
Simulation aux grandes échelles des écoulements de convection naturelle caractéristiques des incendies

Description du sujet

Dans le domaine de la sûreté nucléaire, la prise en compte des risques d'incendie est un point particulièrement critique dans la mesure (i) où de nombreux objets présents dans les centrales et les laboratoires-usine (armoires électriques, chemins de câbles, boîtes à gants) sont susceptibles de conduire à un départ de feu et (ou) d'entretenir sa propagation, (ii) où un incendie de forte puissance peut remettre en cause la cascade de dépression imposée dans les bâtiments afin de garantir le confinement des matières radioactives. C'est pour étudier et prédire des scénarios d'incendie que l'IRSN développe le logiciel de simulation numérique des feux CALIF³S-ISIS¹.

Les écoulements réactifs rencontrés sont généralement assimilés à des structures de flamme de diffusion : les espèces volatiles inflammables et l'oxygène réagissent au sein de fines couches de diffusion. En effet, les solides mis en jeu libèrent dans un premier temps des gaz de pyrolyse suite à leur dégradation sous l'action de flux thermique importants. Ceux-ci se mélangent ensuite avec l'oxygène de l'air environnant pour former un mélange réactif. La plupart du temps, les conditions de combustion ne restent qu'assez faiblement turbulentes et les phénomènes de transport sont gouvernés par les forces de flottabilité. Les mécanismes de mélange à grandes échelles entre le combustible et l'oxydant résultent des effets de convection naturelle associés aux développements d'instabilités de Rayleigh-Taylor. Les incendies se développant généralement au sein de milieu clos, des pré-mélanges partiels sont susceptibles de se former entre les gaz imbrûlés issus d'une combustion localement incomplète et l'air environnant. Des phénomènes d'extinction et de réallumage, induits par la présence de ces zones localement diluées par des gaz imbrûlés, peuvent alors se produire.

Ces caractéristiques (i.e., écoulement faiblement turbulent et prémélange partiel) nécessitent le développement de modèles appropriés, permettant de reproduire correctement ces phénomènes. Le travail proposé dans le cadre de ce stage s'inscrit dans celui, plus général, de l'amélioration de la modélisation de la combustion turbulente dans le code CALIF³S-ISIS. On notera qu'une Thèse de Doctorat est également proposée sur ce thème. On propose ici de s'intéresser, dans un premier temps, à la modélisation du transport turbulent dans le cas d'écoulements à bas nombre de Mach, représentatifs de ceux rencontrés lors des incendies. Dans les zones faiblement turbulentes, les modèles de turbulence standards, développés pour des écoulements turbulents pleinement développés, peuvent s'avérer inappropriés que ce soit dans le contexte de simulations de type RANS ou dans celui de simulations LES. Il est donc nécessaire d'évaluer, voire d'adapter, ces modèles dans le contexte de la simulation des incendies.

En particulier, si la simulation aux grandes échelles demeure trop coûteuse pour simuler, sur des échelles de temps représentatives, des scénarios réels d'incendie portant sur des volumes de plusieurs centaines de m³, elle est néanmoins de plus en plus utilisée pour conduire des simulations dans des conditions simplifiées mais représentatives. Dans ce contexte, le but de ce stage est, dans un contexte LES, d'évaluer la pertinence des différents schémas numériques et des modèles de sous-maille implémentés dans le code CALIF³S-ISIS de l'IRSN dans le cas d'écoulements académiques où les effets de flottabilité sont présents voire dominants. La turbulence de grille ayant déjà été traitée, on s'intéressera au problème de turbulence de grille chauffée qui, pour des incréments de température suffisamment faibles, permet d'étudier le mélange turbulent de scalaires passifs. Par ailleurs, les instabilités de Rayleigh-Taylor (RTI) sont connues pour être responsables du développement de la turbulence au sein des écoulements réactifs représentatifs des situations d'incendie. On s'intéressera donc également à un problème académique de RTI. À l'issue de ce travail, des recommandations quant à l'utilisation des schémas numériques et des améliorations portant sur la prise en compte des effets de flottabilité dans les modèles de turbulence pourront être proposées. En particulier, on étudiera (i) la possibilité de prendre en compte les effets d'un nombre de Prandtl variable dans les modèles de Smagorinsky dynamique et (ii) l'influence des termes de flottabilité dans l'équation de transport de l'énergie cinétique turbulente. Enfin, la simulation de flammes académiques d'échelle représentative d'un incendie (flamme de méthane, d'hydrocarbures lourds ou de solide comme le PMMA) pourra être envisagée pour valider la pertinence de ces améliorations.

1. <https://gforge.irsn.fr/gf/project/isis>

Informations diverses

Domaine d'études - Incendie, convection naturelle, flammes de diffusion

Techniques utilisées - Volumes finis, simulation aux grandes échelles

Encadrement -

Germain Boyer, IRSN/PSN-RES/SA2I/LIE Cadarache

Arnaud Mura, Institut Pprime, UPR3346 CNRS, ENSMA et Université de Poitiers

Franck Richard, Institut Pprime, UPR3346 CNRS, ENSMA et Université de Poitiers

Divers - Lieu du stage : Centre d'Études Nucléaires de Cadarache - déplacements à prévoir à l'Institut P' (Poitiers)

Contacts -

Germain Boyer (germain.boyer@irsn.fr)

Arnaud Mura (arnaud.mura@ensma.fr) — Franck Richard (franck.richard@ensma.fr)

Sujet de thèse proposé à l'issue du stage - oui