

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

APPORT DE LA SIMULATION CFD DANS L'AIDE À L'IMPLANTATION DE PRÉLEVEURS D'AMBIANCE DANS LES LOCAUX DES INSTALLATIONS NUCLÉAIRES

T. Gélain et J. Richard

Institut de Radioprotection et de Sûreté
Nucléaire
Saclay, France

thomas.gelain@irsn.fr
jerome.richard@irsn.fr

Congrès

ContaminExpert

26-28 mars 2019

Plan

Contexte et objectifs

Présentation du code ANSYS CFX et des modèles associés

Description de l'étude du laboratoire L0

Déroulement de l'étude numérique

Résultats de l'étude numérique

Comparaison code - expériences

Application à d'autres locaux

Conclusion

Dans les locaux des installations nucléaires, peuvent être manipulées de nombreuses substances chimiques et radioactives

- ➡ Confinement dynamique des locaux pour éviter la dispersion de contamination vers l'extérieur
- ➡ Surveillance d'éventuelles fuites de contamination dans les locaux grâce à des préleveurs d'ambiance
 - ➡ Comment les positionner de manière à assurer au mieux la sécurité des travailleurs, mais également la protection de l'environnement

Vérification généralement par le biais de campagne de mesures souvent complexes et coûteuses en moyens humains

➡ *Utilisation de logiciels CFD pour aider à leur bonne implantation*

Logiciels ANSYS CFX utilisés depuis de nombreuses années à l'IRSN

➡ Modèles de transport et de dépôt d'aérosols implémentés et validés

⇒ Application pour le cas d'un laboratoire d'une installation nucléaire

Le logiciel ANSYS CFX est un logiciel CFD commercial généraliste, utilisé à l'IRSN depuis plus de 20 ans pour des simulations d'écoulements d'air et de transfert de polluants gazeux ou particulaires, avec prise en compte d'éventuels échanges thermiques et changements de phase.

➔ Implémentation de modèles dédiés aux aérosols

Modèles de transport et de dépôt développés par Nérissou (2011) et implémentés dans ANSYS CFX

$$\frac{\partial \rho Y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial t} (\rho Y (U_{f,i} + U_{S,i})) = S$$

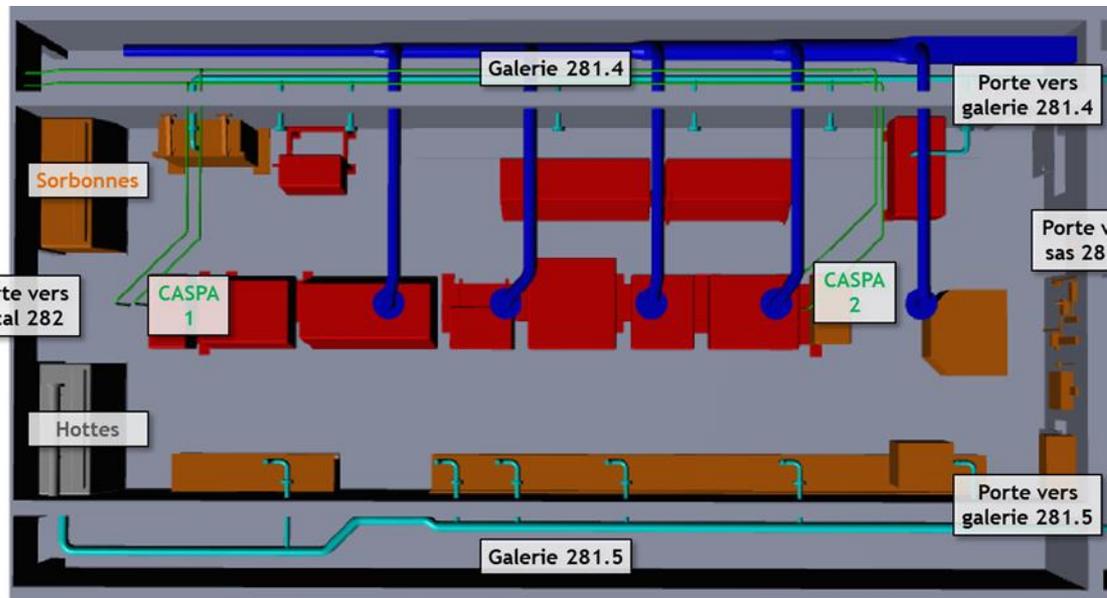
avec $U_{S,i}$ la vitesse de dérive des particules par rapport au fluide porteur prenant en compte les principales forces extérieures (sédimentation, inertie et diffusion)

Dépôt modélisé sous la forme d'un terme puits S_p imposé en paroi :

$$S_p = C_M u^* V_d^+ \quad \text{avec} \quad V_d^+ = \frac{\mathbf{g}^+ \cdot \mathbf{n}}{1 - e^{(\mathbf{g}^+ \cdot \mathbf{n}) I_p}}$$

avec C_M la concentration massique dans la première maille proche de la paroi, u^* la vitesse de frottement et I_p un paramètre prenant en compte le phénomène de dépôt par inertie et diffusion

Description de l'étude du laboratoire L0



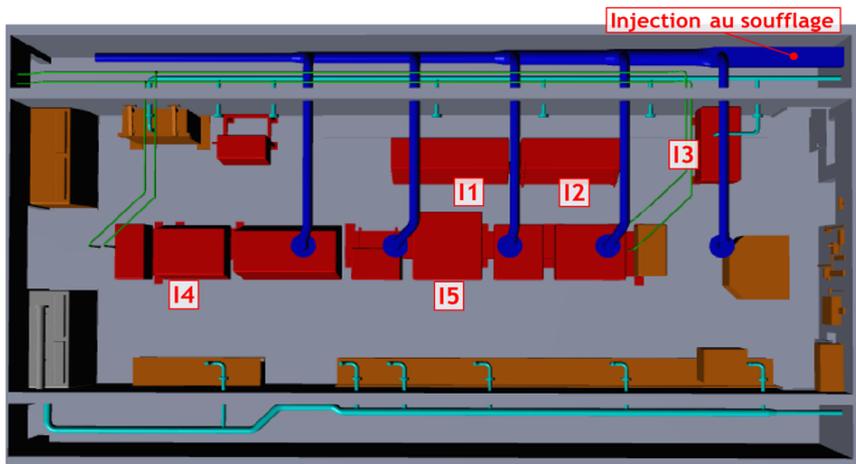
- douze boîtes à gants (BAG), un coffre à matière et un diffractomètre ;
- deux sorbottes et deux hottes ;
- une ventilation d'extraction procédé pour les boîtes à gants ;
- une ventilation de soufflage et d'extraction ambiante pour le laboratoire L0 ;
- deux systèmes de mesure de contamination atmosphérique (CASPA) dédiés au laboratoire L0, comprenant chacun un capteur de mesure α et un capteur de mesure β .

		Q_{CFD} (m ³ /h)	Q_{MESURE} (m ³ /h)	Écart relatif (%)
Débits entrants	Soufflage général du laboratoire	2154	2195	2 %
	Fuites via les 4 portes du laboratoire	189 (estimation)	375 (estimation)	50 %
	Total entrant	2343	2570	9 %
Débits sortants	Extraction ambiante du laboratoire	1544	1250	-24 %
	Extraction des hottes	320	508	37 %
	Extraction des sorbottes	320	475	33 %
	Extraction des BAG	145	382	62 %
	Total sortant	2329	2614	11 %

Valeurs
théoriques

Valeurs
mesurées a
posteriori

Description de l'étude du laboratoire L0



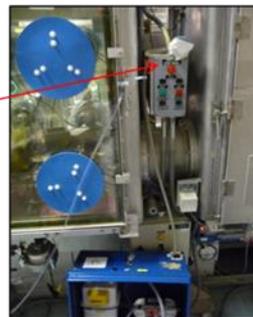
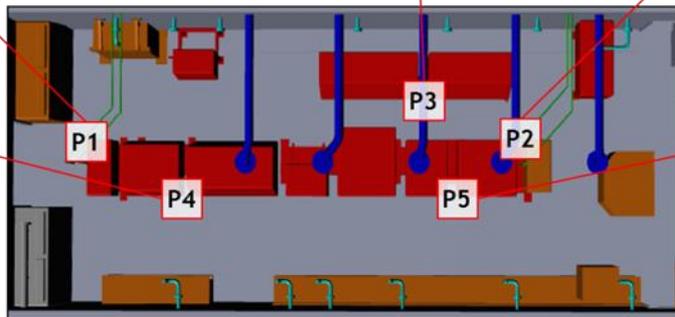
Emplacement des points d'injection étudiés (source potentielle de contamination)

=> 5 points d'injection disposés à proximité de BàG pour représenter une fuite potentielle



Emplacement des points de monitoring

=> 5 points de monitoring, dont 2 (P1 et P2) représentant les préleveurs d'ambiance implantés dans le local



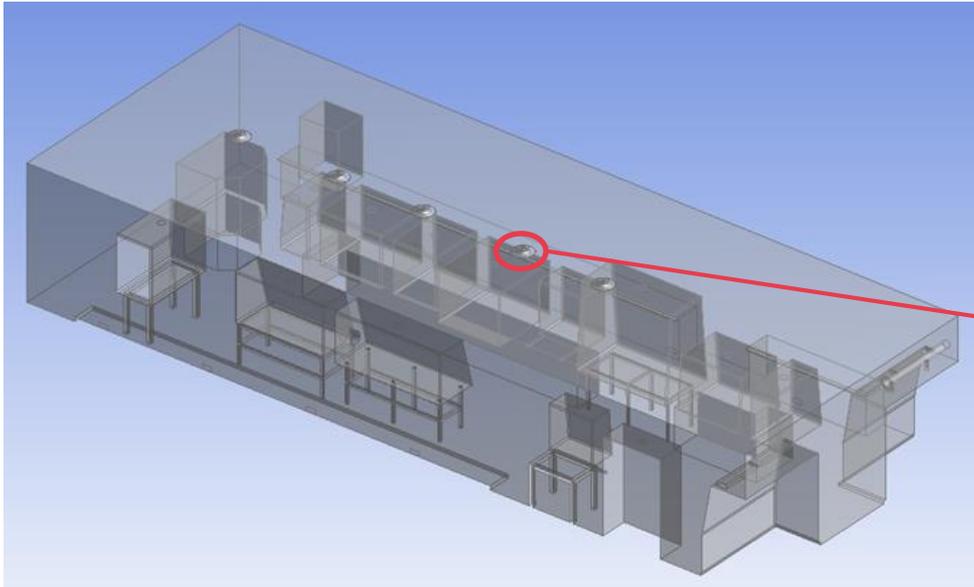
Étude numérique en 2 étapes :

- Une étude de caractérisation aéraulique permettant de s'assurer de la bonne représentativité des écoulements modélisés
- Une étude de caractérisation des coefficients de transfert de contamination, réalisée sur la base de 5 scénarios d'injection de traceur (représentant une fuite potentielle de contamination)

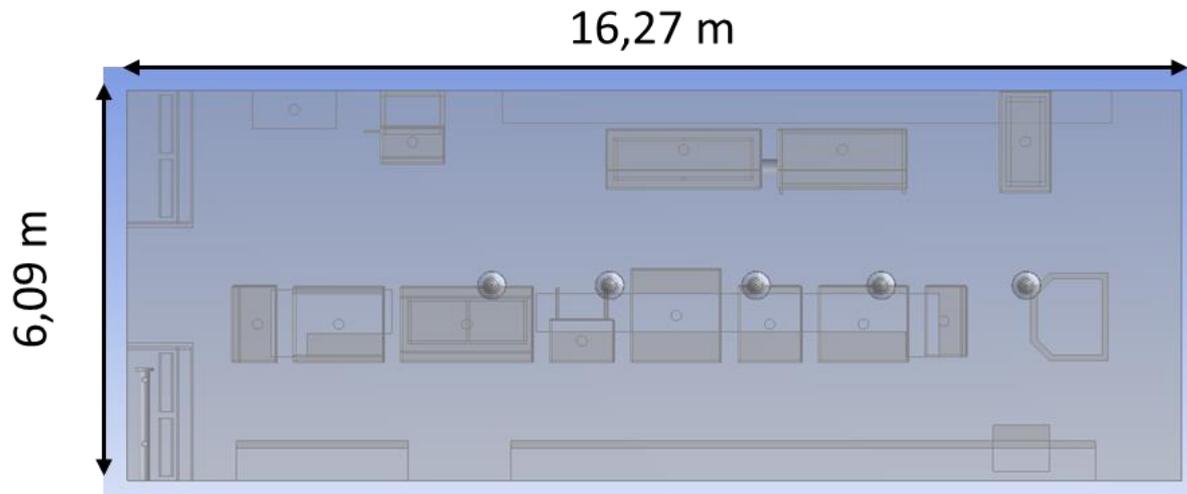
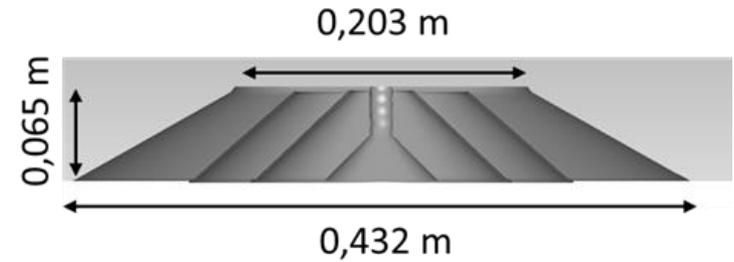
Déroulement des simulations en plusieurs étapes successives :

- Construction du domaine de calcul (CAO)
- Discrétisation du domaine de calcul (Maillage)
- Réalisation du jeu de données (Preprocessing)
- Réalisation des simulations
- Post-traitement des résultats

Déroulement de l'étude numérique (Géométrie)

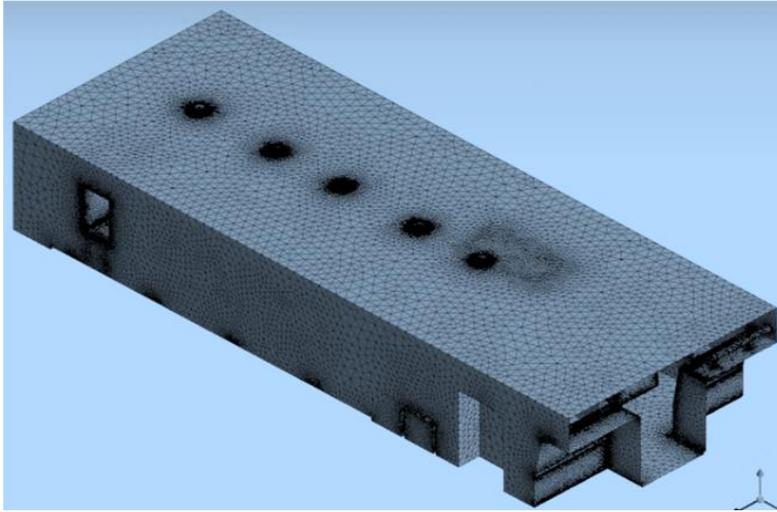


Représentation précise de tous les éléments du local

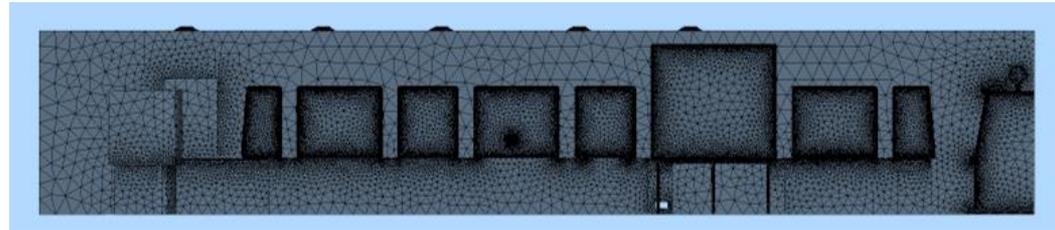


Les écoulements dans les BàG ne sont pas modélisés mais leurs extractions sont bien prises en compte

Déroulement de l'étude numérique (Maillage)

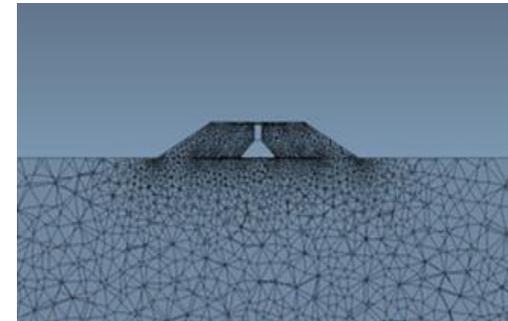


Le maillage consiste à discrétiser le domaine de calcul en petits éléments au travers desquels les équations de Navier-Stokes seront résolues par le code



Maillage constitué de 15 millions d'éléments tétraédriques

Tailles comprises entre 5 mm pour le minimum et 0,25 m pour le maximum. Raffinement spécifique au niveau des sources de traceur gazeux et de particules et dans les zones d'intérêt



Déroulement de l'étude numérique (JDD)

Le jeu de données va contenir toutes les informations concernant le maillage, les conditions aux limites et initiales et les paramètres numériques du calcul

Type de paramètre	Condition
Modèle de turbulence	Modèle $k-\omega$ SST (Shear Stress Transport)
Schéma numérique	Schéma hybride High Resolution
Convergence	résidus RMS = 10^{-4} nombre d'itérations par pas de temps = 3 à 10
Pas de temps	5 s



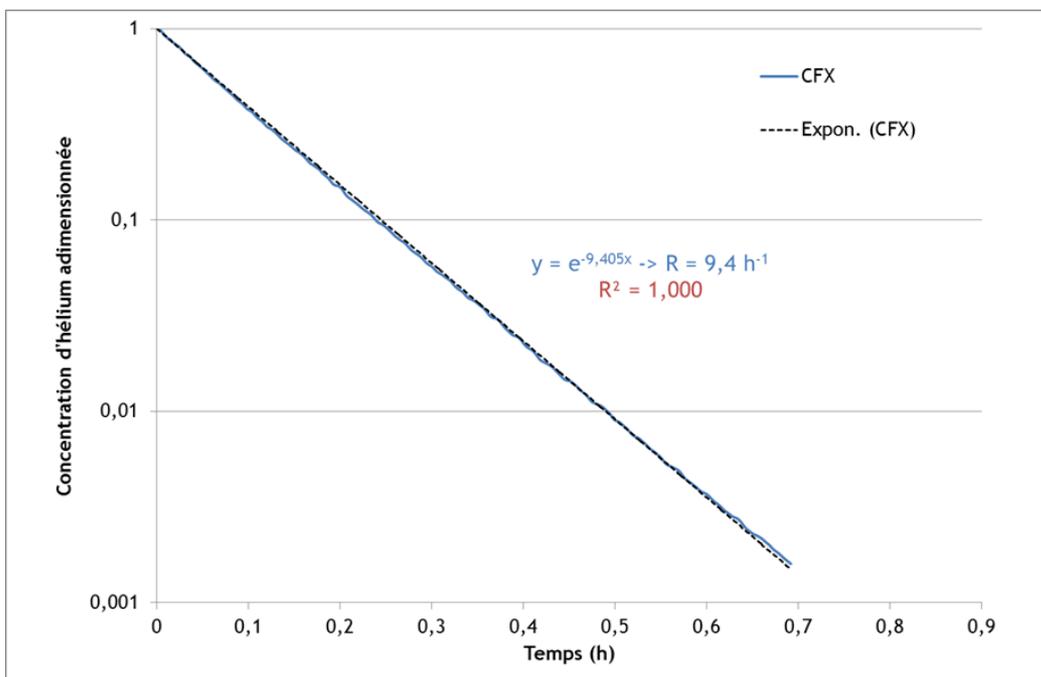
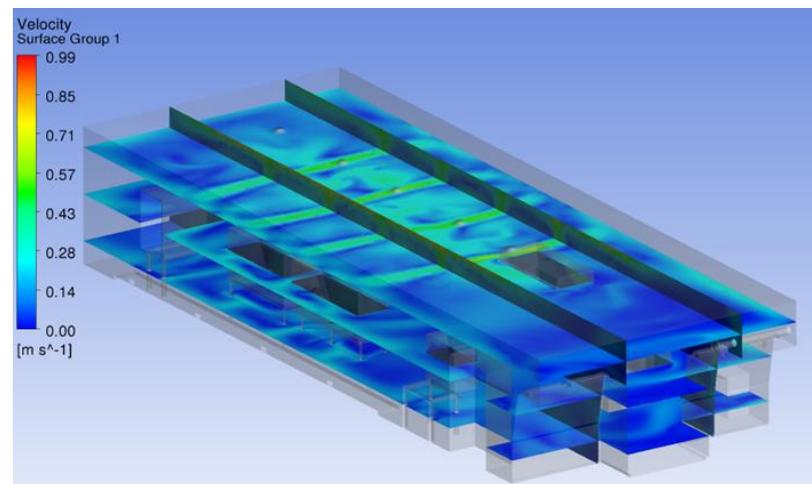
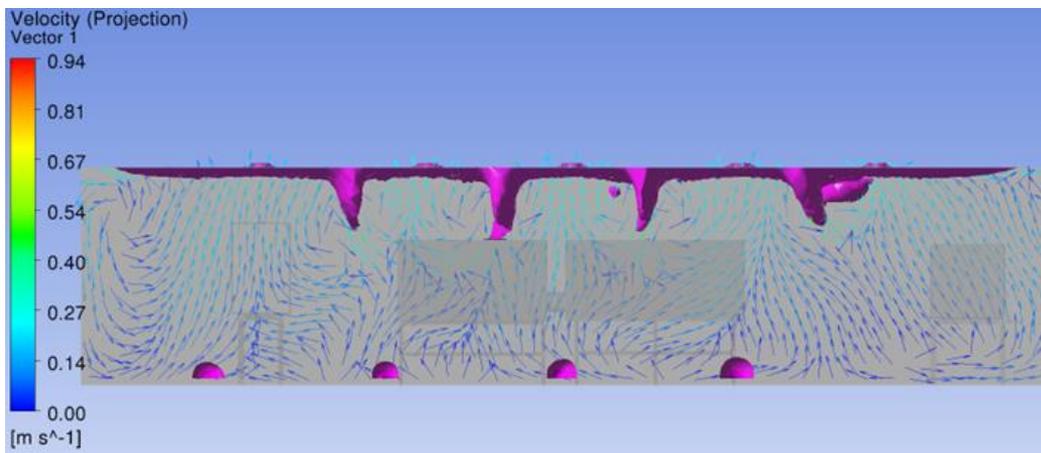
Paramètres numériques choisis par études de sensibilité ou REX de l'utilisateur

Limite	Condition
Soufflage (5 diffuseurs) (air)	« Inlet » (débit massique imposé q_{inlet}) $k = \frac{3}{2}(IU)^2, \varepsilon = C_{\mu}\rho \frac{k^2}{\mu_t}, \mu_t = 1000I\mu (I = 3,7\%), \omega = \frac{\varepsilon}{k}$
Extractions (air + hélium + particules)	« Outlet » (débits massiques imposés par bouche d'extraction q_{ext})
Extractions hotte, sorbonne et BAG (air + hélium + particules)	« Outlet » (vitesses imposées par bouche d'extraction U_{ext})
Extraction coffre à matière	« Opening » (sortie libre avec pression relative imposée P_{ext})
Injection d'hélium et de particules ($d_{amm} = 5 \mu m$)	« Source Point » (débits imposés sans vitesse q_{he} et q_{part})
Wall	No Slip Condition $U_{wall} = 0$ Loi de paroi "automatique" Terme source de dépôt J Terme source de fuite diffuse sur les murs nord et sud q_{fuite}



Données d'entrée provenant de données théoriques fournies par l'exploitant

Résultats de l'étude numérique (caractérisation aéraulique)



Taux de renouvellement obtenu avec le code de $9,4 \text{ h}^{-1}$

⇒ comparable à celui théorique de $9,45 \text{ h}^{-1}$

⇒ bonne représentativité en terme de renouvellement

On rappelle que les coefficients de transfert continus K_t (s.m^{-3}) sont calculés de la manière suivante :

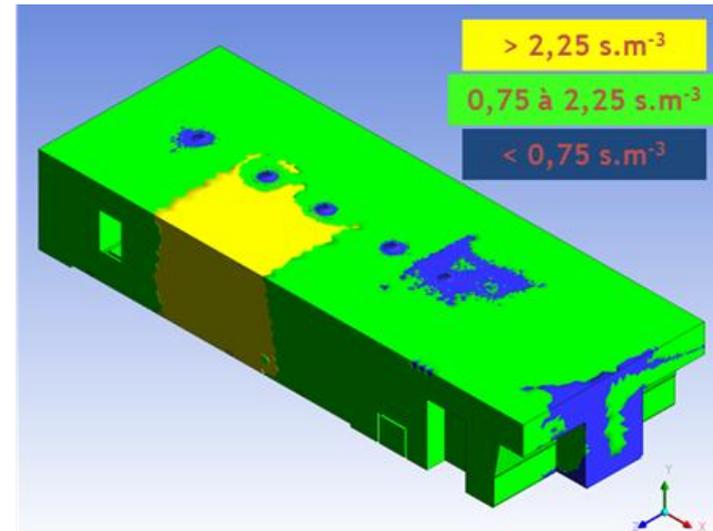
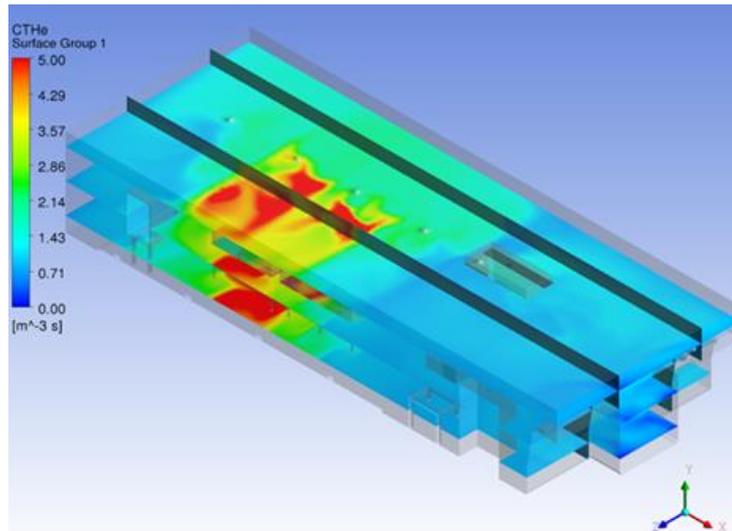
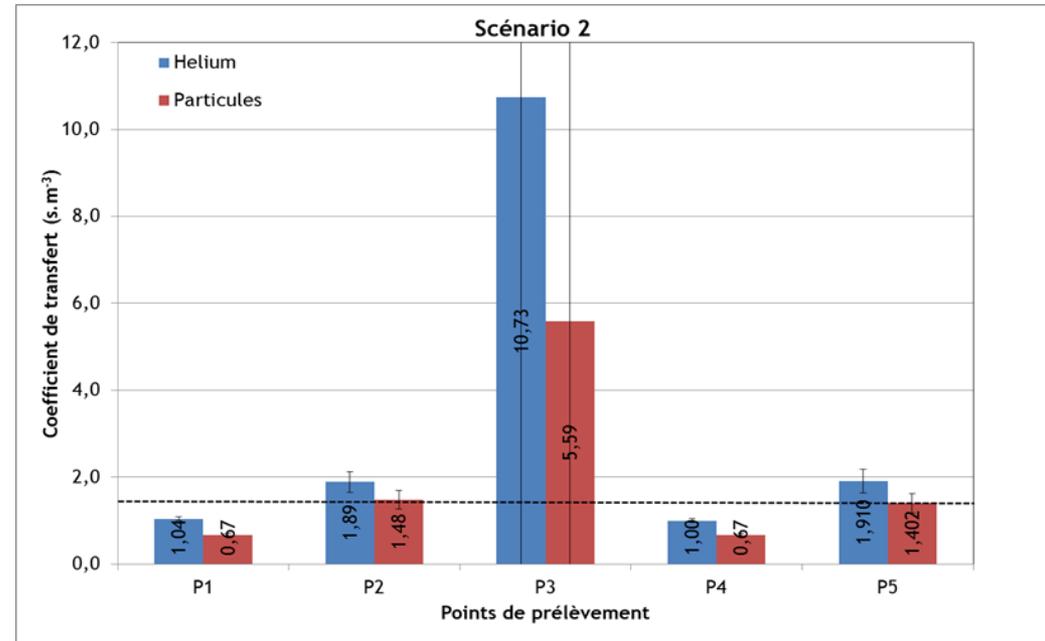
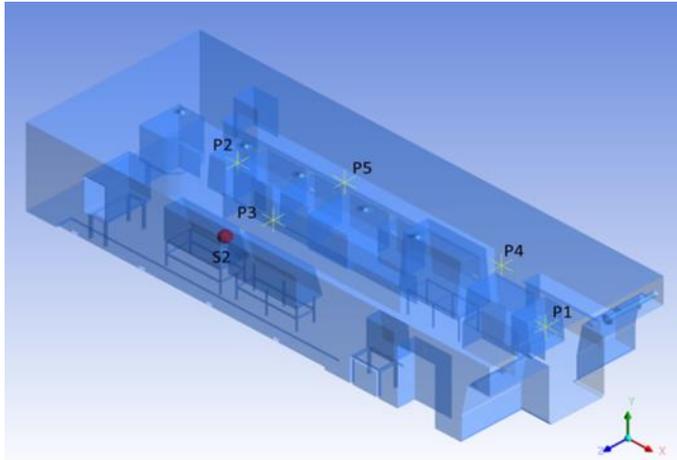
$$K_t = \frac{C_{eq}}{q_{source}}$$

avec C_{eq} est la concentration massique à l'équilibre du traceur au point de prélèvement considéré (kg.m^{-3}) et q_{source} le débit massique d'émission du traceur (kg.s^{-1}).

=> pour un local dont la concentration pour une espèce gazeuse serait parfaitement homogène, on aurait alors une répartition homogène des coefficients de transfert à l'équilibre dont la valeur serait égale en régime permanent à $1/Q_e$, avec Q_e le débit d'extraction, soit dans le cas présent $K_t = 1,54 \text{ s.m}^{-3}$

Résultats de l'étude numérique (coefficients de transfert)

Exemple pour un des 5 scénarios étudiés



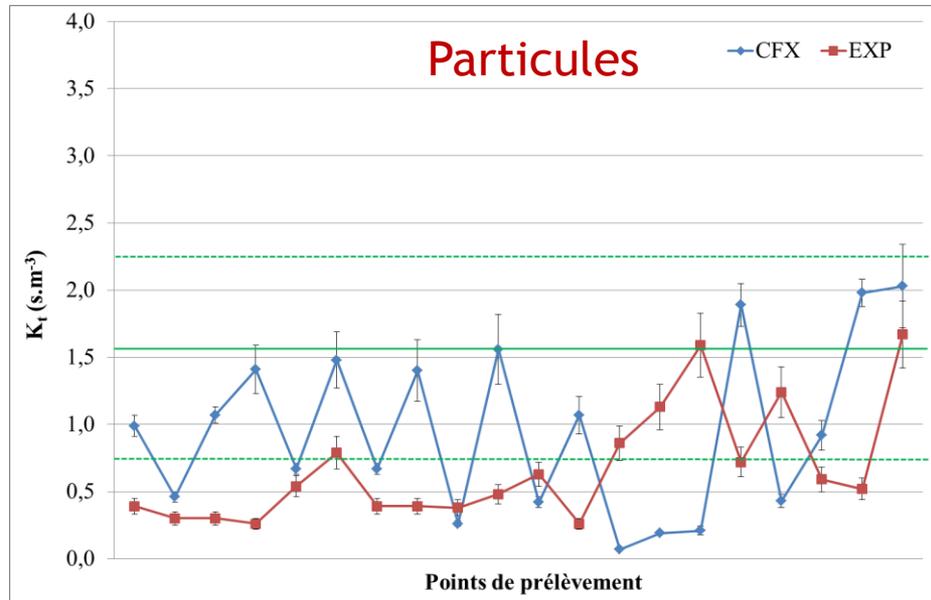
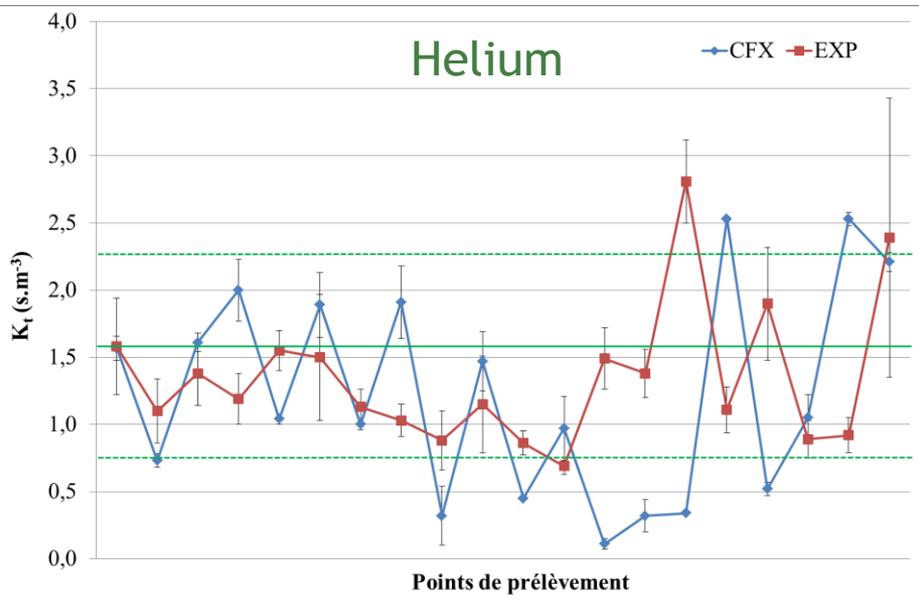
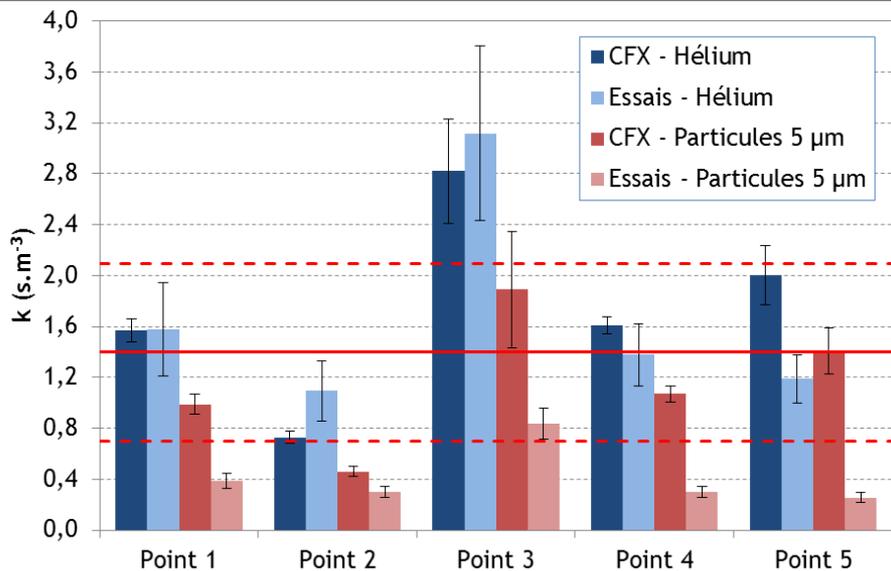
Comparaison code - expériences

Bon accord global code/expérience

Des disparités, mais qui restent dans l'intervalle $K_t \pm 50\%$ pour l'hélium

=> Capacité à évaluer le degré d'hétérogénéité du local

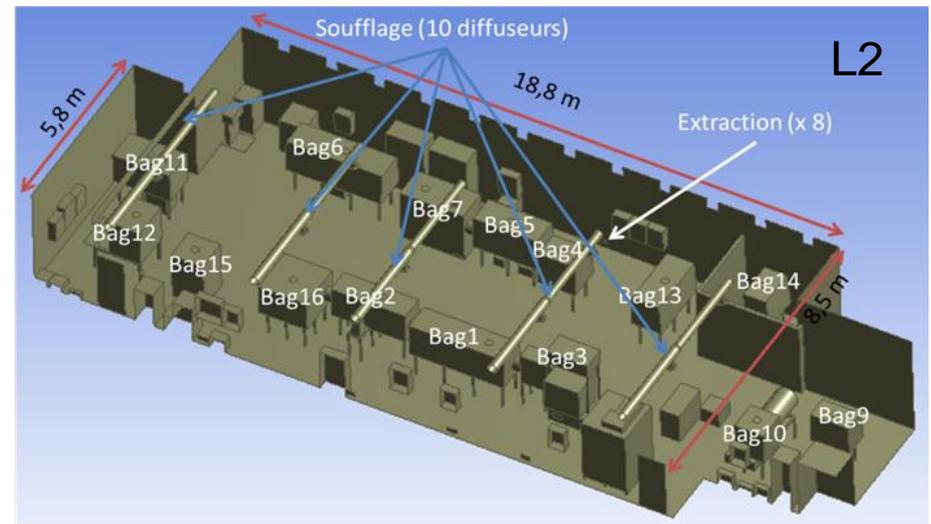
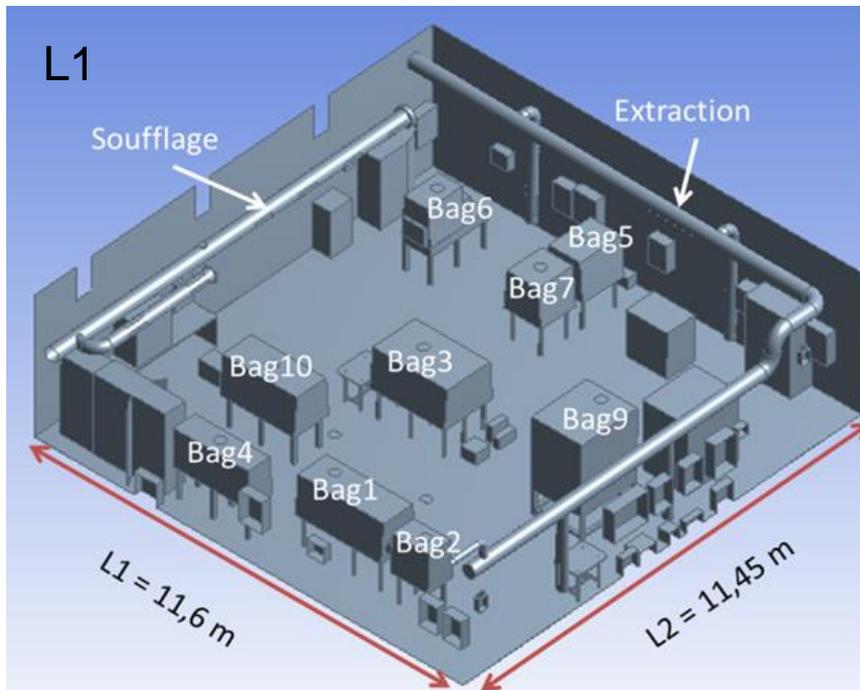
! des écarts plus importants pour les particules



Applications à d'autres locaux

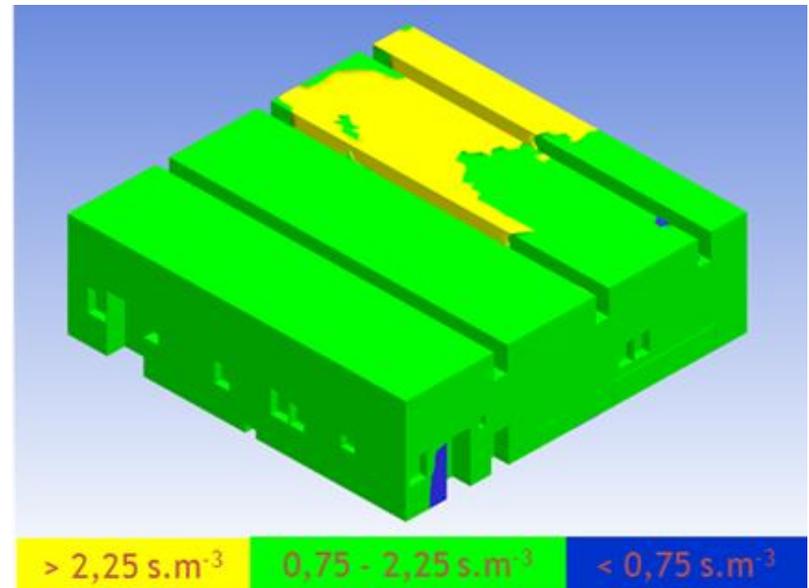
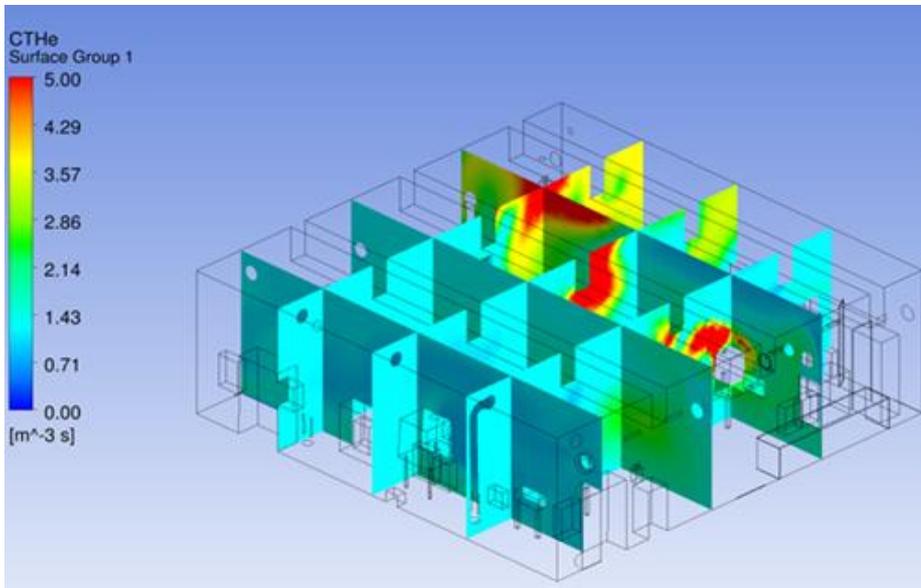
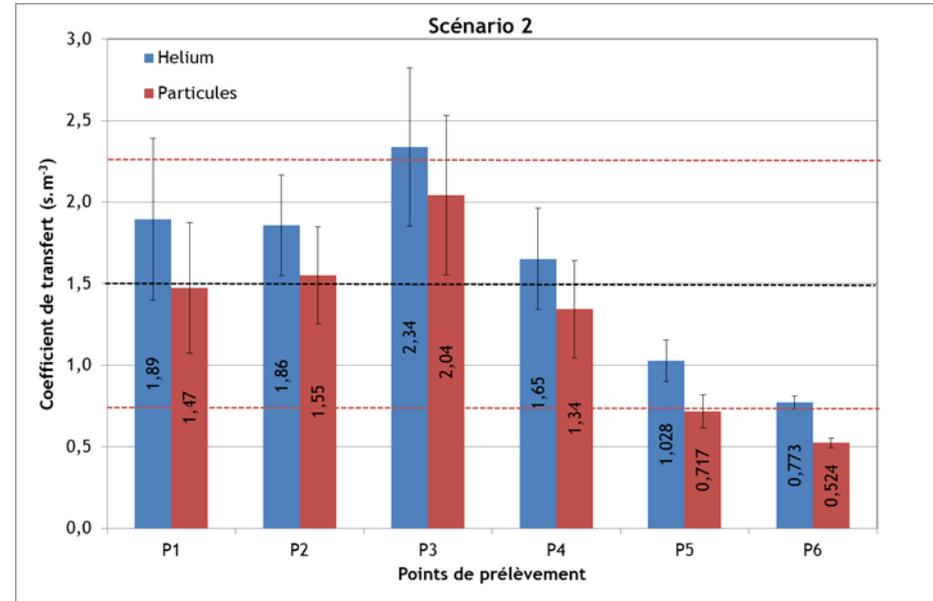
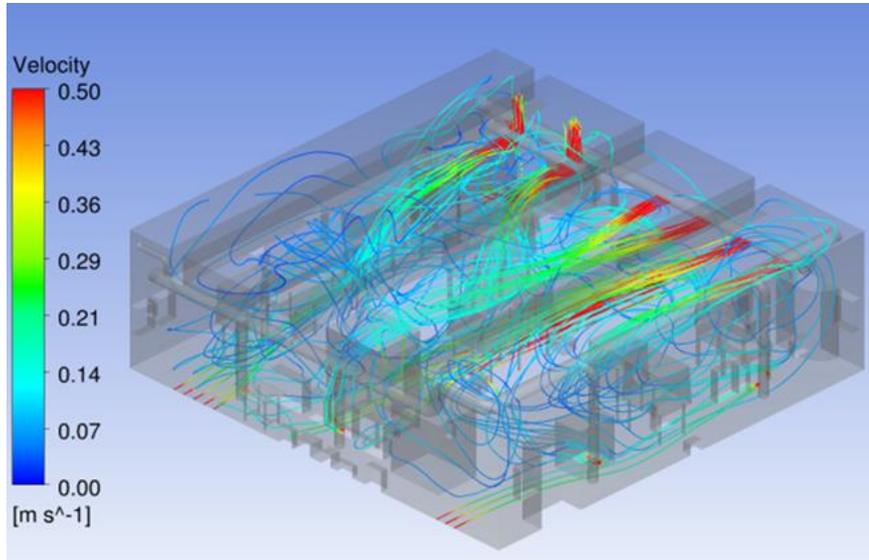
La première étape a montré la capacité du code à évaluer l'hétérogénéité d'un local et à permettre un positionnement optimal des préleveurs d'ambiance

Après cette première étape permettant de s'assurer de la pertinence des résultats du code, deux autres locaux (L1 et L2) ont été étudiés de manière prédictive

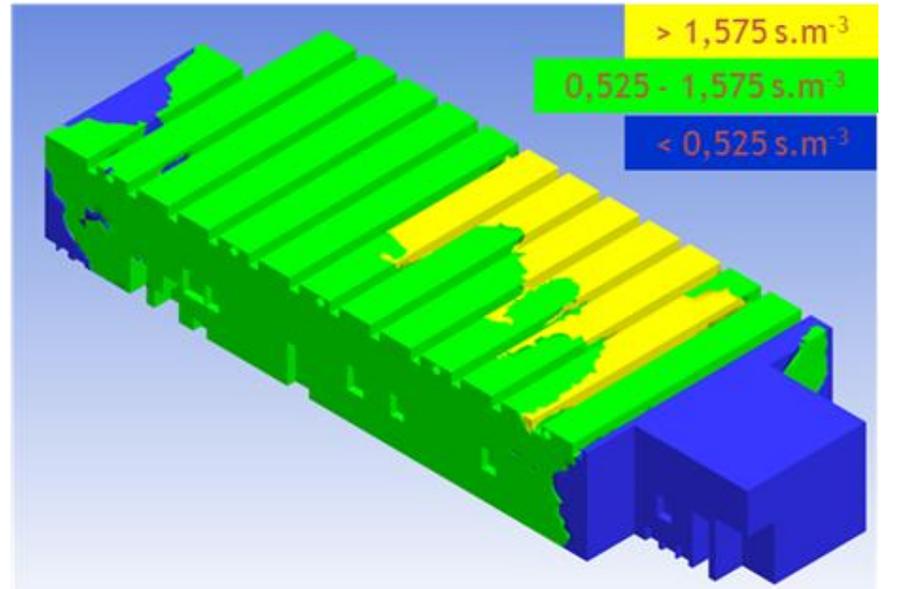
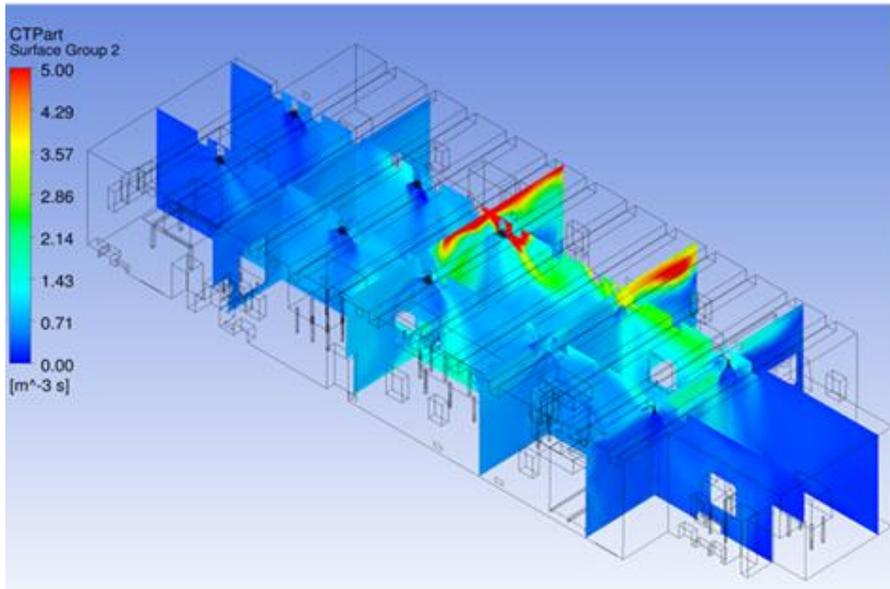
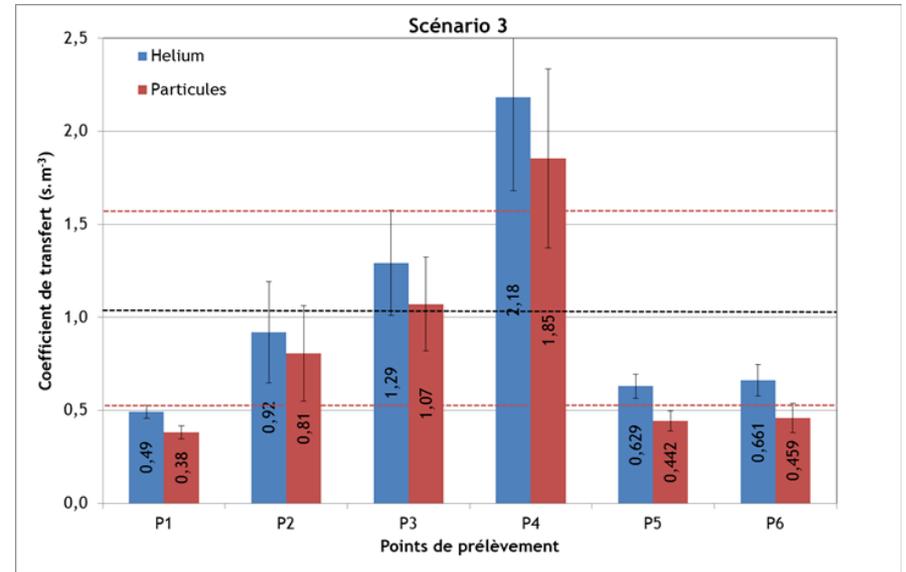
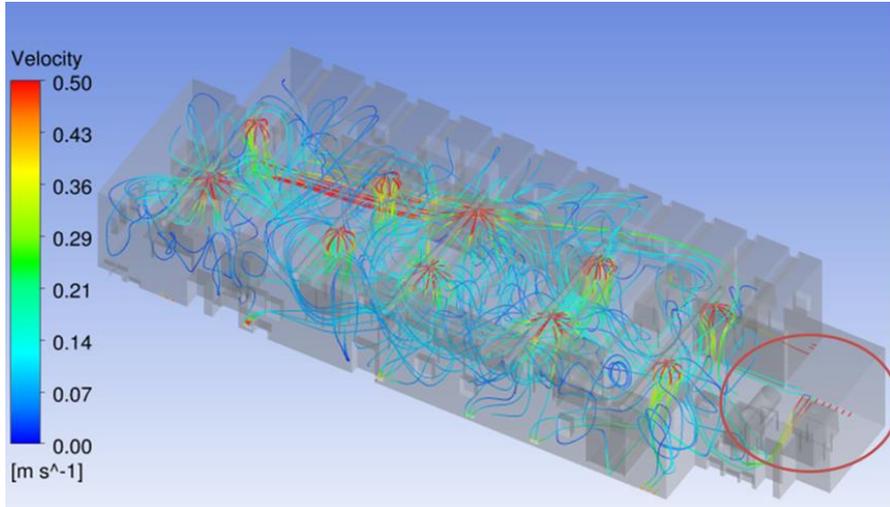


➔ Évaluer le degré d'hétérogénéité des locaux afin de positionner au mieux les préleveurs d'ambiance

Applications à d'autres locaux



Applications à d'autres locaux



Une première étape permettant de conforter les capacités du code à rendre compte de l'hétérogénéité d'un local et à aider au positionnement de préleveurs d'ambiance

⇒ Possibilité de distinguer et de quantifier assez précisément les zones « mortes »

Une application prédictive à deux autres locaux montrant aussi les capacités d'adaptation du code à diverses configurations plus ou moins complexes

Étude réalisée sur des locaux d'installations nucléaires mais méthodologie applicable à tout type de locaux industriels