

Etude d'un feu dans un ensemble de locaux ventilés mécaniquement

B. KADOCH ^{a,b}, A. KAISS ^{a,b}, Y. PIZZO ^{a,b}, C. LALLEMAND ^c, N. SARDOY ^c, B. PORTERIE ^{a,b}

a. Aix-Marseille Université, CNRS, IUSTI UMR 7343, 13453 Marseille, France

b. ETiC (IRSN/AMU/CNRS), 13453 Marseille, France

c. DGA Techniques Navales, avenue de la Tour Royale, BP 40195, 83050 Toulon cedex, France

Résumé :

La compréhension des incendies dans des structures confinées et ventilées mécaniquement est un enjeu important pour la prévention et la sécurité incendie. L'incendie fait intervenir des phénomènes multiphysique et multi-échelle, ce qui rend complexe leur modélisation. La propagation des produits de combustion et des fumées d'un local à un autre nécessite une attention particulière car on retrouve ces structures multi-compartmentées dans de nombreux bâtiments, en particulier dans les installations nucléaires ou les navires. On présente ici les dernières avancées de l'outil de simulation SAFIR développé conjointement par DGA Tn et l'IUSTI et sa validation par confrontation avec les résultats expérimentaux obtenus dans le cadre du projet PRISME INTEGRAL de l'OCDE/NEA. De type volumes finis, le code SAFIR décrit l'ensemble des phénomènes de base qui régissent le développement et la propagation du feu: transport de gaz, turbulence, combustion turbulente et rayonnement. L'extension, dans SAFIR, de la technique des régions bloquées au cas d'écoulements complexes a permis une meilleure description des échanges avec les régions solides présentes dans le domaine de calcul. La configuration étudiée est celle de trois locaux séparés par des portes et d'un corridor, ventilés mécaniquement. Les murs sont en béton, certaines parois et le plafond ont été isolés avec de la laine de roche. Le combustible liquide utilisé est du dodécane ($C_{12}H_{26}$). La validation, en termes de températures et vitesses aux ouvertures, montre un très bon accord entre le calcul et l'expérience. Les écarts observés sur les concentrations de O_2 et CO_2 sont discutés.

Abstract :

The knowledge of fire in confined and mechanically-ventilated structures is an important issue for fire prevention and safety. Fire modeling is very complex due to its multi-physics and multi-scale nature. The propagation of combustion products and smoke from room to room requires a careful attention since these multi-compartment structures can be found in many buildings, especially in nuclear plants and ships. This study shows the last developments of SAFIR, a numerical tool which has been developed by both DGA Tn and IUSTI, and its validation by comparison with experimental results obtained in the frame of the OCDE/NEA PRISME INTEGRAL project. SAFIR is a finite-volume code which describes the basic phenomena involved in the fire development and propagation: gas transport, turbulence, turbulent combustion and radiation. The extension in SAFIR of the blocked-off region technique for complex flows enables a better description of the gas-solid interaction within the computational domain. The configuration studied is that of four mechanically-ventilated rooms. Concrete walls are used for the structure and some walls are thermally insulated with Rock-wool panels. Dodecane ($C_{12}H_{26}$) is used as fuel. The comparison with experiments, in terms of temperature and velocity at doors shows a good agreement. Discrepancies observed in O_2 and CO_2 concentrations are discussed.

Mots clefs : Incendie, multi-compartiments, ventilation mécanique, simulation numérique, expérience, validation.

1 Introduction

La compréhension des incendies dans des milieux compartimentés est un enjeu important pour la prévention et la sécurité incendie. La propagation des produits de combustion et des fumées d'un local à l'autre nécessite une attention particulière car on retrouve ces structures dans de nombreux bâtiments, en particulier dans les installations nucléaires et les navires. Si la simulation numérique d'un incendie est déjà complexe car il fait intervenir des phénomènes multiphysique et multi-échelle, cette complexité s'accroît davantage lorsqu'il se développe dans des structures ventilées mécaniquement. Le niveau de confinement et les variations de pression induites par la ventilation nécessitent en effet un traitement particulier des conditions aux limites et une algorithmique spécifique, notamment en ce qui concerne le couplage pression-vitesse. Cette étude présente les dernières avancées de l'outil de simulation SAFIR développé conjointement par DGA Tn et l'IUSTI [1] et sa validation par confrontation avec les résultats expérimentaux obtenus par l'IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) [2,3].

2 Configuration et description du code numérique

2.1 Configuration de l'essai

La configuration PRISME INTEGRAL est donnée sur la figure 1. Elle est constituée de quatre locaux, L0 à L3, communiquant par des portes de dimensions $6 \times 5 \times 4m^3$. Toutes les parois, à savoir les murs, le plafond et le sol, sont en béton. Le plafond, ainsi que les murs des locaux L2 et L3, sont isolés avec de la laine de roche. Les locaux L0, L1 et L3 sont ventilés mécaniquement. L'extraction se fait dans le local L3, avec un débit nominal de $3100m^3/h$, alors que l'admission a lieu dans les locaux L0 et L1, avec des débits nominaux respectivement de 500 et $2600m^3/h$. Les débits d'admission et d'extraction sont néanmoins réajustés en fonction du niveau de pression dans chacun des locaux.

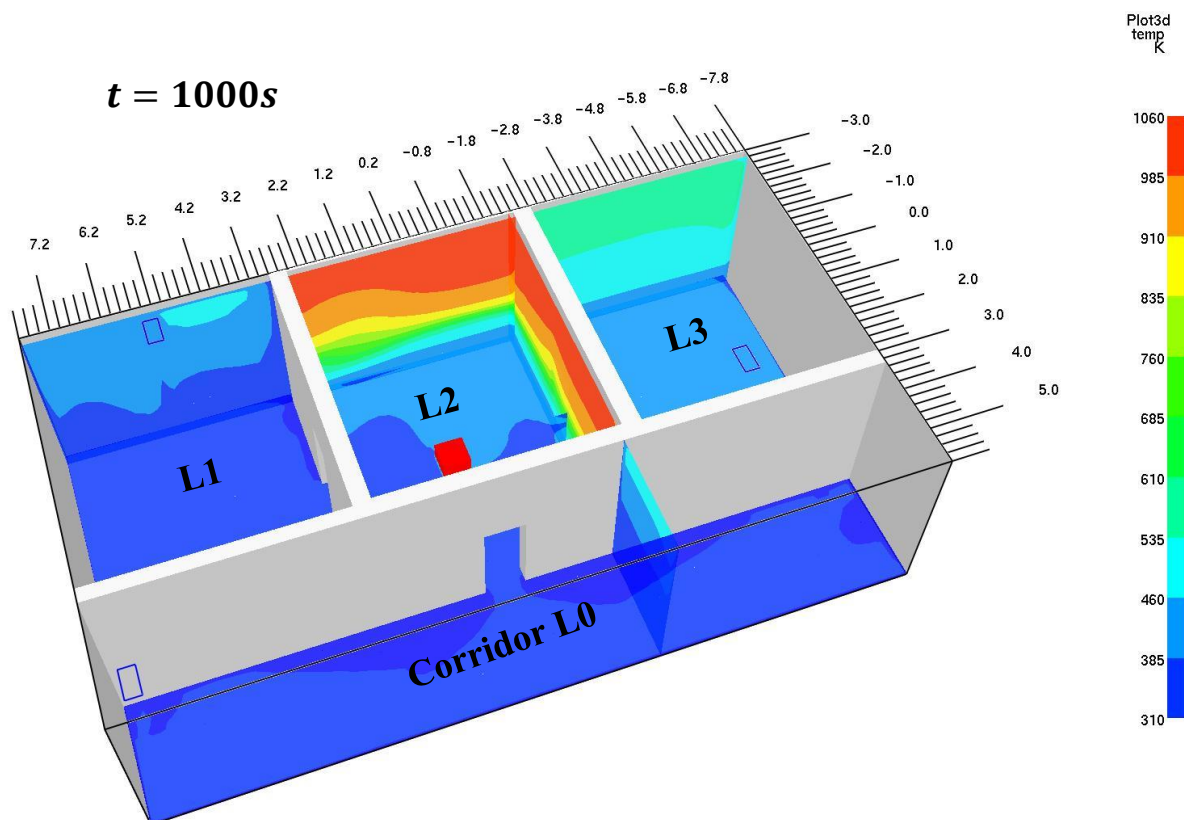


FIG. 1 – Configuration PRISME INTEGRAL : les coupes 2D représentent les champs de température obtenues 1000s après l'allumage du bac de dodécane (parallélepipède rouge au centre de L2). Les rectangles bleus correspondent aux entrées et sorties des ventilations. Les échelles de mesure sont en mètres.

Expérimentalement, nous disposons de mesures temporelles de températures, vitesses et concentrations de

CO_2 et O_2 à différentes hauteurs sous les portes de séparation entre locaux.

Une nappe liquide de dodécane ($C_{12}H_{26}$), utilisé comme combustible, est placée au centre du local L2. Pour la simulation numérique, les pressions et les températures dans les locaux et dans le système de ventilation à l'instant initial sont fournies ainsi que l'évolution au cours du temps de la perte de masse du combustible.

2.2 Description de SAFIR

Le code de simulation SAFIR permet de résoudre les équations tridimensionnelles de conservation en utilisant la méthode des volumes finis. L'ensemble des phénomènes de base qui régissent le développement et la propagation du feu sont ainsi pris en compte: transports de gaz, turbulence, combustion turbulente et rayonnement. Ce travail nous a permis de faire progresser l'outil numérique de simulation par une meilleure description du problème conjugué (conduction/rayonnement/convection) à l'interface solide/gaz et par l'extension de la technique des régions bloquées au cas d'écoulements complexes. Cette technique permet par la modification des équations discrétisées de traiter avec le même algorithme et simultanément les régions solides (obstacles, éléments structurels, etc.) et gazeuse du domaine physique [1]. La conduction est traitée de façon unidimensionnelle pour les parois délimitant le domaine de calcul, mais de façon tridimensionnelle pour les régions bloquées, ici constituées par les cloisons internes.

3 Résultats

La figure 1 montre des coupes bidimensionnelles du champ de température une fois que l'écoulement a atteint un régime quasi-stationnaire. Les températures les plus élevées se situent dans le local source L2 et la stratification thermique apparaît clairement dans ce local. Les températures élevées observées dans le local L3 sont dues au mouvement des fumées chaudes de L2 vers L3, en raison de l'extraction réalisée dans ce dernier, contrairement aux locaux L0 et L1, où une admission d'air a lieu.

Les figures 2 et 3 montrent les évolutions temporelles expérimentales et numériques de la température du gaz au niveau des ouvertures séparant les locaux L0 et L2, puis L2 et L3, et ce, pour différentes hauteurs. On constate un bon accord, notamment pour la couche chaude, correspondant aux capteurs situés à 1.75m de hauteur. L'accord est également bon sous la porte L2/L3 à 1.05m de hauteur, alors que le calcul sous-estime les températures sous la porte L2/L3 à 0.35m de hauteur et sous la porte L0/L2 en partie basse, en raison probablement d'une injection d'air frais trop importante dans les locaux L0 et L1.

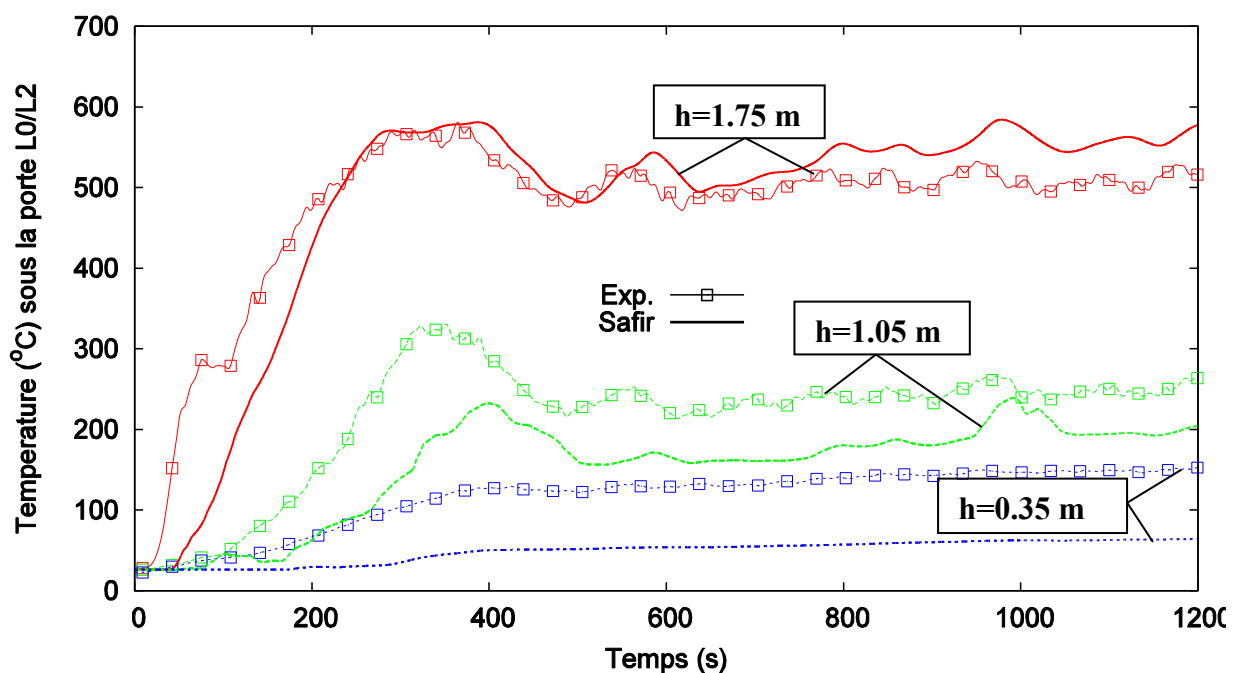


FIG. 2 – Evolution au cours du temps de la température sous la porte L0/L2 pour différentes hauteurs.

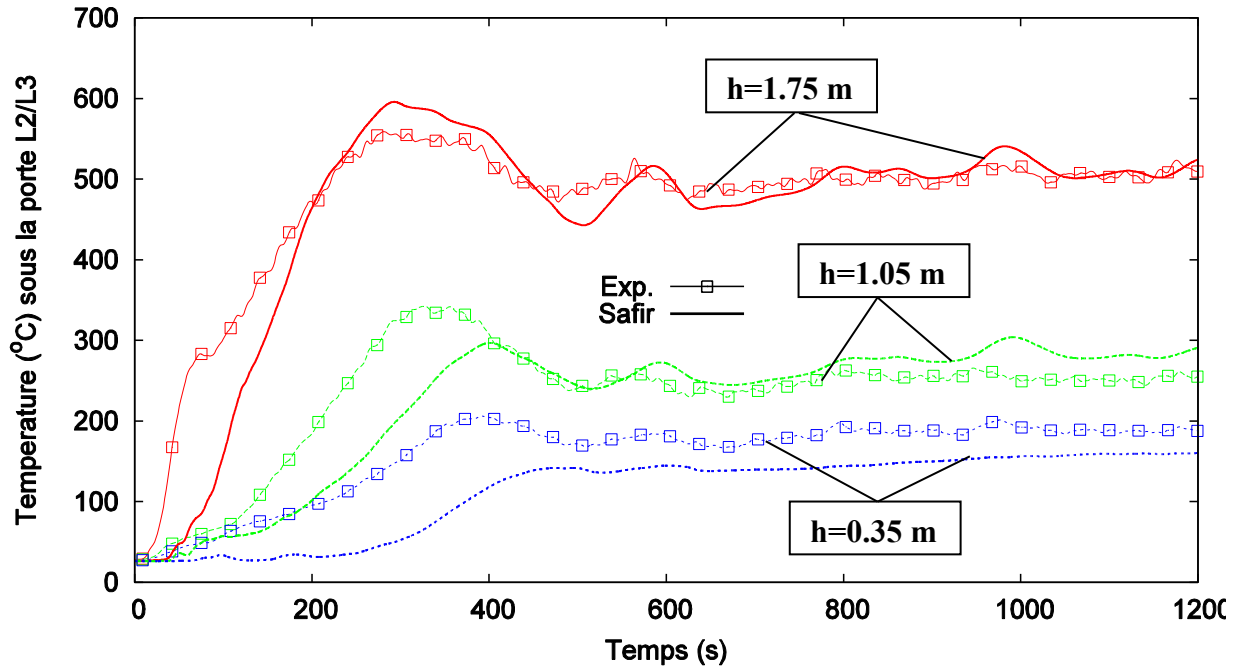


FIG. 3 – Evolution au cours du temps de la température sous la porte L2/L3 pour différentes hauteurs.

Les évolutions temporelles de la vitesse sous la porte L1/L2 à différentes hauteurs sont données sur la figure 4. Les vitesses expérimentales et numériques sont proches, avec une légère sous-estimation pour les hauteurs intermédiaires. Les vitesses les plus élevées sont obtenues en partie haute et correspondent à l'écoulement des fumées chaudes de L2 vers L1, tandis qu'en partie basse, on note des vitesses plus faibles et négatives dues à l'arrivée d'air frais en partie basse dans le local source.

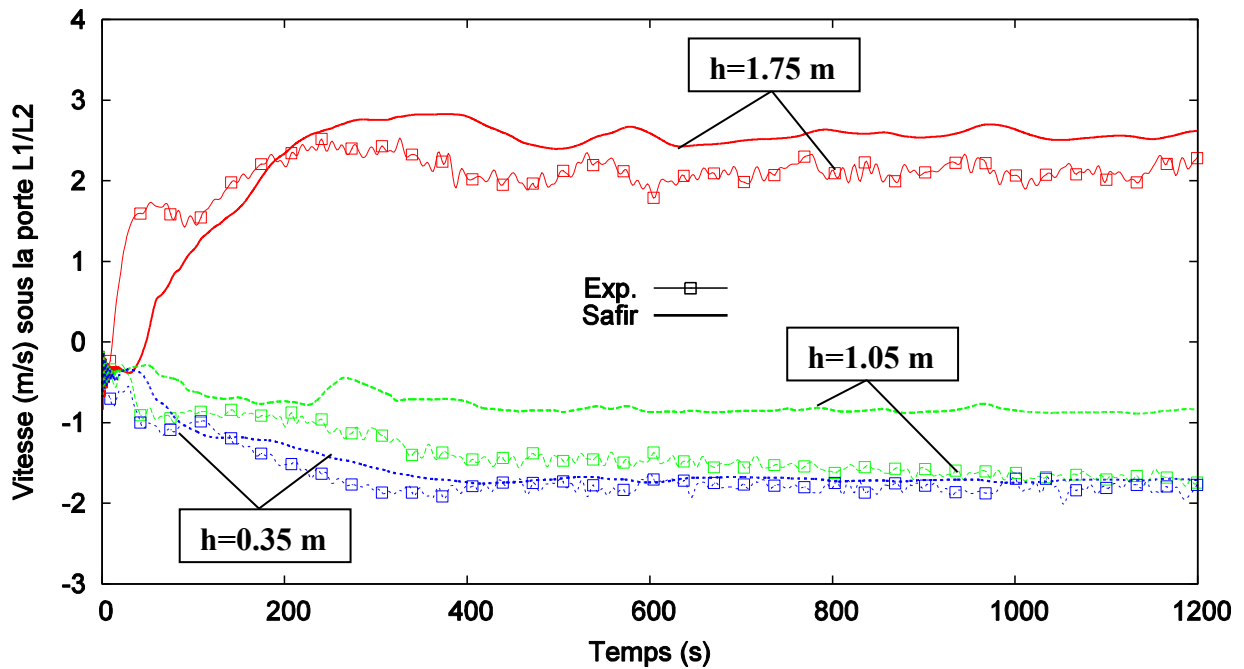


FIG. 4 – Evolution au cours du temps de la vitesse sous la porte L1/L2 pour différentes hauteurs.

Les figures 5 et 6 montrent les concentrations de CO_2 et O_2 dans la partie haute sous les portes L0/L2 et L1/L2, respectivement. Sous la porte L0/L2, les niveaux de concentrations calculés sont en très bon accord

avec ceux déterminés expérimentalement. La concentration de CO_2 augmente jusqu'à atteindre un plateau autour de 5% tandis que celle de O_2 diminue jusqu'à une valeur stationnaire d'environ 10%. Ce comportement traduit une combustion bien reproduite par le modèle. Cependant, sous la porte L1/L2, même si qualitativement les tendances observées sont bonnes, l'accord se dégrade. Les écarts peuvent s'expliquer, comme précédemment pour les températures, par une injection trop forte d'air frais dans le local L1 ou par un niveau de turbulence trop faible qui limiterait le mélange turbulent et donc la combustion turbulente.

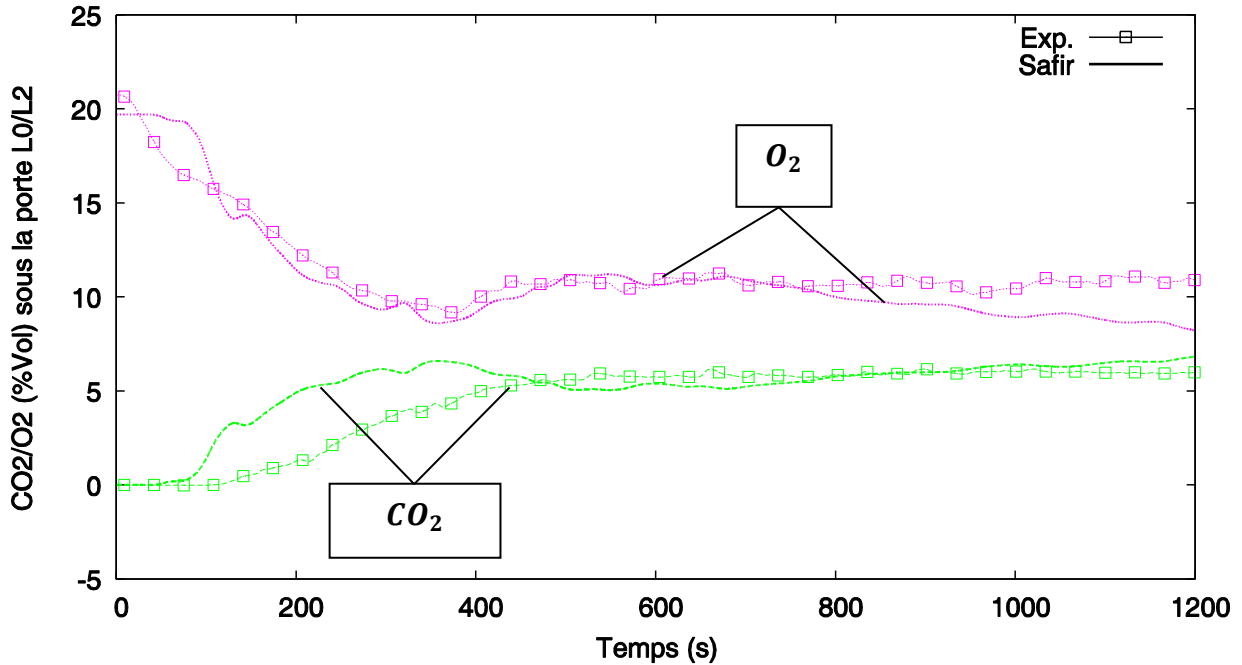


FIG. 5 – Evolution au cours du temps des concentrations de CO_2 et O_2 (%Vol) sous la porte L0/L2 pour une hauteur de 2m.

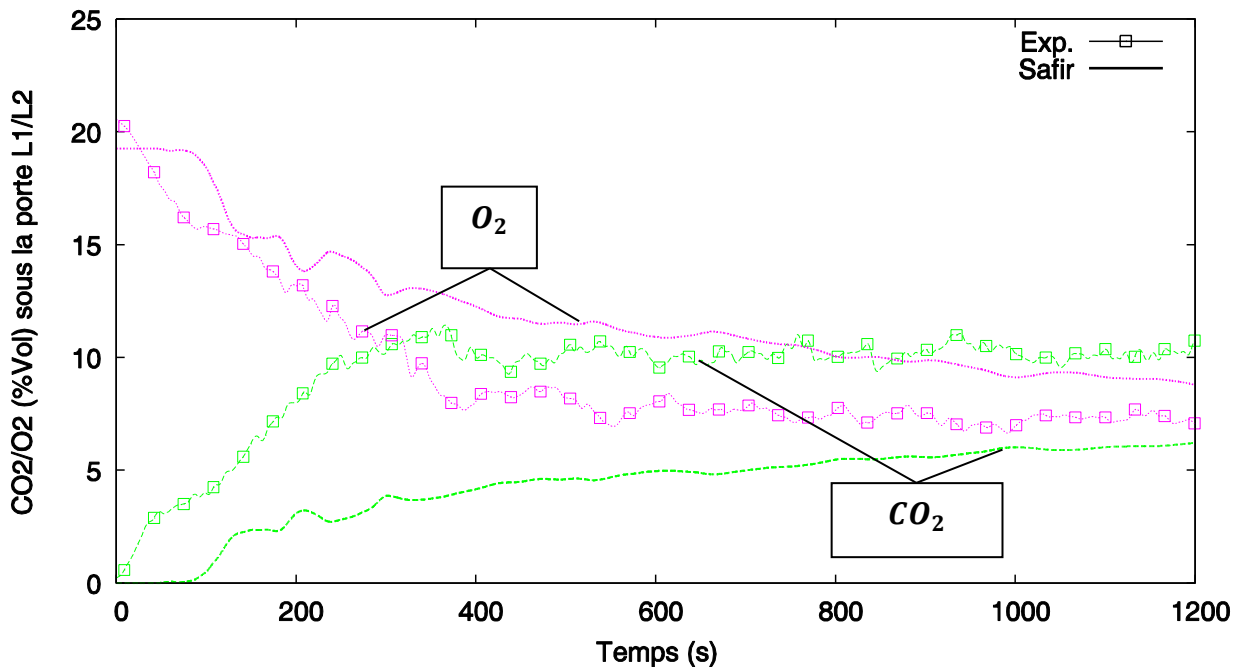


FIG. 6 – Evolution au cours du temps des concentrations de CO_2 et O_2 (%Vol) sous la porte L1/L2 pour une hauteur de 2m.

4 Conclusion

Les codes de simulation numérique représentent désormais des outils d'aide à la décision pour la prévention et la sécurité incendie. Leur validation est indispensable. PRISME INTEGRAL est un cas de validation très complet qui permet l'étude d'un feu dans une structure multi-compartmentée ventilée mécaniquement. Les dernières avancées du code SAFIR ont consisté à améliorer les modèles et schémas numériques utilisés pour la simulation de la propagation d'un incendie, ce qui se traduit par un bon accord entre les résultats expérimentaux et numériques obtenus dans le cadre du programme PRISME INTEGRAL. Si les évolutions au cours du temps des températures, vitesses et concentrations de CO_2 et O_2 sont en général bien reproduites par le modèle, des écarts sont observés qui permettent d'orienter nos efforts vers l'amélioration de certains sous-modèles (e.g. combustion turbulente) ou le traitement de conditions aux limites particulières, comme celles liées à l'admission et à l'extraction dans les structures multi-compartmentées.

References

- [1] Consalvi et al., Numerical Heat Transfer B (Fundamentals), 419-441, 2005.
- [2] Pretrel et al., PRISME INTEGRAL Programme, PRS_INT_4 et PRS_INT_6 test report, 2010.
- [3] Rigollet, Fire code validation on PRISME INTEGRAL Tests 4 and 6, 2012.