

APPORT DE LA SIMULATION CFD DANS L'AIDE A L'IMPLANTATION DE PRELEVEURS D'AMBIANCE DANS LES LOCAUX DES INSTALLATIONS NUCLEAIRES

T. Gélain¹, J. Richard¹

¹ Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), PSN-RES, SCA,
Gif-sur-Yvette, 91192, France

1. INTRODUCTION

Dans les locaux des installations nucléaires où peuvent être manipulées de nombreuses substances chimiques et radioactives, la bonne implantation des préleveurs d'ambiance dédiés à la détection d'une éventuelle contamination de l'air ambiant est un enjeu majeur pour la sécurité des travailleurs, mais également pour la protection de l'environnement.

La vérification de cette bonne implantation est généralement mise en œuvre par le biais de campagnes de mesures expérimentales parfois complexes à réaliser et, dans la plupart des cas, coûteuses en moyens humains et matériels.

La présente étude a pour but de montrer l'intérêt d'utiliser un code de calcul CFD (Computational Fluid Dynamics) pour aider à l'implantation de ces préleveurs dans les laboratoires à risque. Une campagne « test » en deux étapes a pu être réalisée dans une installation nucléaire dédiée aux recherches sur le cycle du combustible. La première étape a consisté à réaliser une étude comparative numérique et expérimentale de la caractérisation de la ventilation et des transferts de contaminants dans un des laboratoires de l'installation, afin de vérifier le bon accord entre les deux approches. Dans un second temps, une étude numérique prédictive a été mise en œuvre pour aider à l'implantation de préleveurs d'ambiance dans des laboratoires nouvellement créés. Dans le cadre de cet article, nous ne présenterons que la première étape de l'étude numérique.

2. PRESENTATION DU LOGICIEL ANSYS CFX ET MODELISATION ASSOCIEE

Le logiciel ANSYS CFX [1] 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 particuliers, avec prise en compte d'éventuels échanges thermiques et changements de phase. La modélisation CFD consiste à découper le domaine d'étude en un grand nombre de mailles sur lesquelles sont résolues les équations de conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie (équations de Navier-Stokes). La version du logiciel utilisée pour cette étude est la version 8.

De plus, afin de traiter des problèmes impliquant la présence d'aérosols, des modèles de transport et de dépôt de particules, développés à l'IRSN [2], ont été implémentés dans le logiciel. Ainsi, ce dernier fournit, à chaque instant et en chaque point du maillage précédemment défini, la valeur des grandeurs d'intérêt (vitesse des écoulements d'air, concentration en aérosols, etc.)

3. ETUDE NUMERIQUE

3.1. Objectifs

L'objectif de ces simulations est de déterminer si l'emplacement des balises de radioprotection disposées dans un laboratoire (nommé « L7 ») d'une installation nucléaire est optimal eu égard à la dispersion de contaminants susceptible de se produire dans le local pour différents scénarios incidentels.

Ce laboratoire de 250 m³ (cf. figure 1) présente un encombrement important lié à la présence de sorbonnes et de boîtes à gant (BAG). Il dispose d'un réseau de ventilation comprenant un réseau de soufflage se terminant par des diffuseurs d'air et de deux réseaux d'extraction, le premier étant un réseau d'ambiance, le second, appelé « réseau procédé », étant dédié à l'extraction des BAG et des sorbonnes. Afin d'assurer la sécurité des travailleurs présents dans ce laboratoire, deux systèmes de mesure de la contamination atmosphérique, comprenant chacun un capteur de mesure pour la radioactivité α et un capteur de mesure pour la radioactivité β , sont disposés dans le laboratoire et identifiés sur la figure 1 par les points de prélèvement 1 et 2.

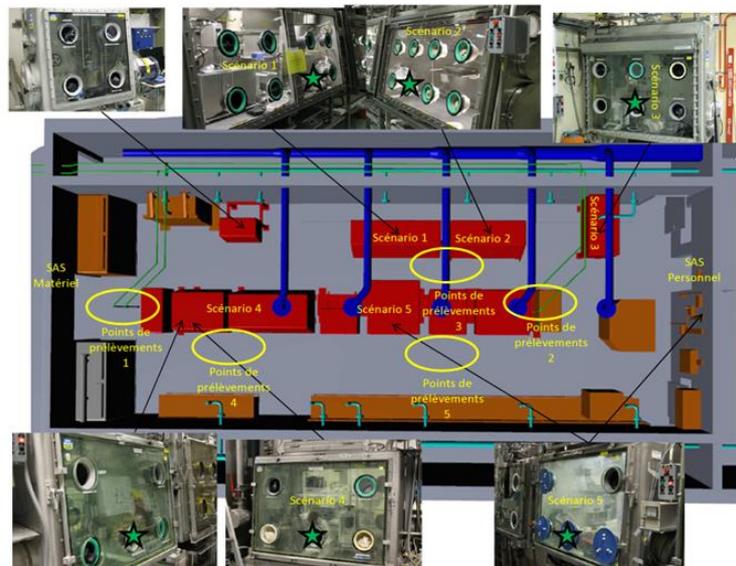


Figure 1 – Schéma du laboratoire L7

Une caractérisation numérique des transferts de contamination gazeuse (hélium) et particulaire (aérosols monodispersés de diamètre aérodynamique 5 μm) par des calculs CFD est donc proposée afin de juger de la pertinence de l'emplacement des points de prélèvement. Différents scénarii d'émission de traceur ont été proposés par l'exploitant du laboratoire ; un seul est présenté dans cette communication. Les résultats de cette étude numérique sont par ailleurs comparés aux résultats d'une étude expérimentale par traçage gazeux et traçage particulaire, réalisée par l'IRSN dans ce laboratoire.

3.2. Simulations

La réalisation des simulations CFD avec le logiciel ANSYS CFX nécessite différentes étapes qui sont successivement : la construction du domaine de calcul, son maillage, la réalisation du jeu de données, les simulations et finalement le post-traitement des résultats.

3.2.1. Géométrie et maillage du domaine de calcul

La géométrie modélisée est présentée à gauche sur la figure 2. On notera que cette géométrie prend bien en compte l'encombrement des BAG et des sorbonnes. Toutefois, les écoulements à l'intérieur de ces éléments ne sont pas modélisés.

Pour réaliser les simulations, la géométrie doit ensuite être discrétisée en petits éléments (mailles). Ce maillage est réalisé avec le logiciel ANSYS Meshing et présenté à droite sur la figure 2. Il est constitué de 15 millions d'éléments tétraédriques, dont la taille varie entre 5 mm et 25 cm. Un raffinement a été réalisé spécifiquement au niveau des zones d'injection du traceur gazeux et des particules simulant les émissions incidentelles.

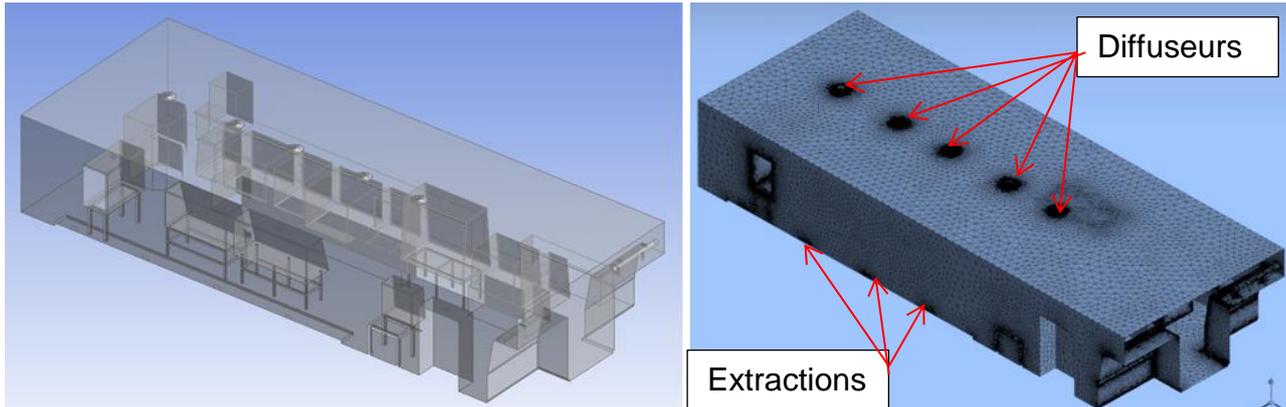


Figure 2 – Géométrie du laboratoire L7

3.2.2. Jeu de données

Le lancement des simulations nécessite la réalisation d'un jeu de données à partir du maillage réalisé précédemment. Ce jeu de données permet de définir les données d'entrée qui ont été transmises par l'exploitant, ainsi que les conditions aux limites du domaine de calcul constituées par les bouches de soufflage (avec une valeur de débit total de $2154 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ réparti sur 5 diffuseurs situés au plafond), les bouches d'extraction (avec une valeur de débit total de $1544 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ réparti sur 9 bouches), les extractions du réseau « procédé » (avec une valeur de débit total de $799 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ pour l'ensemble des BAG sorbonnes et hottes du local), les parois, les fuites au travers des portes (avec une valeur de débit total de $189 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$).

Le domaine de calcul est constitué du laboratoire L7 et les paramètres numériques des calculs sont rappelés dans le Tableau 1. Tous les calculs sont réalisés en transitoire.

Tableau 1 - Paramètres des calculs

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

3.3. Résultats

3.3.1. Caractérisation aéraulique du laboratoire L7

Afin de bien appréhender les écoulements dans le laboratoire et de s'assurer que la valeur du taux de renouvellement théorique du local est bien retrouvée par la simulation, une caractérisation de l'aéraulique de ce laboratoire a tout d'abord été réalisée. Elle consiste à simuler l'injection, en faible quantité, d'un traceur gazeux (hélium) au niveau du réseau de soufflage du local et à suivre l'évolution de sa concentration à l'extraction. Lorsque la concentration du traceur, moyennée sur toutes les extractions du local, atteint une valeur stationnaire, C_{eq} , l'injection est arrêtée et la décroissance de la concentration d'hélium dans le local, $C(t)$, est suivie jusqu'à épuration. La courbe de décroissance de la grandeur $G(t) = \ln\left(\frac{C(t) - C_{air}}{C_{eq} - C_{air}}\right)$ où C_{air} est la concentration d'hélium naturellement présent dans l'air ambiant (environ 5 ppm), est ensuite analysée en fonction du temps. Si la ventilation du local est homogène, cette décroissance est linéaire et sa pente permet de déterminer le taux de renouvellement du local. En l'occurrence, un taux de renouvellement de $9,4 \text{ h}^{-1}$ a été déterminé à partir du calcul CFD, pour un taux théorique évalué à $9,45 \text{ h}^{-1}$, ce qui permet de conforter la modélisation réalisée.

3.3.2. Caractérisation des coefficients de transfert dans le laboratoire L7

Afin d'évaluer la pertinence de l'emplacement des capteurs de mesure, une méthode basée sur la caractérisation des coefficients de transfert est utilisée. Elle consiste à simuler l'injection d'un traceur à un endroit donné du local pour un débit donné q_{source} et à suivre sa concentration à l'équilibre $C_{eq,i}$ en différents point i du local pour en évaluer un « coefficient de transfert continu » $K_{t,i}$ calculé par $K_{t,i} = \frac{C_{eq,i}}{q_{source}}$. Un renouvellement d'air homogène du local se traduit par des valeurs de coefficients de transfert continus à l'équilibre relativement homogènes à partir d'une certaine distance des sources d'émission des traceurs et en dehors des zones d'apport d'air frais. Dans ces conditions homogènes, un coefficient de transfert théorique peut être calculé à partir du débit d'extraction du local Q_e par $K_t = \frac{1}{Q_e}$ soit, dans le cas de ce laboratoire dont $Q_e = 2343 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, un coefficient $K_t = 1,54 \text{ s} \cdot \text{m}^{-3}$.

Pour le scénario d'émission incidentelle présenté ici (scénario 2), les emplacements de l'injection de traceur (S2), ainsi que des points de prélèvement (P1 à P5), sont rappelés sur la figure 3, P1 et P2 représentant la position des préleveurs d'ambiance dans le laboratoire.

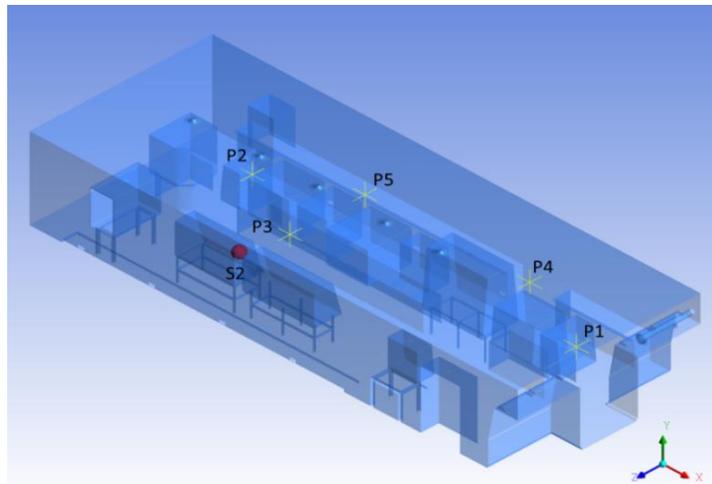


Figure 3 - Emplacement de l'injection et des points de prélèvement P1 à P5

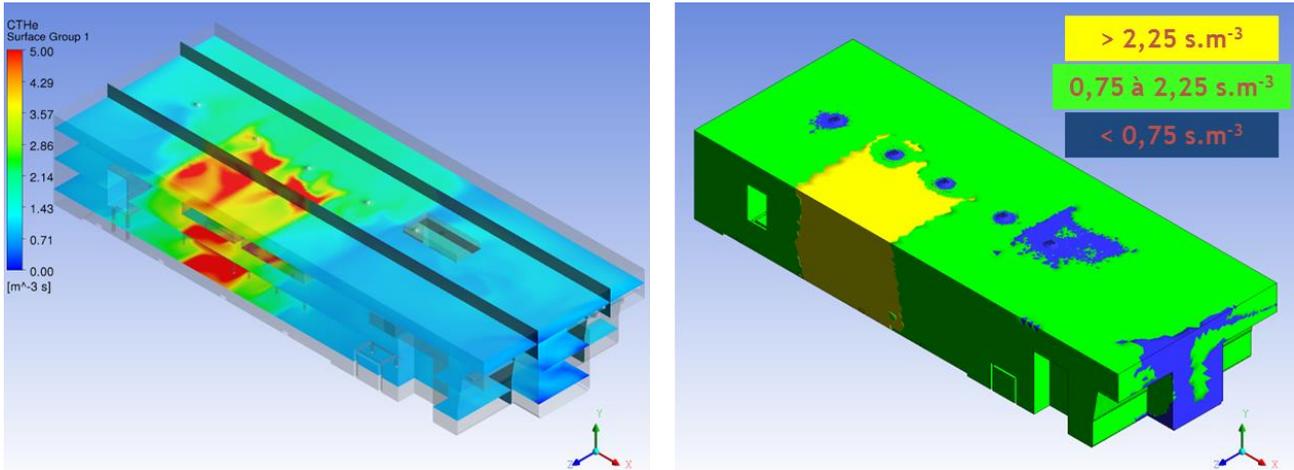


Figure 4 - Champs et iso-volumes de coefficients de transfert en hélium pour le scénario 2

La figure 4 montre à gauche des champs de coefficients de transfert d'hélium, en régime stationnaire, sur différents plans horizontaux et verticaux du local et à droite la répartition de l'hélium dans le local sous la forme d'iso-volumes de coefficients de transfert : inférieur à $0,75 \text{ s.m}^{-3}$ (bleu), entre $0,75$ et $2,25 \text{ s.m}^{-3}$ (vert), i.e. autour de la valeur théorique précédemment calculée de $1,54 \text{ s.m}^{-3}$, et supérieur à $2,25 \text{ s.m}^{-3}$ (jaune).

La figure 4 montre une répartition assez homogène des coefficients de transfert. Trois zones principales sont mises en évidence : une zone proche de l'injection qui représente environ 15 % du volume utile total du local, une zone intermédiaire qui représente environ 84 % du volume utile total et une dernière zone qui représente environ 1 % du volume utile total.

Le même type de simulation a également été réalisé en injectant des particules de $5 \mu\text{m}$ à la place de l'hélium. Ce calcul met en évidence une répartition des particules dans le local semblable à celle de l'hélium, mais avec des valeurs de coefficients de transfert inférieures à celles de l'hélium. En effet, contrairement à ce dernier, les particules de cette taille sont soumises à diverses forces (pesanteur, inertie,...). Ces dernières induisent une légère vitesse de dérive des particules par rapport au gaz porteur et contribuent à les faire se déposer sur les différentes parois du local (sol, boîtes à gants,...).

Les valeurs des coefficients de transfert pour l'hélium et pour les particules au niveau des points de prélèvements indiqués sur la figure 3 sont présentées sur la figure 5 en comparaison des résultats expérimentaux mesurés sur site *a posteriori*.

L'analyse des points de prélèvement présentés sur la figure 5 montre ainsi une répartition des coefficients de transfert assez homogène, caractérisée par des valeurs relativement proches de celle du coefficient théorique K_t mesuré sur site et égal à $1,4 \text{ s.m}^{-3}$. Le point P3 n'est pas présenté sur cette figure car sa proximité avec la source d'injection engendre naturellement un coefficient de transfert particulièrement élevé.

La comparaison aux valeurs expérimentales montre une concordance satisfaisante, malgré quelques écarts qui restent dans un intervalle raisonnable.

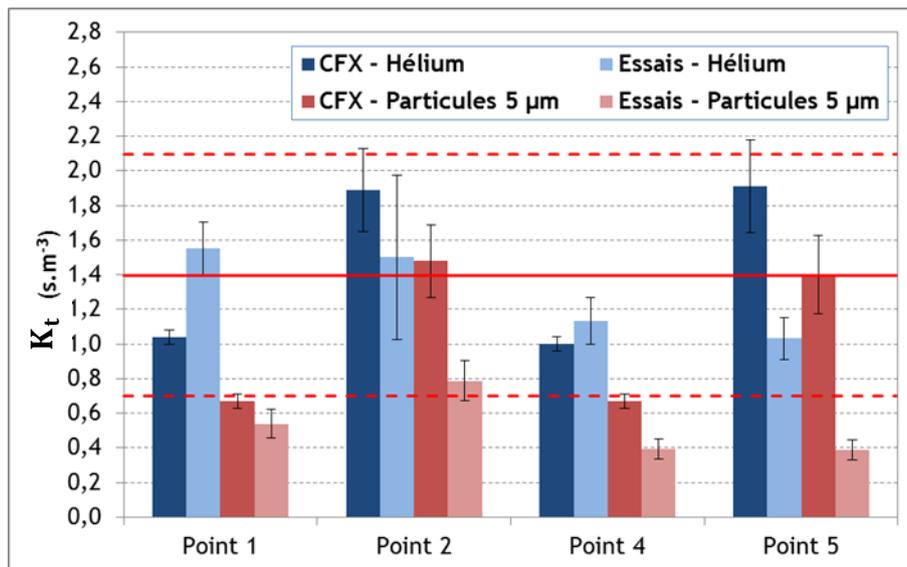


Figure 5 - Coefficients de transfert en hélium et en particules

4. CONCLUSION

Cet article présente les résultats d'une étude numérique visant à évaluer la pertinence de l'implantation de préleveurs d'ambiance dans un laboratoire d'une installation nucléaire. Les résultats présentés dans cet article pour un scénario donné ont été comparés à ceux obtenus dans le cadre d'une étude expérimentale réalisée in situ et montrent une concordance satisfaisante.

Au regard de l'ensemble des résultats obtenus sur les 5 scénarii réalisés (dont un seul est présenté ici), cette première étape permet de conforter l'utilisation du logiciel ANSYS CFX pour optimiser l'implantation de préleveurs d'ambiance dans des locaux où ceux-ci ne sont pas encore positionnés. Cette étude a ainsi permis, par la suite, de conforter les choix d'implantation de préleveurs d'ambiance dans d'autres locaux du même exploitant qui ne sont pas encore équipés.

Une telle approche peut être appliquée, au-delà de l'industrie nucléaire, dans tous les secteurs industriels où la surveillance des ambiances de travail est une préoccupation eu égard au risque de dispersion de polluants.

5. REFERENCES

- [1] ANSYS CFX-Solver Theory Guide. Release 18.0.
- [2] P. Nérison, O. Simonin, L. Ricciardi, J. Fazilabasse (2011). Improved CFD transport and boundary conditions models for low-inertia particles. Computers & Fluids, Vol.40, pp 79 – 91.