

Détermination par un code CFD de l'évolution de la puissance d'un feu en régime de sous-ventilation dans un milieu confiné et mécaniquement ventilé

Depuis plusieurs années, l'IRSN mène en parallèle des programmes de recherche expérimentaux et numériques sur les incendies en milieu confiné et ventilé mécaniquement. Plusieurs essais ont montré que dans certaines configurations, le niveau d'oxygène du local en feu décroît et se stabilise de telle manière que le débit massique de combustible s'adapte au niveau de ventilation du local. Cette situation peut conduire à la consommation de la totalité de combustible disponible initialement, mais à un débit massique très faible comparé à celui du même foyer en atmosphère libre. Il en résulte une durée de feu 2 à 3 fois supérieure à celle obtenue en milieu ouvert ce qui est susceptible de remettre en cause le dimensionnement d'éléments de sectorisation tels que des portes coupe-feu.

L'objectif du travail de thèse est de déterminer une modélisation de l'évolution de la puissance du foyer jusqu'à son extinction. Les effets de la viciation de l'air ambiant par les produits de la combustion sur le débit massique de combustible (MLR) sont les principaux processus pris en compte dans le modèle. Ainsi, une approche théorique, basé sur le bilan énergétique à la surface de combustible, permettant de prédire le débit massique de combustible ainsi que de reformuler la corrélation de Peatross et Beyler, a été proposée. Le principal avantage de cette approche est de pouvoir quantifier l'évolution des composantes convectives et radiatives du flux thermique issus de la flamme vers le bac de combustible, en fonction de la viciation de l'air. Celle-ci a été validée avec le code CFD « ISIS », développé par l'IRSN sur des résultats obtenus lors du programme expérimental PRISME, réalisé à l'IRSN. La comparaison des résultats a révélé que cette approche est en bon accord avec les données expérimentales.

En parallèle à ce travail, des essais expérimentaux à échelle réduite ont été réalisés sur des feux d'heptane au laboratoire LCD (CNRS - Institut PPRIME), le principal but étant d'étudier les phénomènes prépondérants liés au confinement du local et au régime de la sous-ventilation. Ces données expérimentales ont servi à valider les approches théoriques développées durant la thèse pour prédire le MLR en milieu confiné. Une méthode expérimentale originale a été mise en œuvre pour découpler les mesures des flux thermiques reçus à la surface du bac d'heptane sous l'effet d'un rayonnement externe. Ces essais ont également permis d'étudier l'influence de la ventilation et de la taille du foyer sur la dégradation de combustible.

Cette étude ouvre certaines perspectives de recherche. Pour estimer la durée du feu, le phénomène d'extinction de la flamme doit être traité de façon plus détaillée en tenant compte de la chimie se déroulant dans la flamme. Du point de vue de l'expérience, l'étude d'autres combustibles liquides (alcènes, cétones,...) et solides, dont les essais sont plus difficilement reproductibles, serait nécessaire afin d'étendre les résultats de cette étude.

MOTS-CLES: incendies, combustion, pyrolyse, simulations numériques, sous-oxygéné, bâtiments

Determination by a CFD code of the heat release rate in a confined and mechanically-ventilated compartment fire

For several years, many experimental/numerical research programs have been carried out at IRSN in order to provide sufficient data on the burning process and understand the behavior of a pool fire in a confined and mechanically ventilated compartment. Several experimental tests have shown that in some cases, the oxygen concentration in the local decreases then stabilizes until fire extinction. The fuel mass loss rate is instantaneously adjusted according to the ventilation in the local, which may leads to a lower fuel consumption rate as compared to that in free atmosphere. The fire duration is then 2 to 3 times greater than that obtained in free atmosphere, which may damages some specific safety equipment used to reduce the spread of fire between compartments such as fire doors.

The objective of this work is to propose a theoretical approach that allows the determination of the burning rate of fuels for pool fires in a closed compartment. Fuel response to vitiated air as well as burning enhancement due to hot gases and confinement should be taken into account. Thus, a theoretical formulation, based on an energy balance equation at the pool fire surface, was developed and compared with the empirical correlation of Peatross and Beyler before being implemented in a CFD code « ISIS », developed at IRSN and validated against PRISME fire test results. The main advantage of this global approach is that no assumptions were made on the relative importance of each mode of heat transfer from the flame. In fact, the convective and the radiant components of the heat flux from the flame to the fuel surface were determined taking into account the air vitiation effect.

In addition to this theoretical approach, an experimental work was conducted at the Institut PPRIME to study heptane pool fires in a reduced-scale fire compartment, in the aim to investigate the effects of vitiated air on fire parameters. These results were used to validate the theoretical formulation developed earlier to determine the burning rate of fuels for pool fires in a closed environment. An original method to separate effects of the radiant heat flux of the flame and of the external heat feedback to the fuel surface was developed. These tests also contributed to a better understanding of the effects of ventilation and pan diameter on the fuel pyrolysis at the pool fire surface.

As a perspective, the theoretical approach should be extended to address the problem of estimating the flame duration. In this context, the flame extinction process should be treated in more detail by taking into account the detailed kinetics of the chemistry occurring in a flame. Similar experimental works should also be conducted in the aim to study the burning process of a pool fire using different types of fuel (alkenes, ketones, solid fuels...)

KEYWORDS: fire scenarios, combustion, pyrolysis, numerical simulations, under-ventilated, compartments