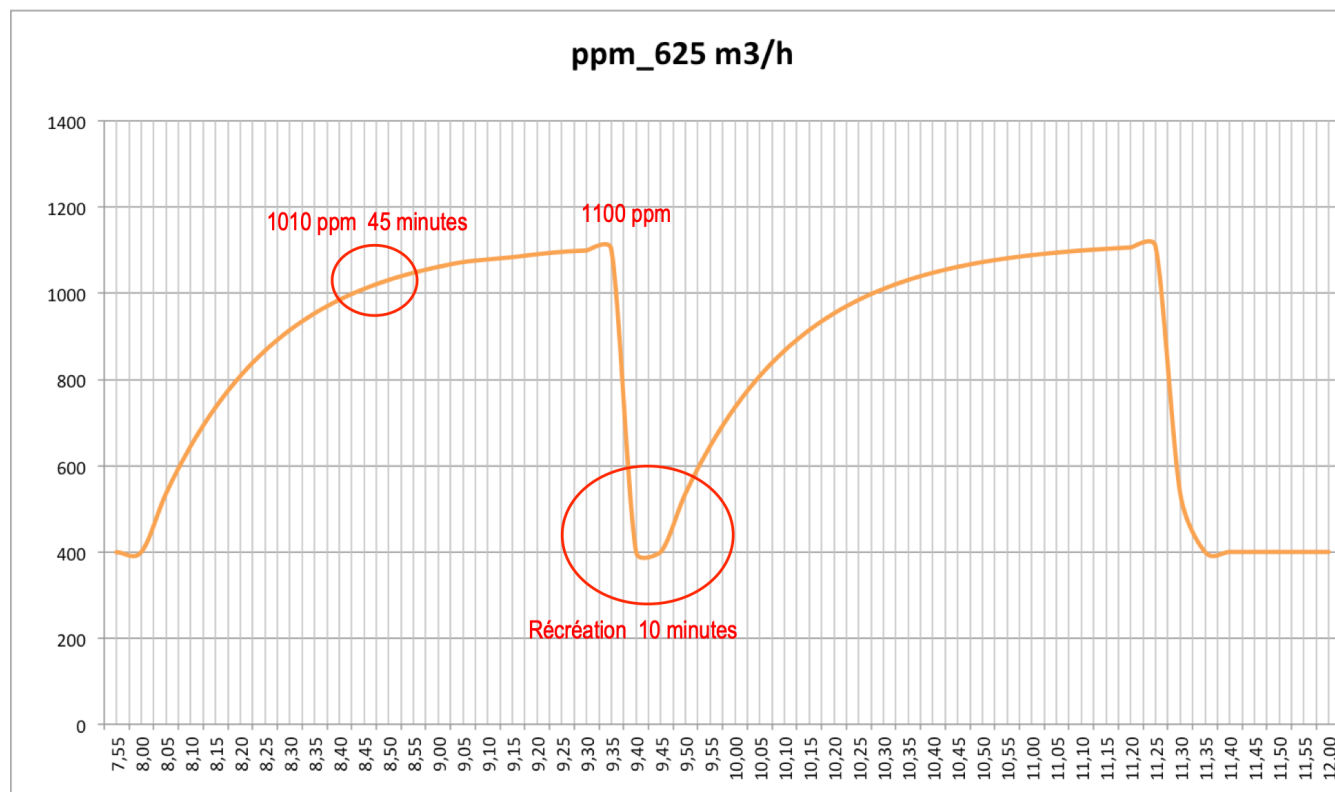
Evolution de la qualité de l'air avec ouverture des fenêtres



## 2) Ventilation double flux pour des températures supérieures à 0 °C extérieures

Débit d'air neuf : 625 m<sup>3</sup>/h

Evolution de la qualité de l'air sans ouverture des fenêtres



Constat :

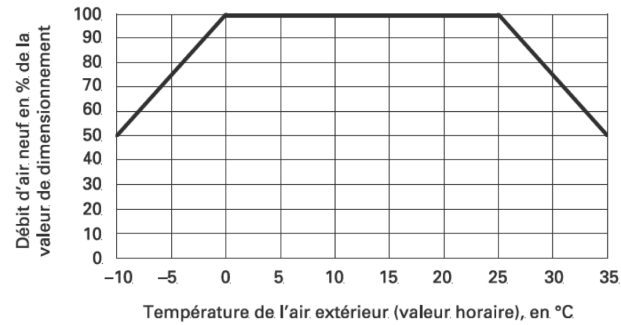
teneur en CO<sub>2</sub> est de 1010 ppm après 45 minutes

Du fait que les élèves restent dans la classe à l'intercours (8h35) , la teneur en CO<sub>2</sub> atteint 1100 ppm à 9 h 35 minutes.

A la pose , du fait que les élèves quittent la classe, la teneur en CO<sub>2</sub> revient à 400 ppm qui est la teneur présente dans l'air extérieur qui est introduit après la récupération de chaleur et chauffage de celle-ci.

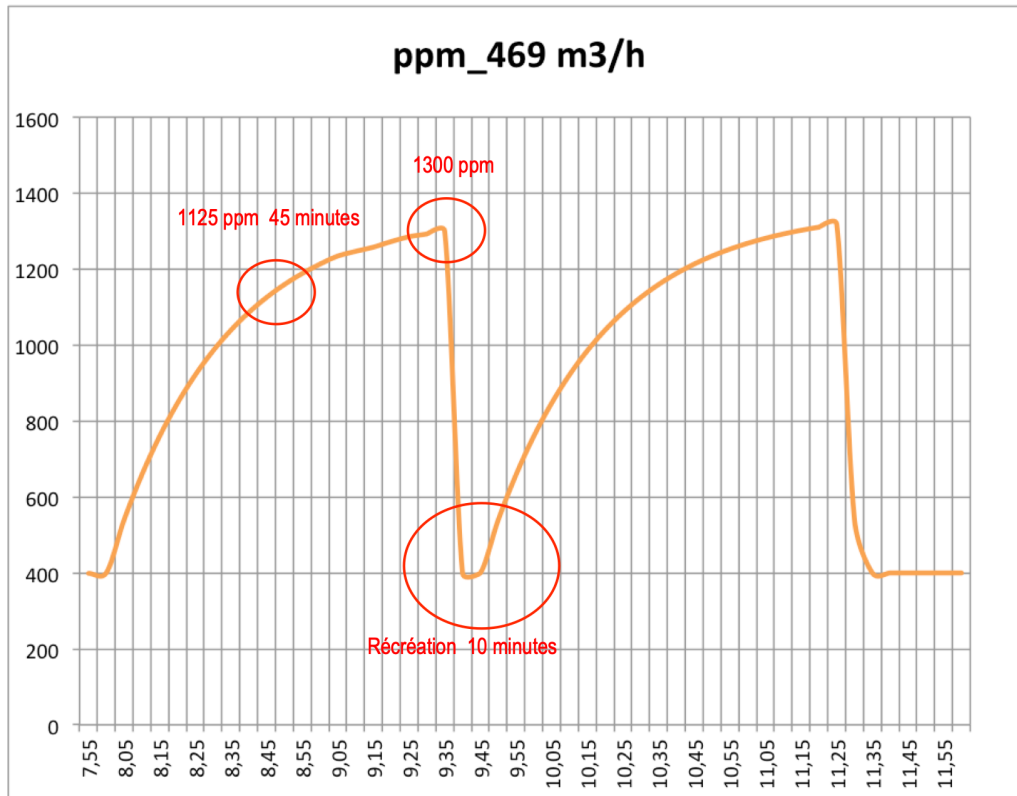
### 3) Ventilation double flux pour des températures supérieures à -5°C extérieures

Réduction du débit d'air selon SIA 382/1 : 75 % du débit d'air nominal



Débit d'air neuf : 469 m<sup>3</sup>/h

Evolution de la qualité de l'air sans ouverture des fenêtres



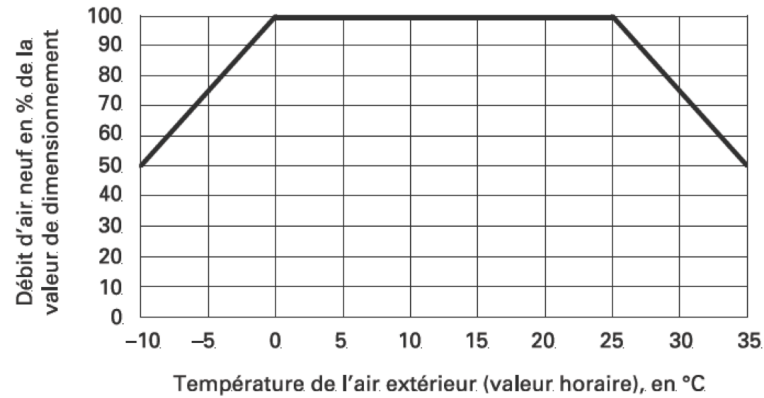
Constat :

Teneur en CO<sub>2</sub> est de 1125 ppm après 45 minutes

Du fait que les élèves restent dans la classe à l'intercours (8h45) , la teneur en CO<sub>2</sub> atteint 1300 à 9 h 35 minutes.

#### 4) Ventilation double flux pour des températures supérieures à -10°C extérieures

Réduction du débit d'air selon SIA 382/1 : 50 % du débit d'air nominal



Constat :

teneur en CO<sub>2</sub> est de 1275 ppm après 45 minutes

Du fait que les élèves restent dans la classe à l'intercours (9h35), la teneur en CO<sub>2</sub> atteint 1610 ppm à 9 h 35 minutes.

A la pose, du fait que les élèves quittent la classe, la teneur en CO<sub>2</sub> revient à 400 ppm qui est la teneur présente dans l'air extérieur qui est introduit après la récupération de chaleur et chauffage de celle-ci.

Débit d'air neuf : 313 m<sup>3</sup>/h

Evolution de la qualité de l'air sans ouverture des fenêtres

