

Etude du comportement d'un feu dans une structure multi-compartmentée et ventilée mécaniquement

Benjamin Kadoch^{1,4}, Ahmed Kaiss^{1,4}, Yannick Pizzo^{1,4}, Christine Lallemand³,
Sylvain Suard^{2,4}, Bernard Porterie^{1,4}

¹Aix-Marseille Université, CNRS, IUSTI UMR 7343, 13453 Marseille, France

²IRSN, DPAM, Cadarache, 13108 Saint-Paul-lez-Durance, France

³DGA Techniques Navales, avenue de la Tour Royale, BP 40195, 83050 Toulon cedex, France

⁴ETiC (IRSN/AMU/CNRS), 13453 Marseille, France

benjamin.kadoch@polytech.univ-mrs.fr,

ahmed.kaiss@polytech.univ-mrs.fr, yannick.pizzo@polytech.univ-mrs.fr,

christine.lallemand@dga.defense.gouv.fr, sylvain.suard@irsn.fr, bernard.porterie@polytech.univ-mrs.fr

Résumé :

La compréhension des incendies dans des structures multi-compartmentées, confinées et ventilées mécaniquement, est un enjeu important pour la prévention et la sécurité incendie. L'incendie fait intervenir des phénomènes multi physique et multi échelle, ce qui rend complexe sa modélisation. A ce stade de développement, l'outil de simulation SAFIR, développé conjointement par DGA Tn et l'IUSTI, est ici confronté aux résultats expérimentaux obtenus dans le cadre du projet PRISME de l'OCDE/NEA, pour deux configurations simples. La première, PRISME SOURCE, est constituée d'un local ventilé mécaniquement. La deuxième, PRISME DOOR, comprend deux locaux séparés par une porte et ventilés mécaniquement. Une nappe liquide de dodécane a été utilisée. La validation, en termes de température, vitesse et concentrations montre un très bon accord entre le calcul et l'expérience.

Mots clés : 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, les immeubles de grande hauteur et les navires. Si la simulation numérique d'un incendie est déjà complexe car il fait intervenir des phénomènes multi physique et multi échelle, cette complexité s'accroît davantage lorsqu'il se développe dans des structures confinées et 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) [2-5].

2. Configuration et description du code numérique

2.1. Configuration des essais

La configuration PRISME SOURCE [2,3] comprend un local ventilé mécaniquement (figure 1) et la configuration PRISME DOOR [4,5] est constituée de deux locaux séparés par une porte et ventilés mécaniquement (figure 2). Les parois pour les deux configurations sont en béton et le plafond a été isolé avec de la laine de roche. Une nappe liquide de dodécane ($C_{12}H_{26}$), utilisé comme combustible, est placée au centre d'un des deux locaux. 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. Les débits d'admission et d'extraction sont néanmoins recalculés au cours du temps en fonction du niveau de pression dans chacun des locaux. Expérimentalement, nous disposons de mesures temporelles de températures, vitesses et concentrations de CO_2 et O_2 à différentes hauteurs près d'un des coins pour PRISME SOURCE et sous la porte de séparation des deux locaux pour PRISME DOOR.

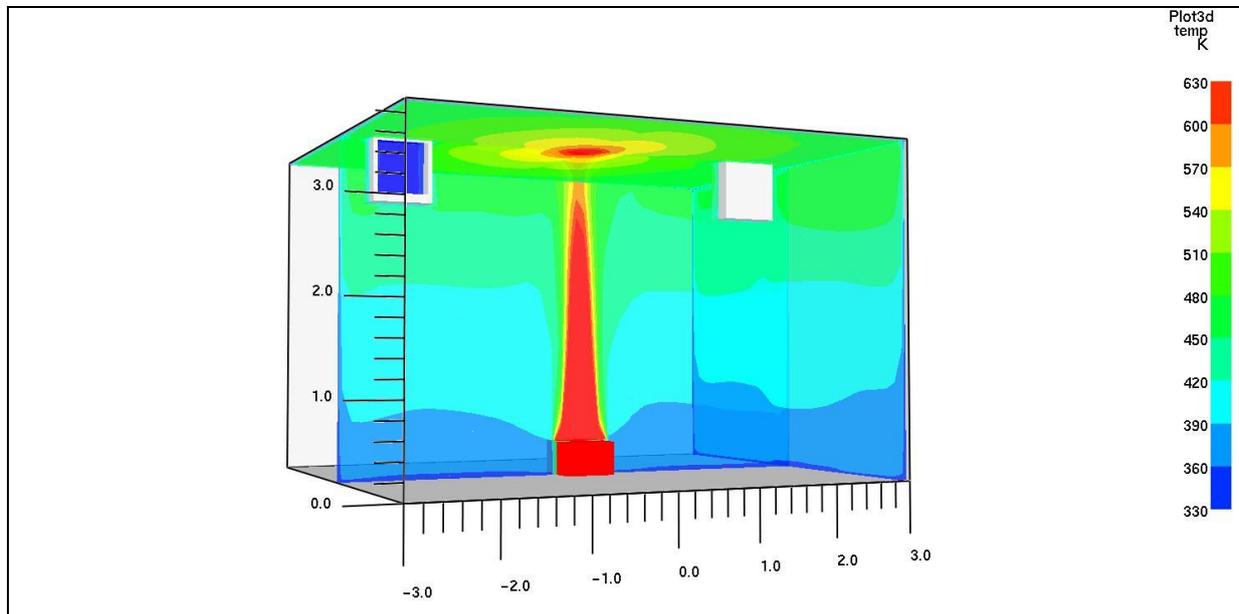


Figure 1 : Coupes 2D de la température dans la configuration PRISME SOURCE à $t=2000\text{s}$.

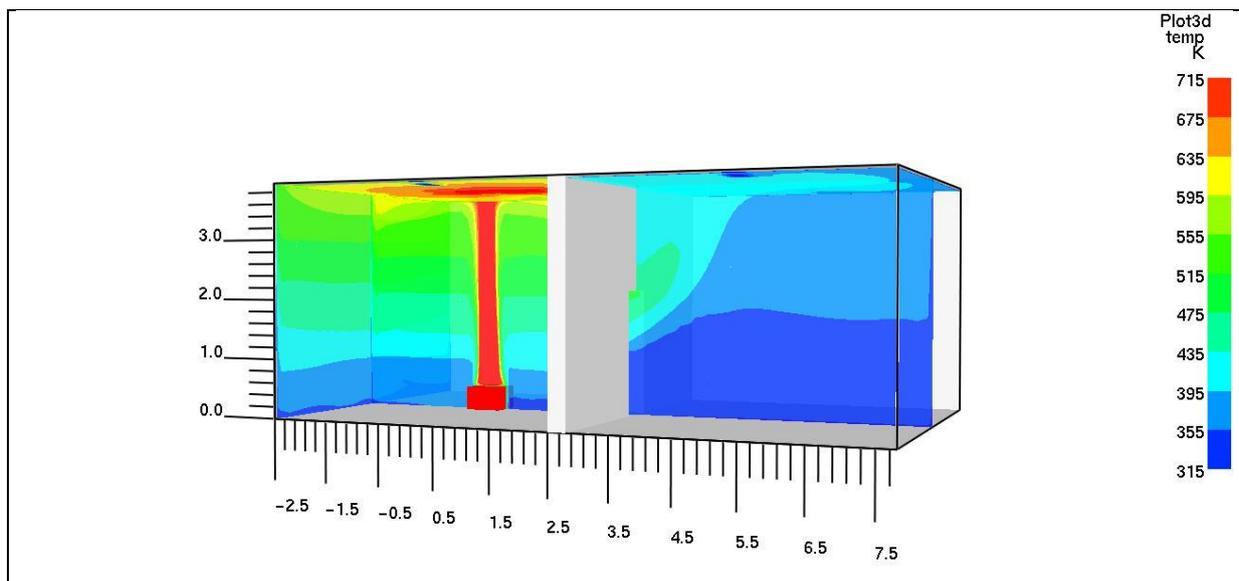


Figure 2 : Coupes 2D de la température dans la configuration PRISME DOOR à $t=1510\text{s}$.

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. Le présent 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

3.1. PRISME SOURCE

La figure 1 montre des coupes bidimensionnelles du champ de température une fois que l'écoulement a atteint un régime quasi-stationnaire. On peut remarquer que la flamme reste droite et stable et que la stratification thermique est bien visible.

La figure 3 montre les évolutions temporelles expérimentales et numériques de la température du gaz. Les capteurs de températures sont situés près un des coins. Un bon accord est obtenu entre les résultats expérimentaux et numériques pour la configuration PRISME SOURCE, notamment près des parois. La position de la zone chaude est bien localisée avec les simulations numériques.

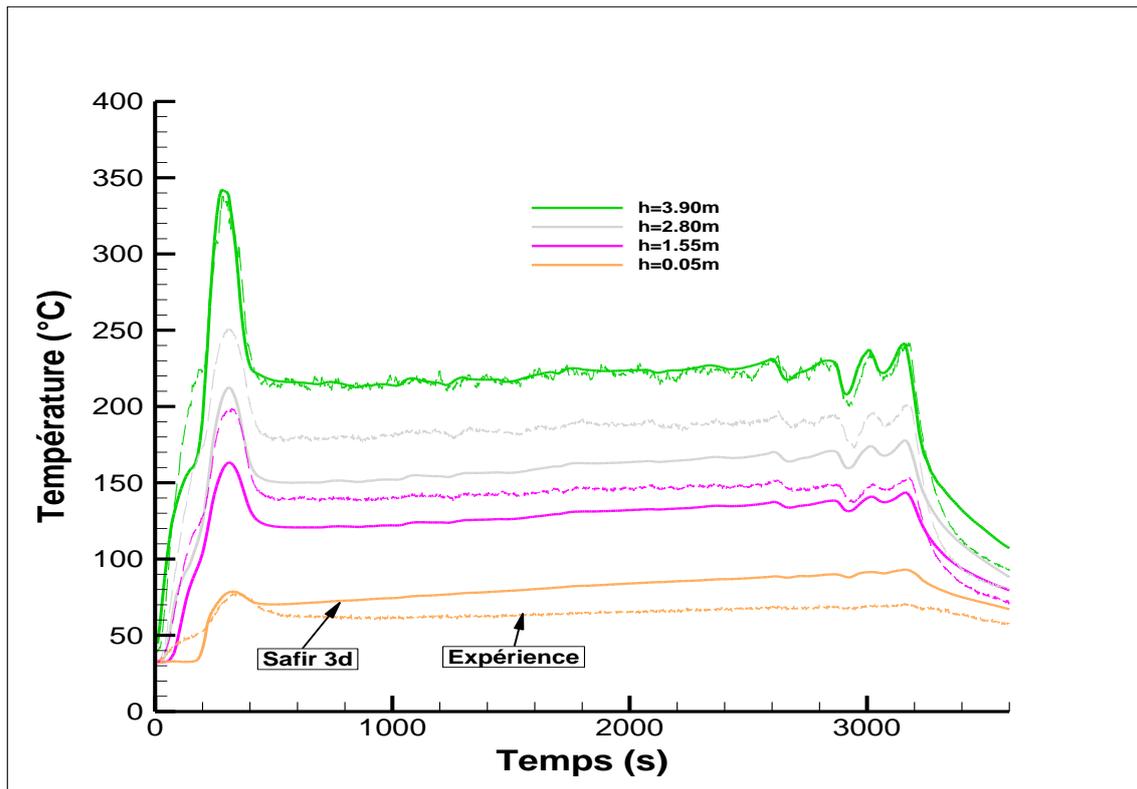


Figure 3 : Evolution de la température à différentes hauteurs dans un coin pour PRISME SOURCE.

Les concentrations de O_2 et CO_2 dans la partie haute près d'un des coins sont tracées dans la figure 4. 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 13%. Le modèle reproduit donc bien la combustion dans une structure mono-local en régime confiné et ventilé mécaniquement.

3.2. PRISME DOOR

Les coupes bidimensionnelles du champ de température dans le régime quasi-stationnaire (figure 2) permettent de constater que la flamme reste également droite et stable dans la configuration PRISME DOOR. La stratification thermique est clairement observée.

La figure 5 montre les évolutions temporelles expérimentales et numériques de la température du gaz. Les capteurs de températures sont situés sous la porte. Une nouvelle fois, l'accord modèle/expérience est très bon pour la configuration PRISME DOOR, particulièrement près des parois. La position de la zone chaude est donc bien évaluée par la simulation numérique. On notera également la présence de fluctuations numériques importantes, notamment en plafond, que l'on peut attribuer au réajustement des débits d'admission et d'extraction.

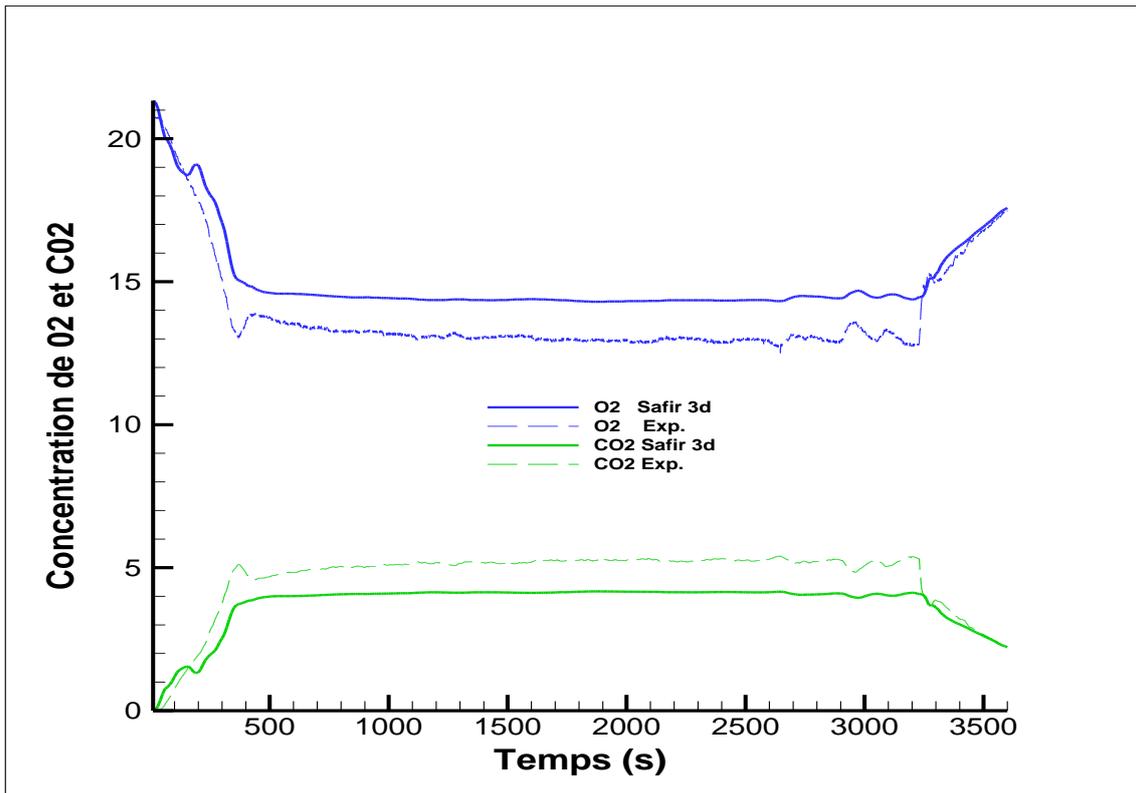


Figure 4 : Evolution de la concentration en O₂ et CO₂ dans un coin pour PRISME SOURCE.

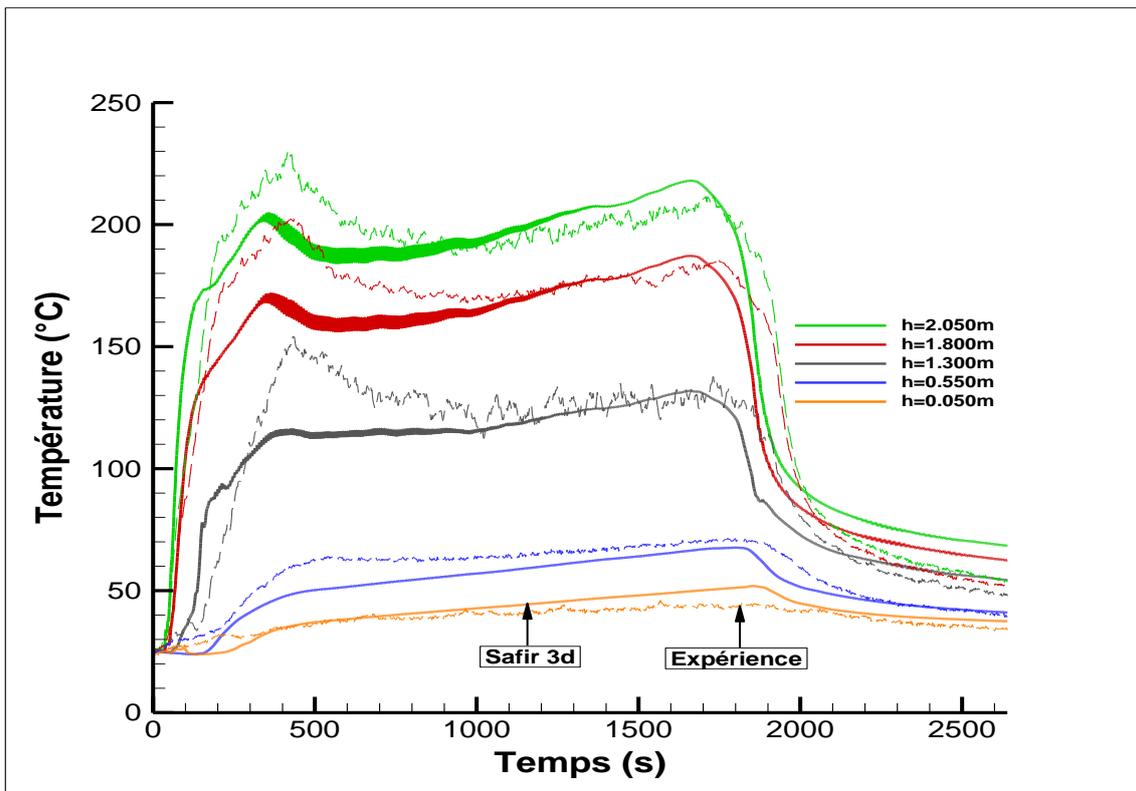


Figure 5 : Evolution de la température sous la porte dans PRISME DOOR pour différentes hauteurs.

Les évolutions temporelles de la vitesse sous la porte à différentes hauteurs sont données sur la figure 6. Les vitesses expérimentales et numériques sont proches, avec une surestimation pour les hauteurs les plus élevées. Les vitesses les plus élevées sont obtenues en partie haute et correspondent à l'écoulement des fumées chaudes, 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.

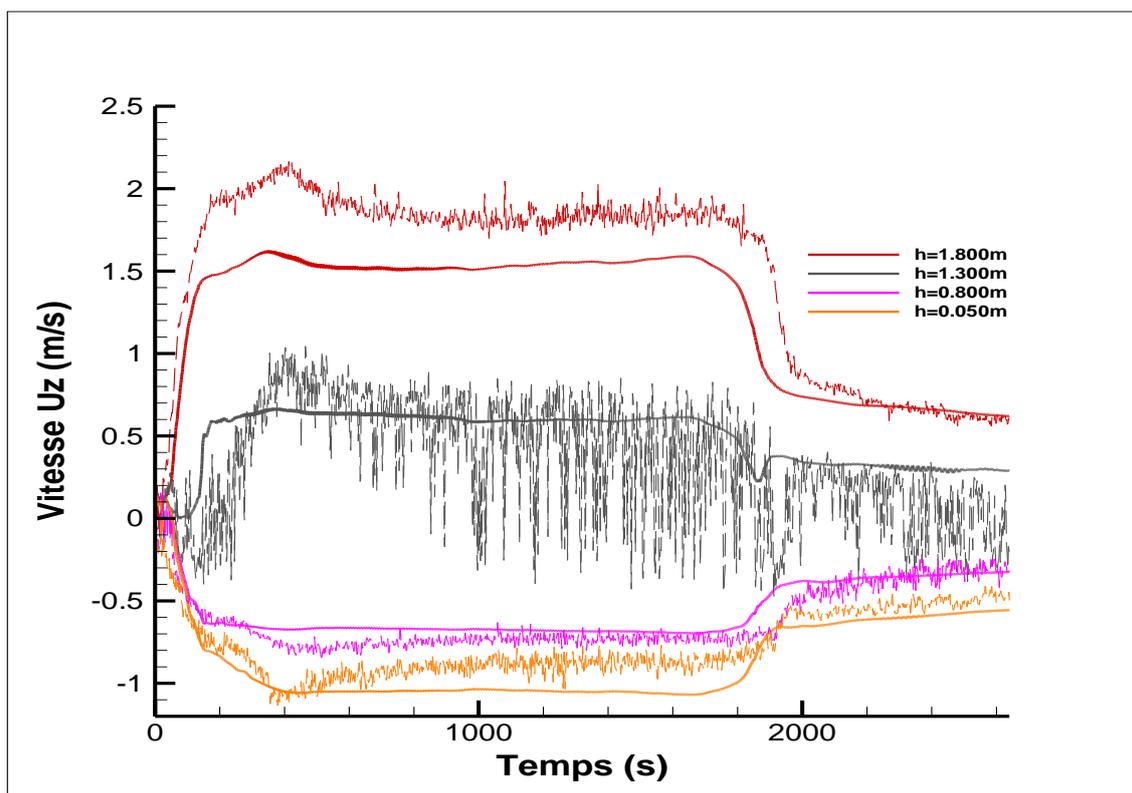


Figure 6 : Evolution de la vitesse sous la porte dans PRISME DOOR pour différentes hauteurs.

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. Les configurations PRISME SOURCE et DOOR sont des cas de validation très complets qui permet l'étude d'un feu dans une structure compartimentée ventilée mécaniquement. Les dernières avancées du code SAFIR ont consisté à améliorer les modèles et schémas numériques utilisées 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. Cependant des efforts doivent être menés sur 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-compartimentées.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier l'Agence Nationale de la Recherche pour son soutien financier dans le cadre du projet ANR-12-ASRT-0002-01.

Références

- [1] J.L. Consalvi, B. Porterie, J.C. Loraud, A Blocked-Off Region Strategy to Compute Fire Spread Scenarios Involving Internal Flammable Targets, Numerical Heat Transfer B (Fundamentals), 419-441, 2005.
- [2] H. Pretrel, PRISME Source Programme, Analysis report, 2006.
- [3] S. Suard, C. Lapuerta, A. Kaiss, B. Porterie, Sensitivity analysis of a fire field model in the case of a large-scale compartment fire scenario, Numerical Heat Transfer, en presse, 2012.
- [4] W. Le Saux, PRISME DOOR Programme, Analysis report, 2008.
- [5] S. Vaux & al., Comparison between computational results and measurements in large-scale confined and forced ventilated two-room enclosure fire scenario, Fire Safety Journal, soumis, 2013