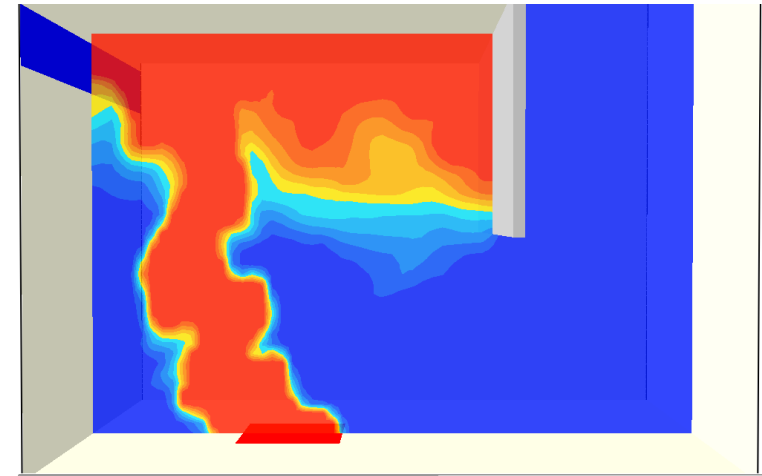
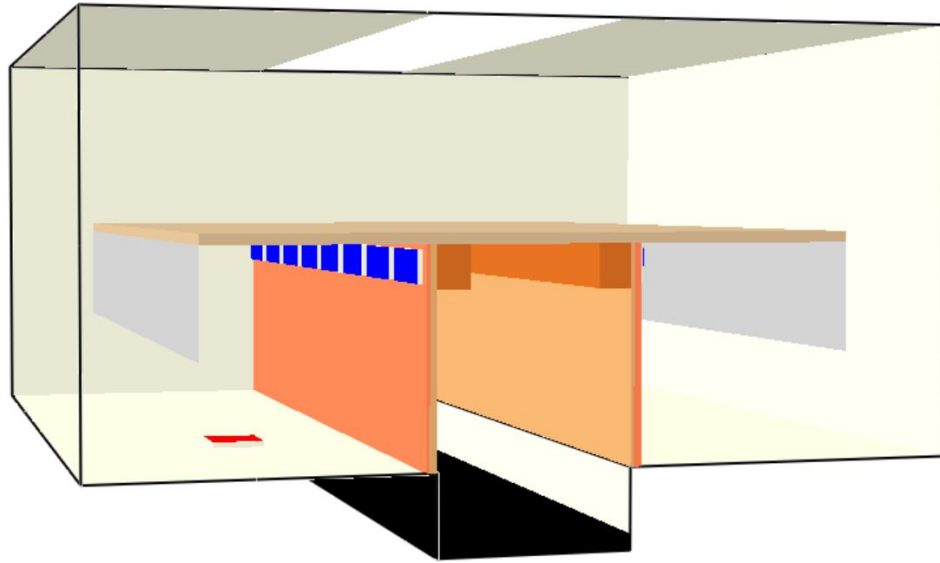


33^{ÈMES} JOURNÉES DU GROUPE DU RÉSOFEUX

DÉSENFUMAGE INNOVANT DES GARES ET DES STATIONS DE MÉTRO

CARACTÉRISATION DE L'EFFICACITÉ D'UN SYSTÈME DE DÉSENFUMAGE POUR UN QUAI DE MÉTRO



DORADO POEITI (1,2) – CARLOTTI PIERRE (1) – VAUQUELIN OLIVIER (2)

(1) ARTELIA 47 avenue de Lugo, 94600 Choisy-le-Roi, FRANCE

(2) Aix-Marseille Université, Laboratoire IUSTI, UMR CNRS 7343, 5 rue Enrico Fermi, 13013 Marseille, FRANCE



Gares et stations de métro : souvent pas pris en compte lors de la phase de design
Un temps très long un système qui satisfait : réglementation, architectes et performant

→ Beaucoup d'aller retours ingénieurs – architectes

Des études sur les tunnels / Des REX sur les gares
Pas la solution miracle mais :

1. Une meilleure compréhension des écoulements de fumée dans des milieux semis clos
2. Déterminer des bonnes pratiques de conception

On se cantonne aux cas avec portes palières intégrales → s'absoudre des conditions limites du tunnel

→ Caractériser quantitativement les performances d'un système de désenfumage

- Feu de puissance prescrite \mathcal{P}_c .
- Evacuation mécanique de débit volumique Q_e .

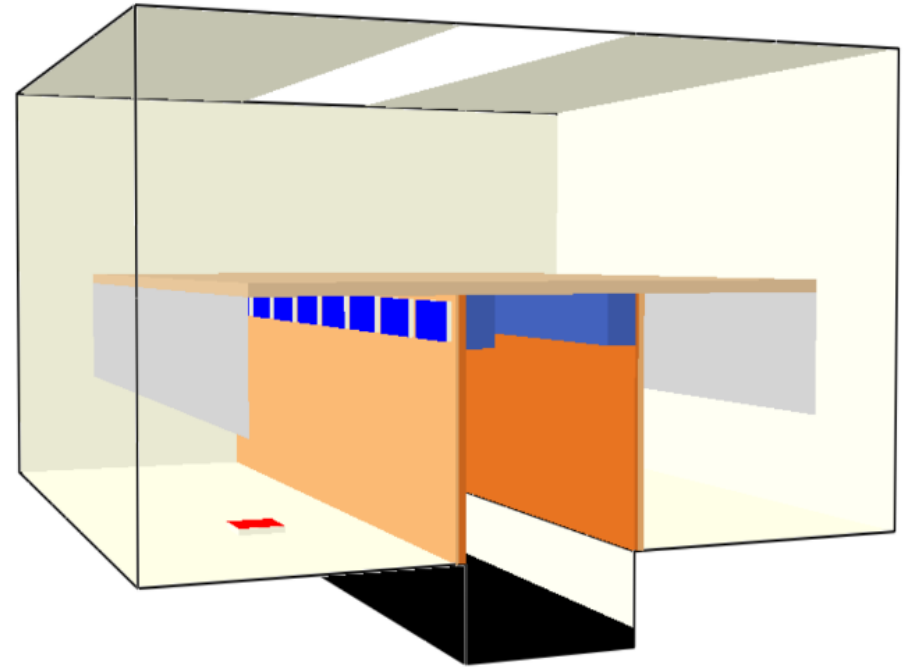
Débit trop faible : la fumée s'échappera par les trémies latérales
→ le système de désenfumage est inefficace

Débit de confinement : débit minimum qui permet que les fumées ne passent pas sous l'écran de cantonnement de hauteur h_c
→ le système est **efficace**

Les deux variables d'intérêt

Comparaison entre plusieurs modèles :

- Modèles simplifiés théoriques (les deux extrêmes) ;
- CFD – LES avec Fire Dynamic Simulator, FDS.



- ❖ Rappels anciens travaux :
 - Modèle simplifié bi-couches ;
 - Simulations quais de différentes longueurs .

- ❖ Etude paramétrique sur modèle réduit :
 - Modèle réacteur bien mélangé – Kawagoe étendu ;
 - Puissance du feu ;
 - Retombée de l'écran de cantonnement ;
 - Position des bouches d'extraction.

- ❖ Phénoménologie des simulations ;

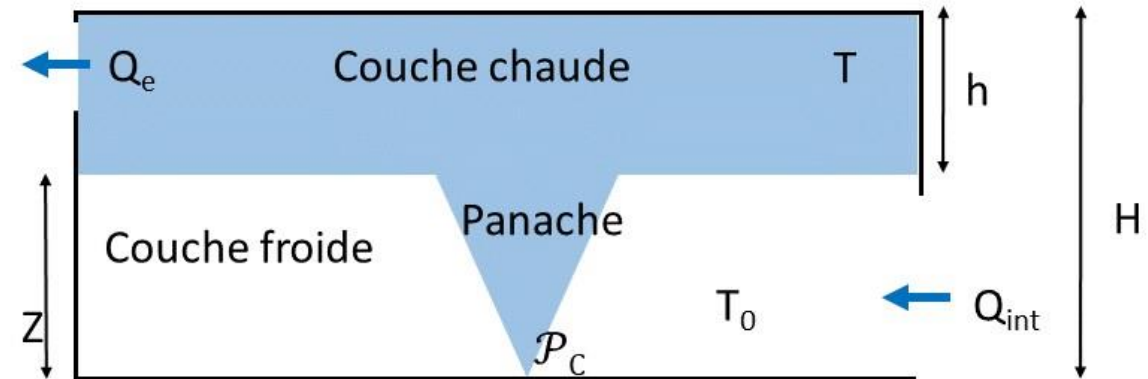
- ❖ Conclusion – Perspectives.

Modèle de type « deux zones et panache » cf. [3, 4]

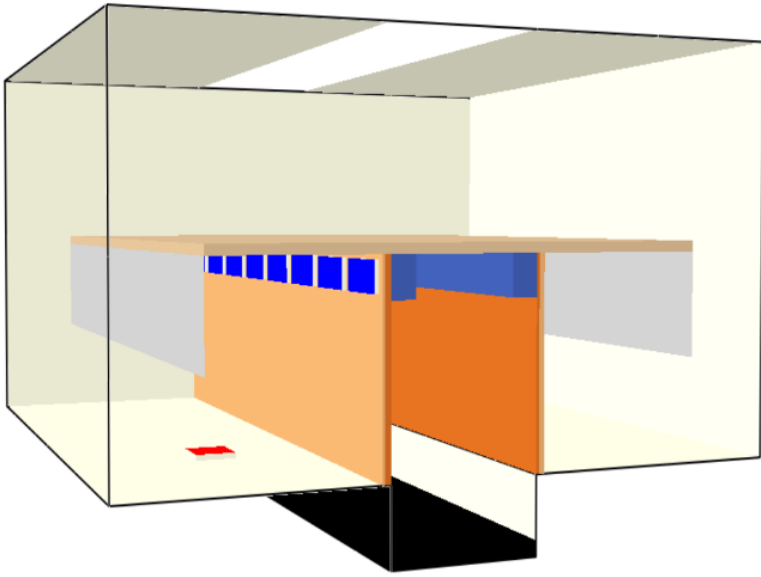
- Conservation débit massique et quantité de mouvement ;
- Panache point source : $u(z)$, $d(z)$, $\rho(z)$;
- Conservation débit massique et volumique entre ce qui rentre et ce qui sort :

→ Calcul de débit de confinement
($\alpha \approx 0,1$ est le coefficient d'entrainement du panache):

$$Q_e = 7.54 (\alpha^4 h_c^5 \mathcal{P}_c)^{1/3} + 2.84 \mathcal{P}_c$$



❖ SIMULATIONS NUMÉRIQUES QUAIS DE DIFFÉRENTES LONGUEURS :



Simulations numériques :

- $L = 16, 32, 64$ m
- $H_c = 1.5, 2$ m
- $Q_c = 0.5, 1, 1.5, 3, 5$ MW

Efficacité déterminée visuellement

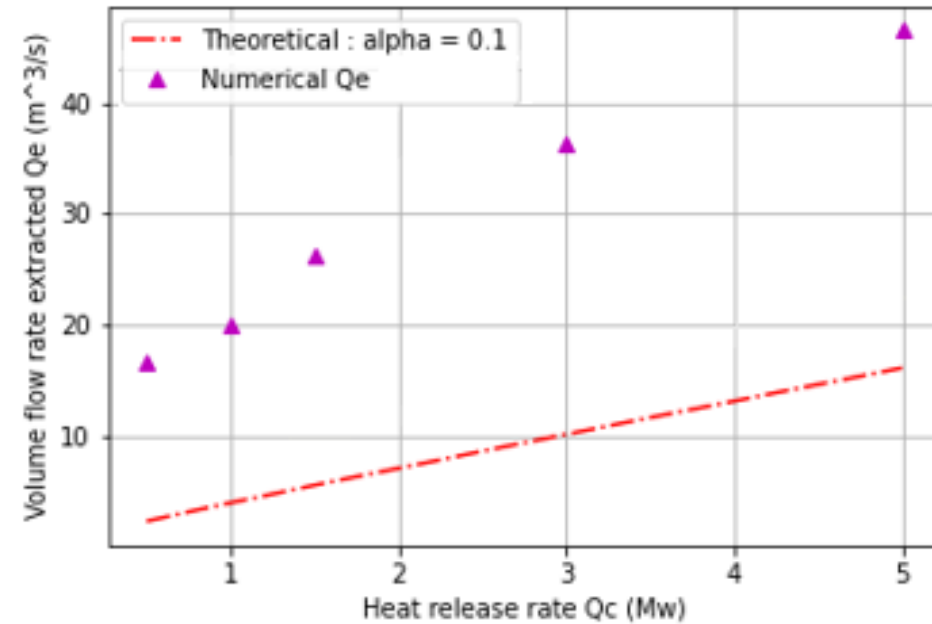
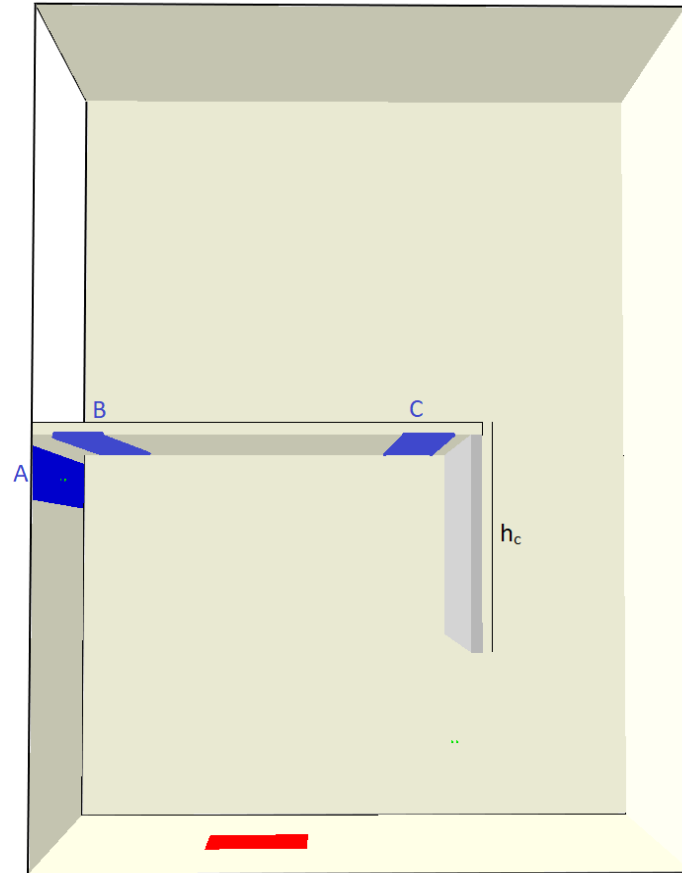


Figure : Débit de confinement pour $L = 16$ m
 $H_c = 2$ m, $Q_c = 1$ Mw
en fonction de la puissance du foyer (MW)

→ **Cas académique** avec un quai équivalent de 4m de long.



❖ LES DIFFÉRENTS MODÈLES THÉORIQUES :

○ MODÈLE RÉACTEUR BIEN MÉLANGÉ

Modèle type « réacteur bien mélangé » inspiré de [5] modifié,

→ Calcul de débit de confinement et efficacité :

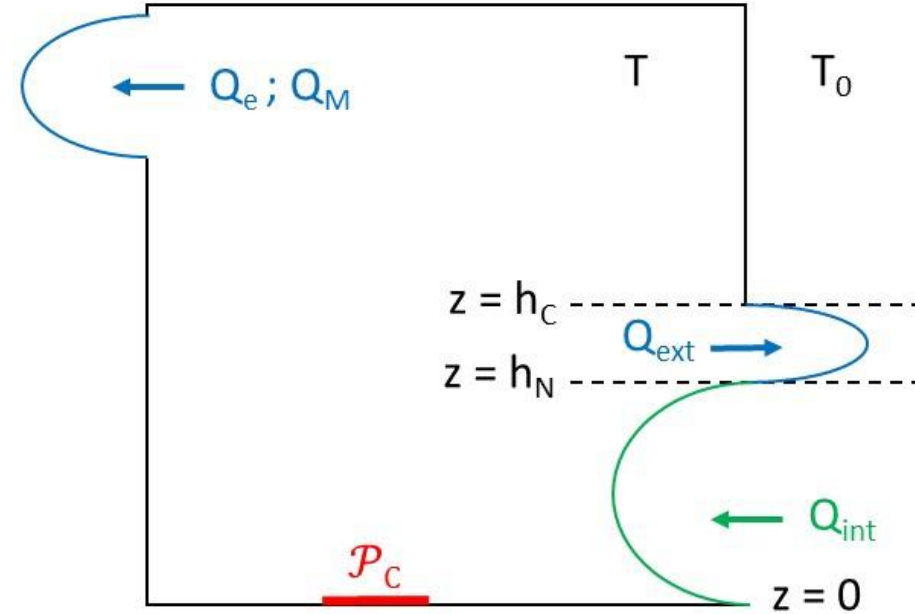
- Conservation des débits massiques
- Equation des pertes de charge
- Loi des gaz parfaits

($C_D \approx 0,7$: coefficient de frottement à l'interface h_N)

$$\frac{T}{T_0} - \left(h_c \left(\frac{2\sqrt{2} c_D \rho_0 W g^{\frac{1}{2}} C_P T_0}{3 \mathcal{P}_c} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{T}{T_0} - 1 \right) - \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{1}{3}} \right)^{\frac{3}{2}} = \left(\frac{T}{T_0} - 1 \right) \frac{\rho_0 C_P T_0 Q_e}{\mathcal{P}_c}$$

$$h_N^{\frac{3}{2}} = \frac{3 \dot{Q}_c T^{\frac{1}{2}}}{C_p 2 \sqrt{2} C_D W g^{\frac{1}{2}} \rho_0 \Delta T^{\frac{3}{2}}}$$

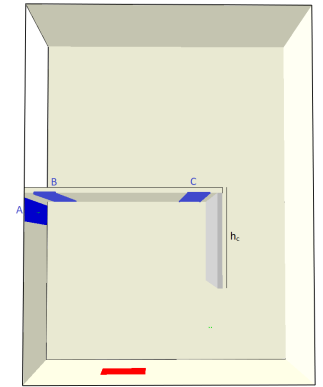
$$\rightarrow \epsilon = \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \frac{\rho_0 C_P T_0 Q_e}{\mathcal{P}_c}$$



❖ ETUDE PARAMÉTRIQUE SUR MODÈLE RÉDUIT :

○ PUISSANCE DU FEU

HRRPUA (Mw) :	0.5	1	1.5	4	8		
\mathcal{P}_c (Mw) :	0,4	0,8	1,2	3,2	5,8		
Q_e (m ³ /s) :	10,00	8,30	11,00	10,01	13,00	20,00	27,00
	6,70	5,00	9,02	8,03	12,00	19,00	25,65
	5,00	3,75	7,00	5,95	11,31	18,00	24,30
	2,50	1,25	4,90	3,50	10,40	17,00	22,95



Efficacité : rapport entre la puissance thermique extraite par le système de ventilation et celle produite par le foyer

$$\epsilon = \frac{\rho_0 Q_e - Q_M}{\mathcal{P}_c} C_p T_0$$

❖ ETUDE PARAMÉTRIQUE SUR MODÈLE RÉDUIT :

○ PUISSANCE DU FEU

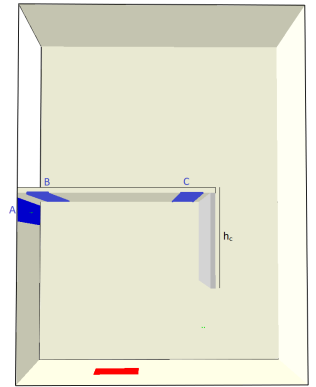
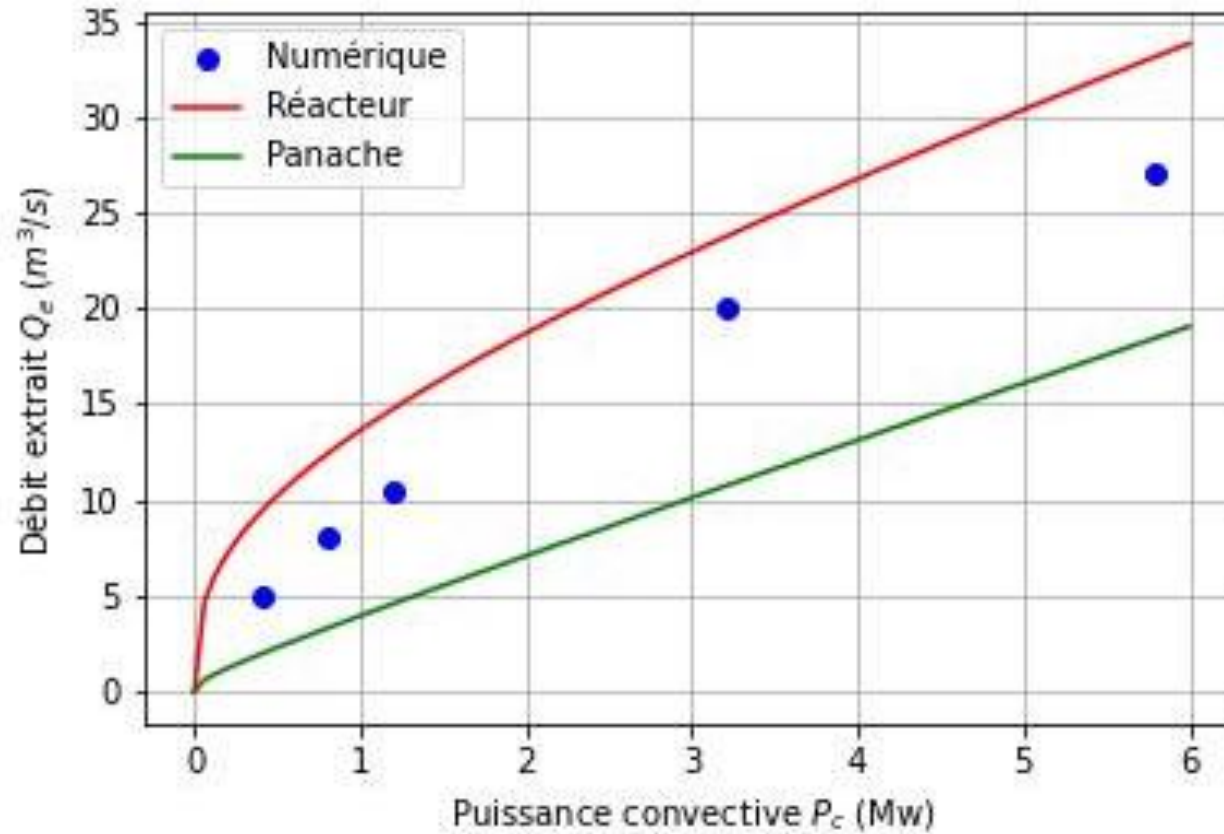


FIGURE : Débit de confinement en fonction de la puissance du foyer
Comparaison entre les deux modèles analytiques simplifié et les essais numériques

❖ ETUDE PARAMÉTRIQUE SUR MODÈLE RÉDUIT :

○ POSITION DES BOUCHES D'EXTRACTION

Variation de l'efficacité ε

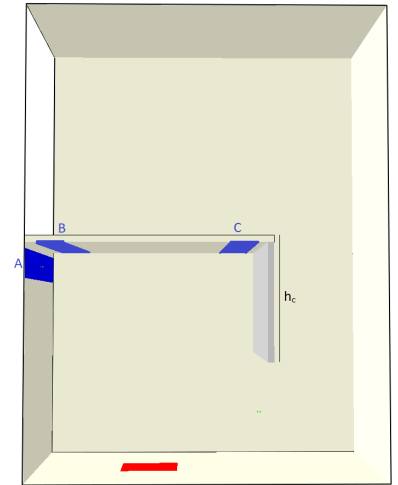
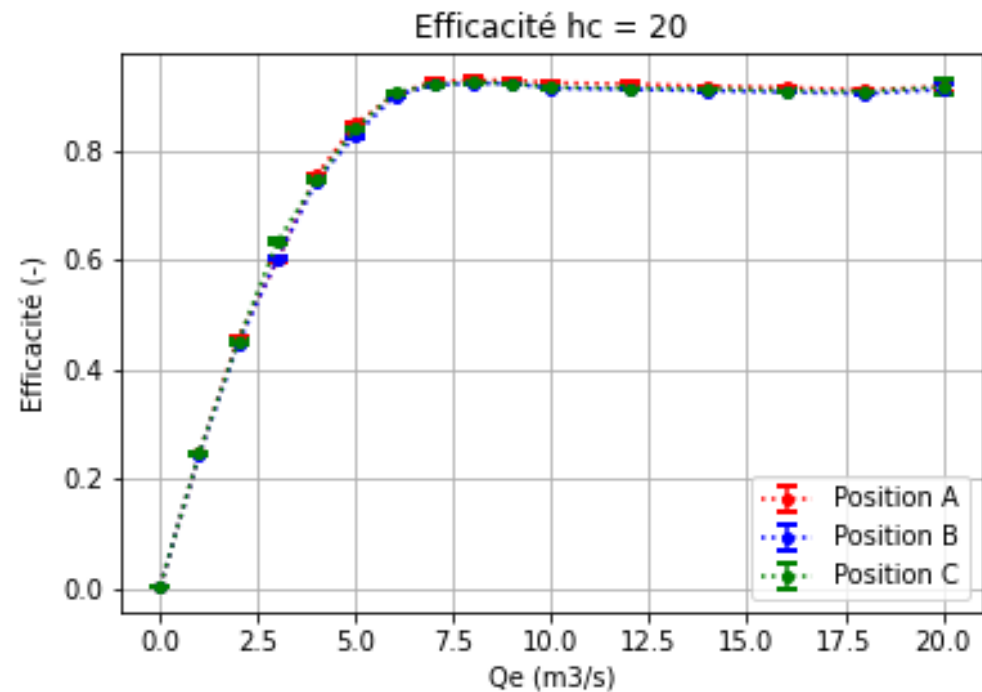
En fonction du débit extrait numériquement

Pour $H_c = 20 \text{ dm} = 2 \text{ m}$

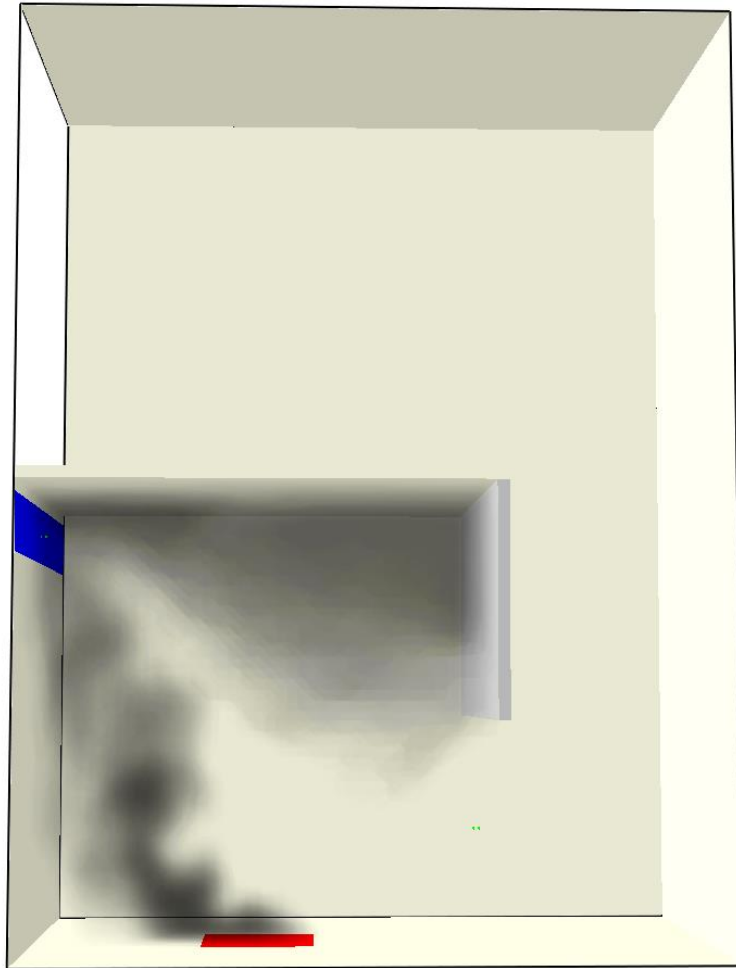
Pour trois positions de bouches différentes :

- A rouge
- B bleu
- C vert

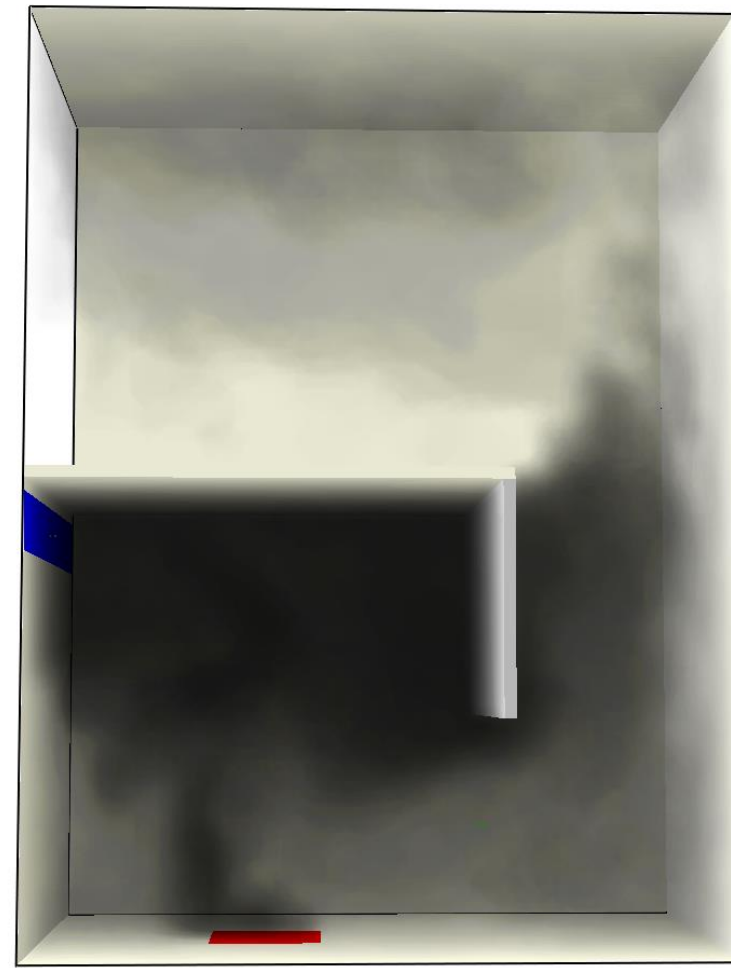
→ Aucune variations ?

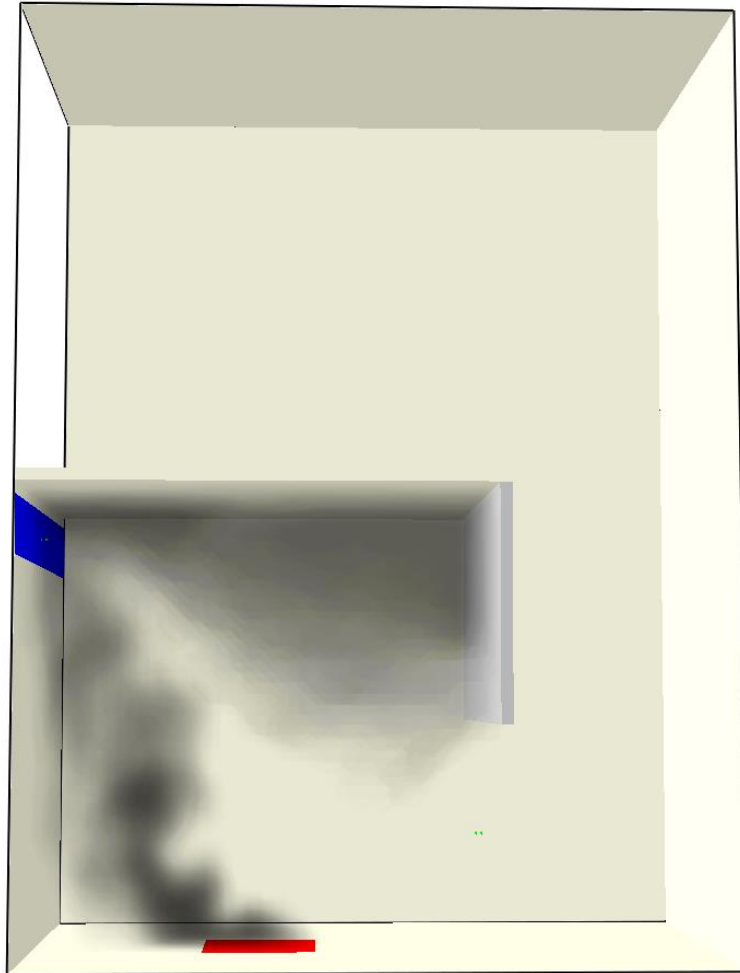


CONFINÉ

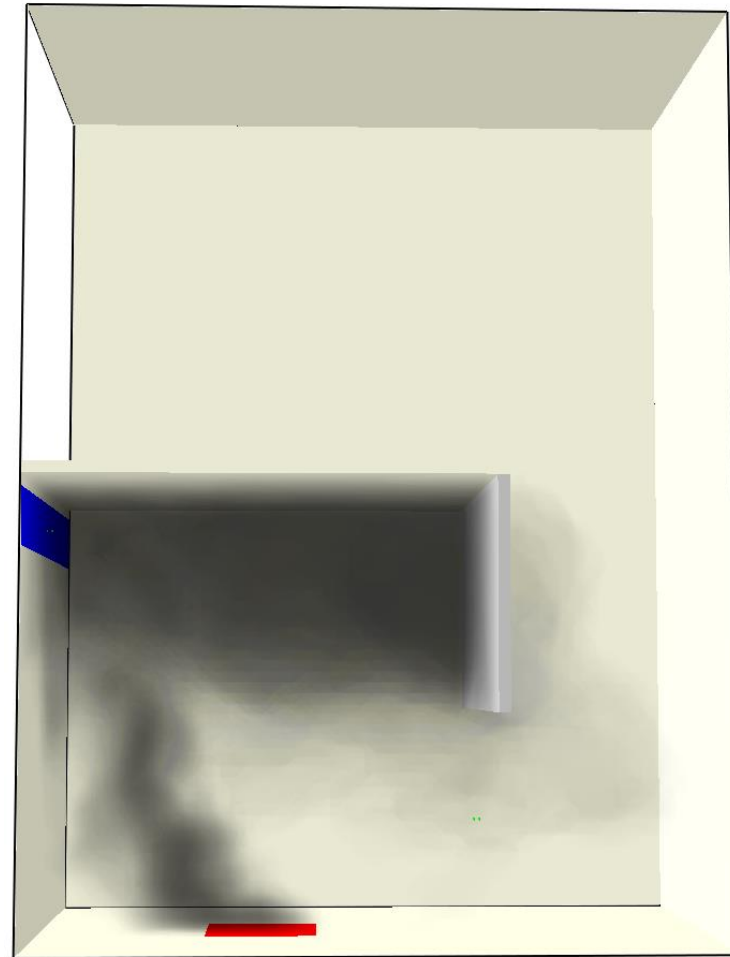


NON CONFINÉ

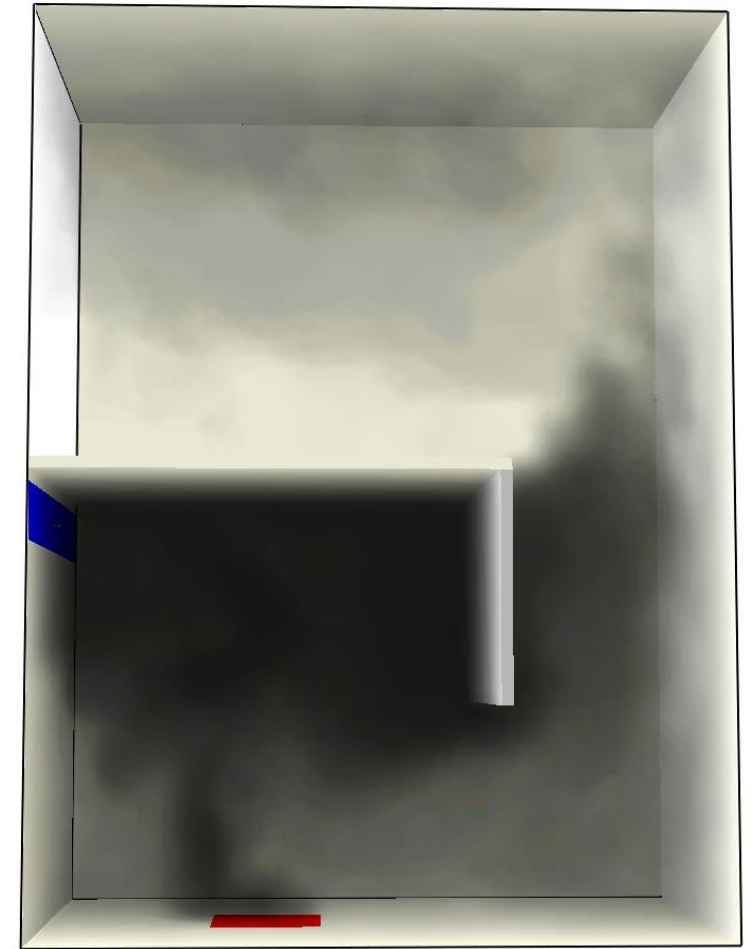




CONFINÉ

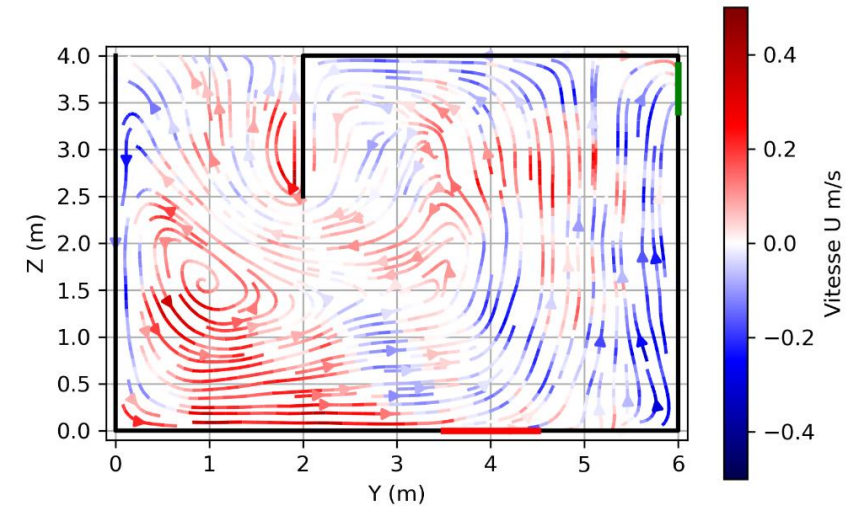
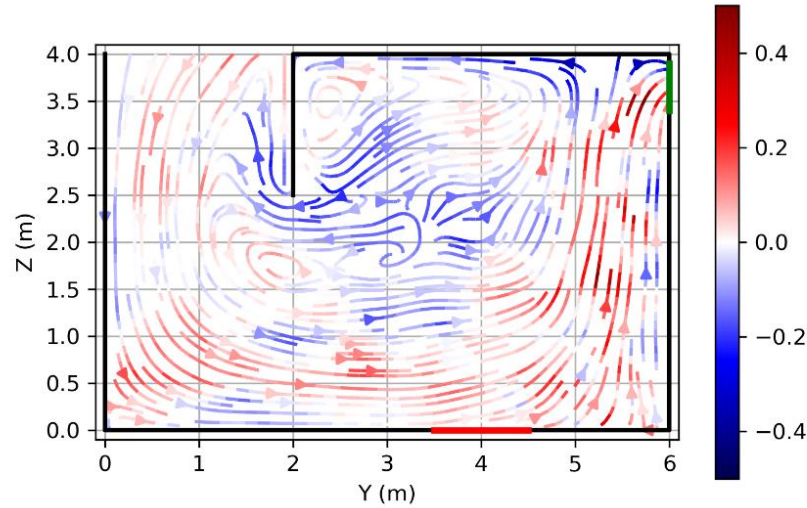
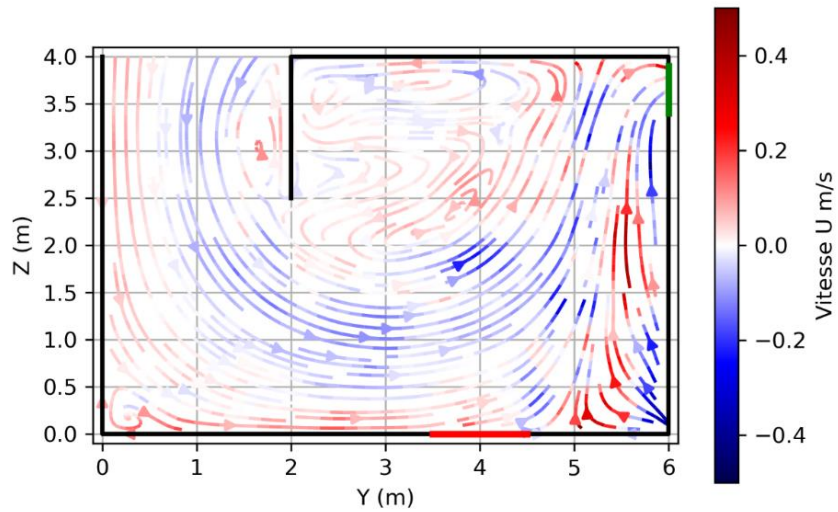
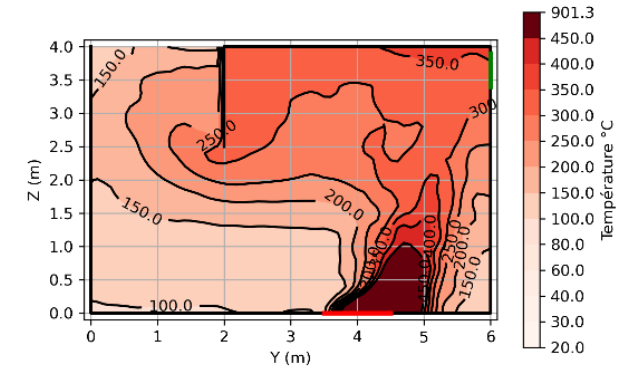
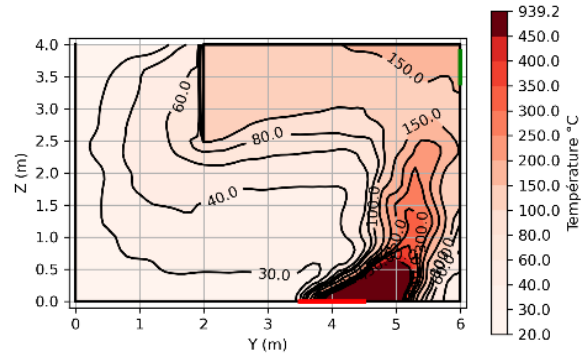
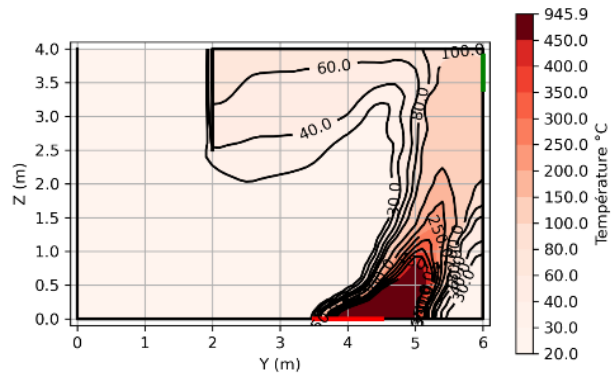


PARTIELLEMENT CONFINÉ



NON CONFINÉ

PHÉNOMÉNOLOGIE DES SIMULATIONS : LES TROIS RÉGIMES DE CONFINEMENT



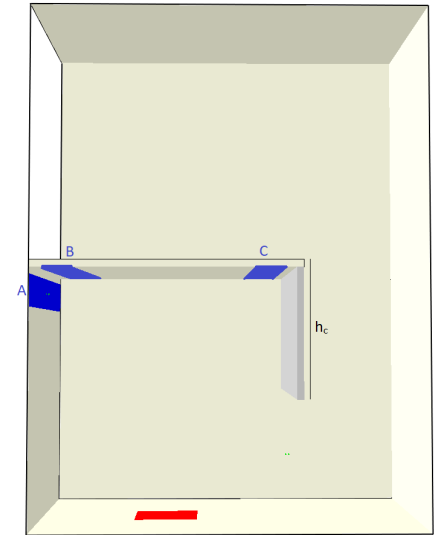
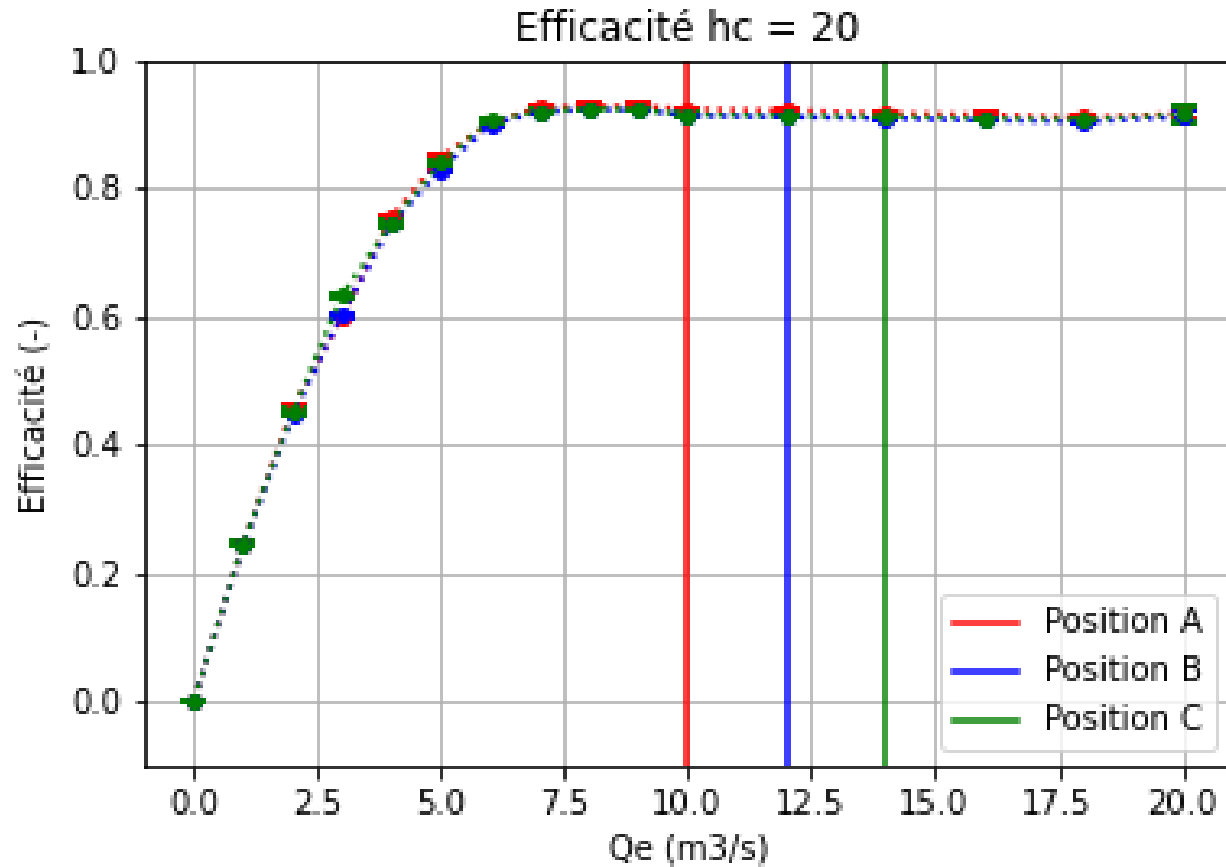
Plan Médian : 2 m³/s

Plan Médian : 9 m³/s

Plan Médian : 18 m³/s

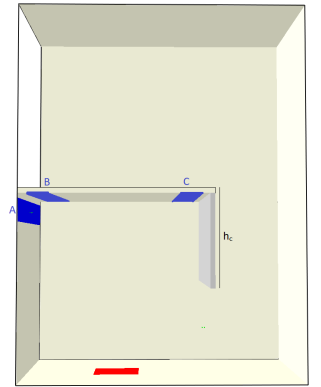
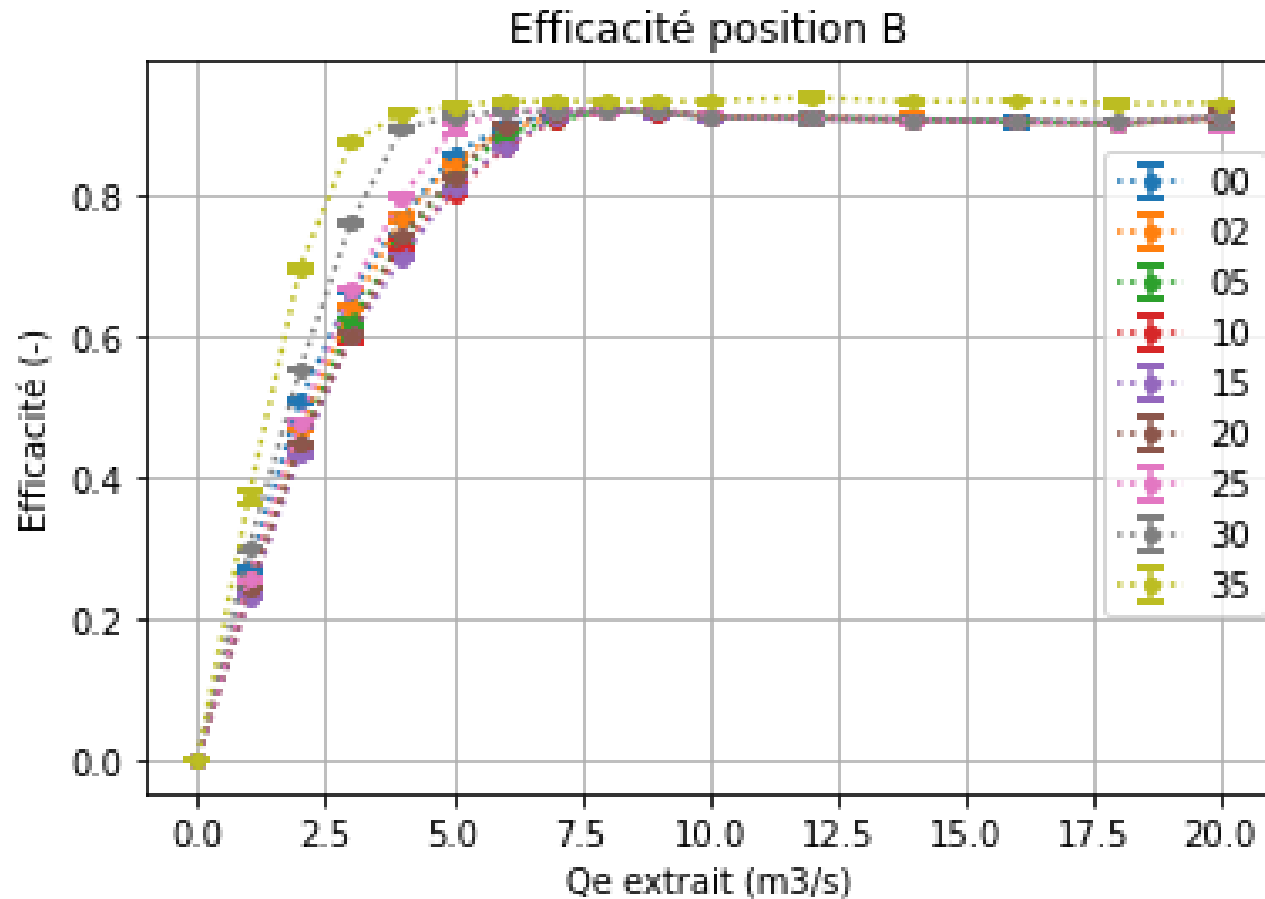
❖ ETUDE PARAMÉTRIQUE SUR MODÈLE RÉDUIT :

○ POSITION DES BOUCHES D'EXTRACTION



❖ ETUDE PARAMÉTRIQUE SUR MODÈLE RÉDUIT :

○ RETOMBÉE DE L'ÉCRAN DE CANTONNEMENT



Variation de l'efficacité ϵ
En fonction du débit extrait numériquement
Pour la position B

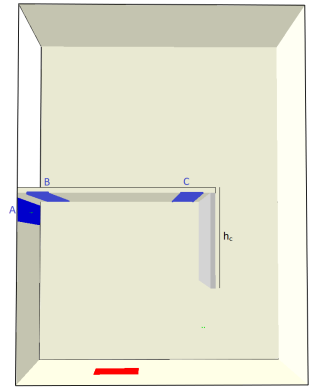
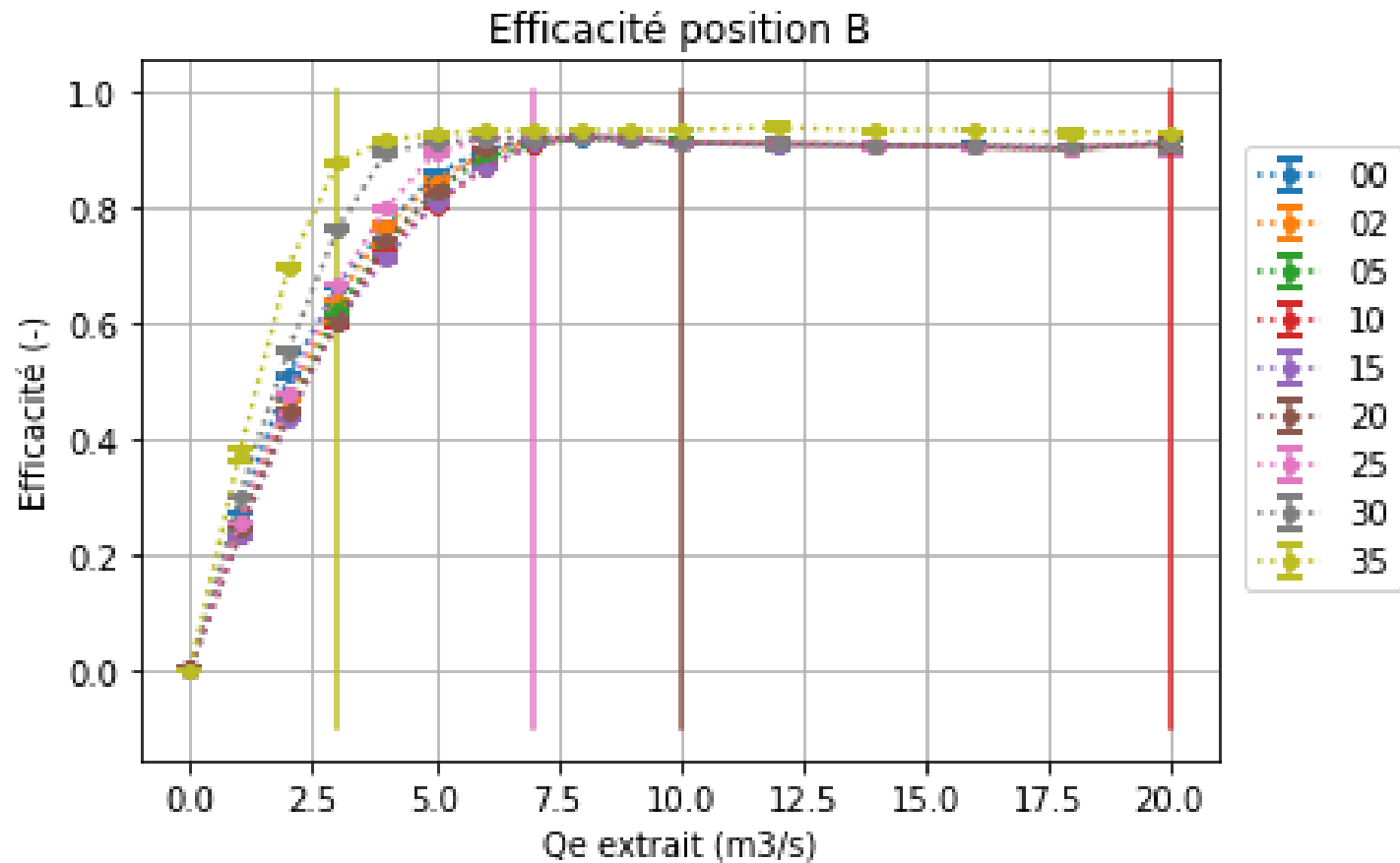
Plusieurs H_c testés :

→ Très peu de variations ?

Réduction de la surface d'arrivée d'air

❖ ETUDE PARAMÉTRIQUE SUR MODÈLE RÉDUIT :

○ RETOMBÉE DE L'ÉCRAN DE CANTONNEMENT



Si on regarde le débit de confinement :

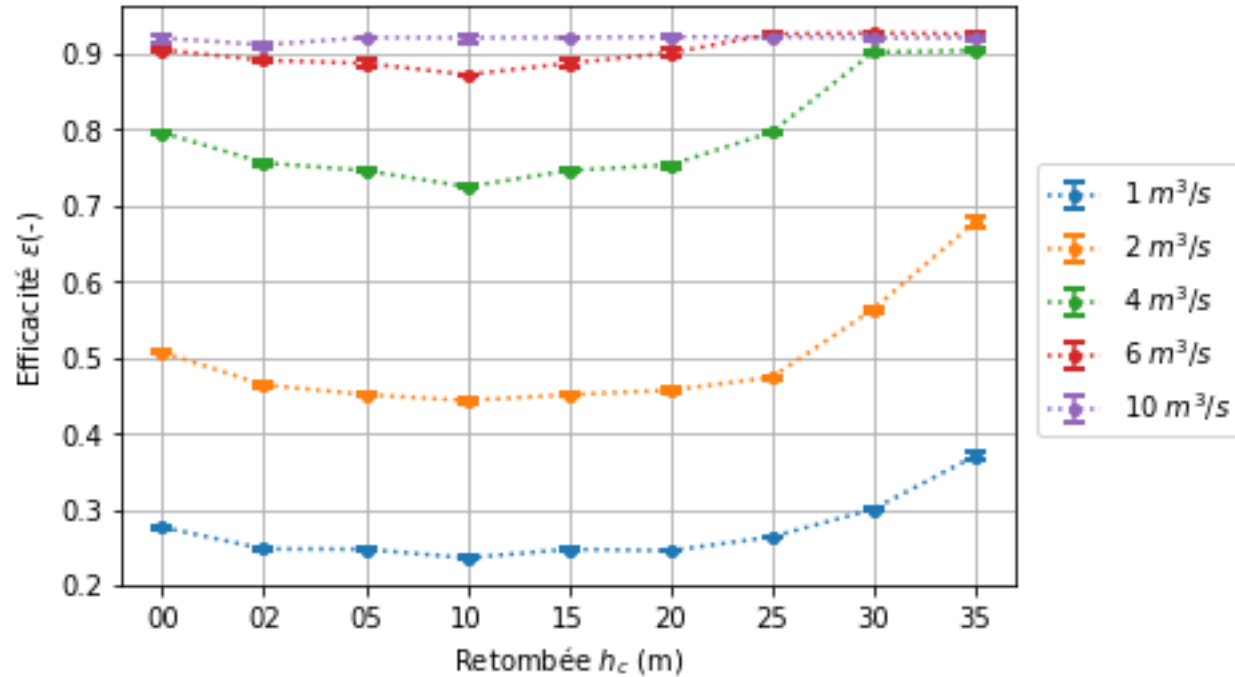
- Numérique Calcul
- Numérique Observation

→ On a un régime de transition qui apparait !

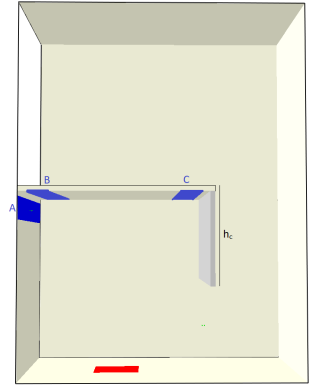
Plus l'écran est grand; plus on a un gain !

❖ ETUDE PARAMÉTRIQUE SUR MODÈLE RÉDUIT :

○ RETOMBÉE DE L'ÉCRAN DE CANTONNEMENT



Observation d'un minimum :
Pic minimum vers $h_c = 1.5$ m



Travail sur les écoulements pour comprendre l'origine de cette diminution avec augmentation de l'efficacité

- Modèle Kawagoe : proche de la réalité ;
- Extraction opposée à l'arrivée d'air : le plus optimal ;
- Analyse plus fine pour Hc compris entre 0 et 2 m de retombée :
 - Croissance forte : + 60% d'augmentation de débit -> + 90% d'efficacité ;
 - Quantifier la quantité de fumée qui se situe dans la trémies des escaliers.

Perspectives :

- Finaliser les études sur les modèles réduits 4x4 : quantification du confinement partiel;

- Campagne d'essais expérimentaux pour confirmer les résultats :
 - Modèles réduits air hélium ;
 - Vérifier les tendances + comparaison des modèles ;
 - Cibler des variations plus fines ;

- Passage des modèles réduits à des géométries plus réalistes.

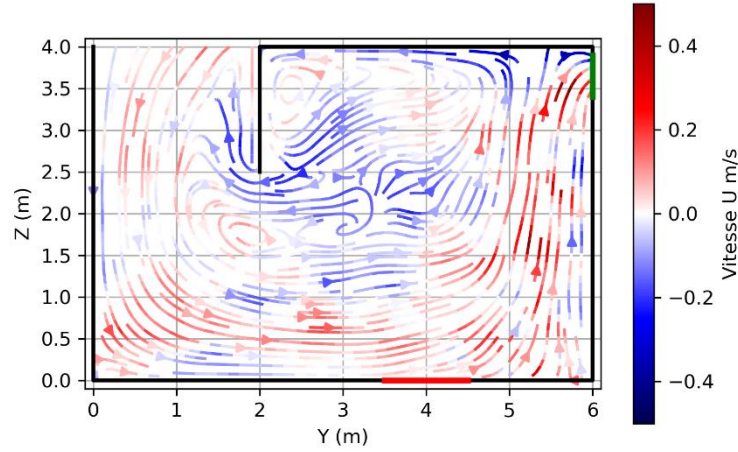
DES QUESTIONS ?

Bibliographie :

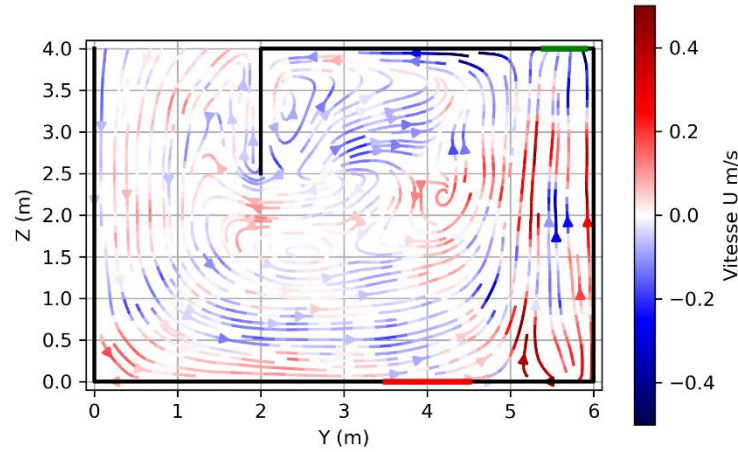
- [1] M. Oucherfi, B. Gay, A. Mos and P.Carlotti, Definition and optimisation of the efficiency of smoke extraction in a road tunnel, 9th Mechanical congress, Marrakech (2009) ;
- [2] K. McGrattan, Fire Dynamics Simulator user's guide, NIST, (2020) ;
- [3] P. Dorado, P.Carlotti, O. Vauquelin, Designing smoke removal system at the platform level of a metro station, ISAVFT 2022, Brighton, (2022) ;
- [4] P. Carlotti, Fire physics in buildings and smoke control, Techniques de l'ingénieur, (2020) ;
- [5] K. Kawagoe, Fire behaviour in rooms, BRI, (1958).

PHÉNOMÉNOLOGIE DES SIMULATIONS : POSITION DE LA BOUCHE D'EXTRACTION

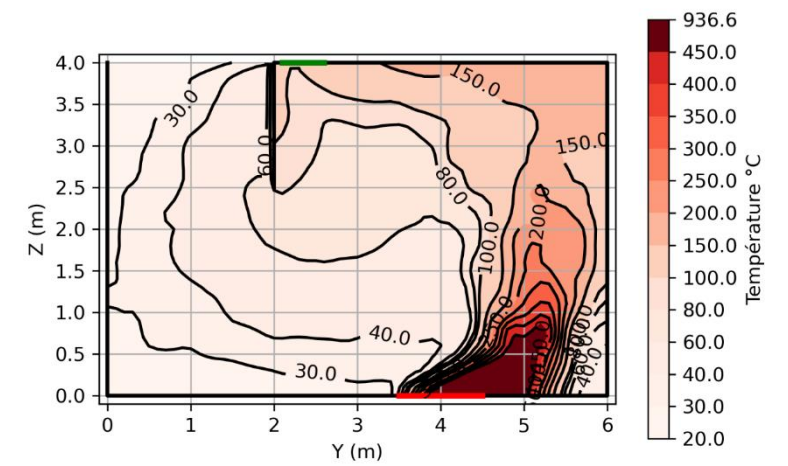
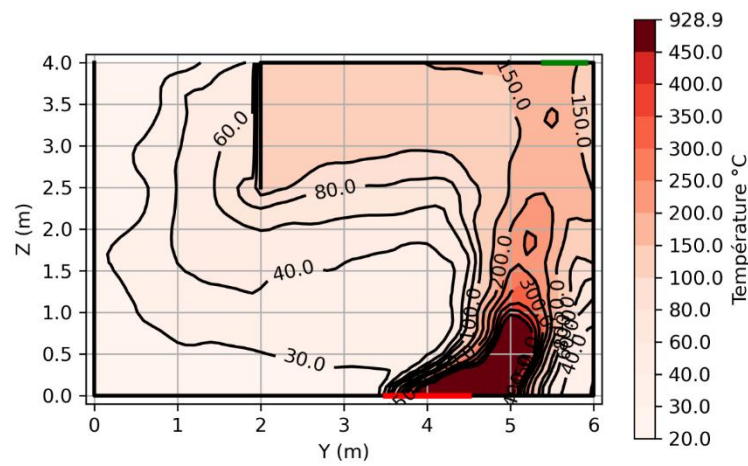
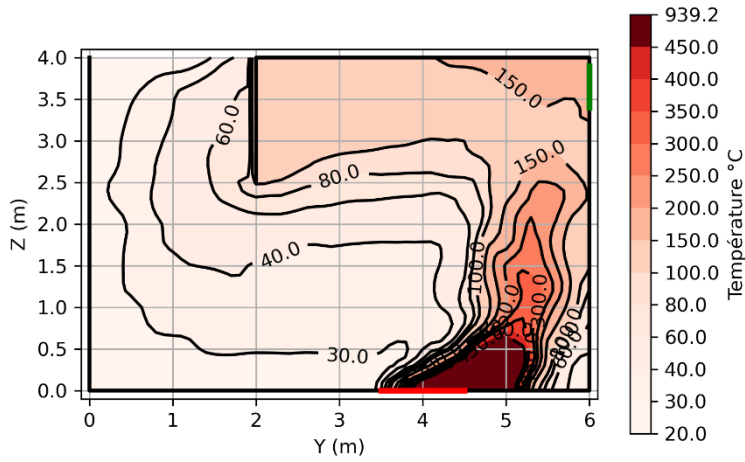
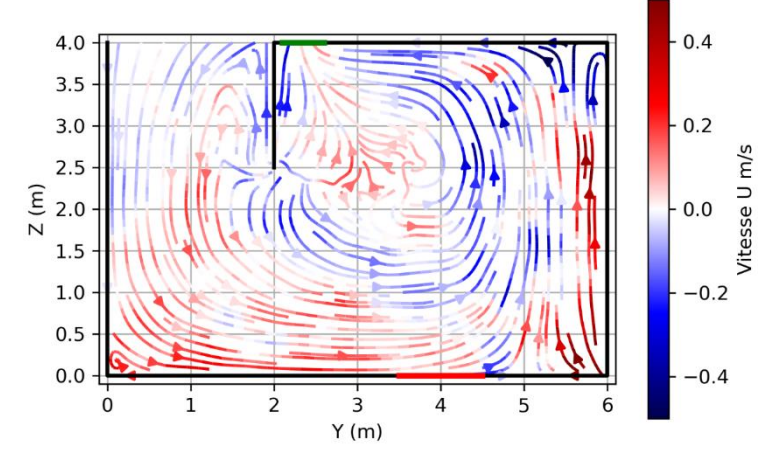
A



B

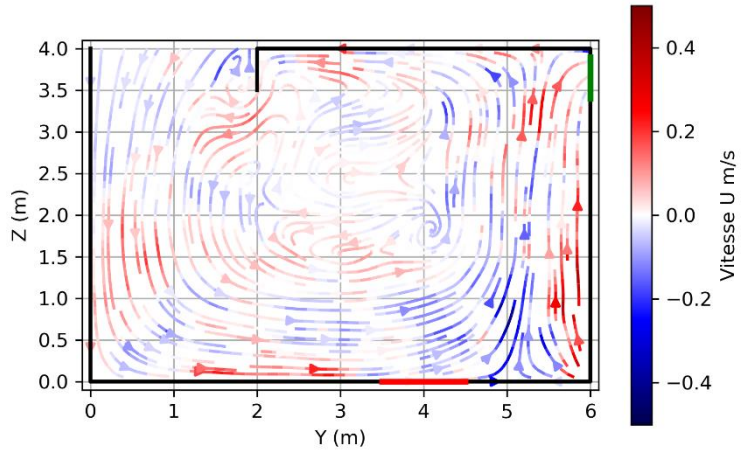


C



PHÉNOMÉNOLOGIE DES SIMULATIONS : EN FONCTION DE L'ÉCRAN DE CANTONNEMENT

Hc = 0.5 m



Hc = 1.5 m

