

> Mercredi 3 avril

10 h 45- 12 h 00 Salle Manadiers

SESSION PARALLÈLE

> FONCTIONNEMENT DES INSTALLATIONS - Écoulements fluides et réactifs

Président: Hugues PRÉTREL

Docteur en sciences de l'incendie

Loïc PERRIN - Étude expérimentale des écoulements induits lors d'un incendie dans une enceinte confinée et mécaniquement ventilée. Application aux scénarios d'incendie dans un milieu sous-ventilé.

Dorian TRABICHET - Développement d'une approche de densité de probabilité de flammes pour la déflagration et comparaison avec la simulation des grandes échelles.

Florian REIN - Étude des mouvements convectifs dans une couche mince chauffée par le dessous et refroidie sur le bord – Application aux situations de rétention des matériaux fondus dans la cuve d'un réacteur nucléaire en situation d'accident grave.

Joasma MARICHAL - Convection thermique turbulente dans des conteneurs ouverts avec ébullition et évaporation.

SUJET DE LA THÈSE

Étude expérimentale des écoulements induits lors d'un incendie dans une enceinte confinée et mécaniquement ventilée.

Application aux scénarios d'incendie dans un milieu sous-ventilé

Doctorant :	Loïc PERRIN
Date du début de la thèse :	01 / 09 / 2022
Laboratoire IRSN :	PSN-RES/SA21/LEF
Référent IRSN de la thèse :	Hugues PRETREL
Direction de la thèse :	Olivier VAUQUELIN / Aix Marseille Université
École doctorale :	Aix Marseille Université - Sciences pour l'ingénieur : mécanique, physique, micro et nanoélectronique - ED 353
Financement de la thèse :	IRSN & ENS Paris Saclay

Cette thèse s'inscrit dans le cadre des recherches menées sur le risque incendie dans les installations nucléaires. Les configurations expérimentales considèrent, dans un objectif de représentativité des scénarios, des environnements confinés et ventilés mécaniquement ainsi que des régimes de combustion sous-oxygénés. L'objectif est la compréhension et la description des écoulements régissant la stratification des gaz et l'alimentation en oxygène du foyer en milieu sous-oxygéné. A terme, l'objectif est l'amélioration des connaissances et du potentiel prédictif des outils de simulation de l'IRSN (Sylvia, CALIF3S-ISIS) pour des configurations complexes rencontrées lors d'un incendie en milieux sous-oxygénés.

Les travaux sont effectués dans le dispositif STYX du Laboratoire d'Expérimentation des Feux dans lequel est mis en place un système de métrologie avancée, non intrusif, et innovant au regard des configurations étudiées. En effet, en se basant sur les acquis du laboratoire, une Vélocimétrie laser par Image de Particule (PIV) a été déployée afin de caractériser le champ de vitesse des écoulements de fumée (panache, écoulement sous plafond) puis servira prochainement à l'étude des interactions entre les fumées réparties dans un local et les systèmes de ventilation, et ensuite à celle des écoulements d'alimentation en champ proche du foyer. Parallèlement, les études comprennent une approche théorique de modélisation d'une partie des écoulements d'intérêt s'appuyant sur la littérature existante et l'interprétation des résultats expérimentaux.

Au cours de la première année, les travaux d'application de la PIV pour l'étude élémentaire des écoulements dans le dispositif STYX pour un foyer de bac d'éthanol, faiblement émetteur de suies, ont permis de confirmer l'adéquation de la technique de mesure avec les objectifs envisagés pour la thèse. Plusieurs structures aérauliques cohérentes et caractéristiques des foyers confinés ont été identifiées et caractérisées vis-à-vis de la puissance du foyer. Ces résultats ont été valorisés au travers d'une présentation lors d'un symposium et d'un article de conférence publié dans le Fire Safety Journal. Conséquemment, la seconde étude sur les écoulements d'admission d'air frais en partie supérieure des compartiments incendiés a démarré avec la modification du dispositif STYX pour générer un jet d'air vertical à travers un environnement stratifié thermiquement ; en addition aux travaux sur la modélisation analytique des panaches et fontaines dans les milieux stratifiés basée sur des équations de conservation d'un écoulement unidimensionnel turbulent et miscible dans son milieu.

Mots clés : écoulement, incendie, PIV, feu.

SUJET DE LA THÈSE

Développement d'une approche de densité de probabilité de flammelettes pour la déflagration et comparaison avec la simulation des grandes échelles

Doctorant :	Dorian TRABICHET
Date du début de la thèse :	17/10/2022
Laboratoire IRSN :	PSN-RES/SA2I/LIE
Référent IRSN de la thèse :	Laura GASTALDO
Direction de la thèse :	Denis VEYNANTE/École Centrale de Paris & Laura GASTALDO/IRSN
École doctorale :	Université Paris Saclay - Sciences mécaniques et énergétiques, Matériaux et Géosciences - ED 579
Financement de la thèse :	IRSN

L'IRSN s'intéresse à l'étude des risques d'incendie et d'explosion dans les installations industrielles classiques et nucléaires. Pour cela, le laboratoire de l'incendie et des explosions (LIE) développe des solutions pour la simulation numérique de tels événements. Parmi elles, le logiciel CALIF3S est dédié à la simulation de différents types d'écoulements, turbulents réactifs tels que les flammes de diffusion, correspondant à l'incendie, et les flammes de prémélange, correspondant aux explosions.

Deux approches sont disponibles pour modéliser la turbulence. L'approche statistique RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) est la plus utilisée compte-tenu des contraintes des applications industrielles. Bien qu'économique, cette méthode s'est souvent révélée imprécise. L'approche LES (Large Eddy Simulation) est plus prédictive mais plus coûteuse en temps de calcul et vient le plus souvent en soutien de la première. Différents modèles de combustion sont disponibles, notamment un modèle dit de flammelettes qui est en cours de développement pour l'incendie.

La thèse s'articule en deux volets distincts. Le premier volet concerne la modélisation de la turbulence. L'objectif est, dans un souci de compromis entre bonne prédiction du modèle et temps de calcul modéré, de développer une stratégie dite hybride intégrant dans un même système d'équations de bilan les approches RANS et LES. Le deuxième volet concerne la combustion. L'objectif est d'étendre le modèle de flammelettes à l'explosion afin de pouvoir traiter les scénarii d'accident au cours desquels les deux types de flammes peuvent coexister.

Au cours de la première année, différents calculs LES de déflagrations accélérées ont été réalisés grâce au supercalculateur IRENE du CEA. Les résultats obtenus serviront de référence pour valider l'approche hybride pour la déflagration. Ensuite, une approche hybride originale a été développée en s'inspirant de l'approche DES (Detached Eddy Simulation). L'objectif du modèle est de réaliser un échange entre les énergies cinétiques turbulentes résolue et modélisée à l'interface RANS/LES afin d'obtenir une transition rapide d'un mode à l'autre. L'échange d'énergie est obtenu par l'ajout de termes sources/puits dans les équations moyennées/filtrées de l'écoulement. Pour pouvoir être utilisé dans des configurations instationnaires, le modèle développé intègre notamment une estimation de l'énergie cinétique turbulente moyenne via un filtrage de l'écoulement instantané. L'obtention d'un tel filtrage n'est pas directe dans un écoulement instationnaire, tels que ceux d'intérêt, et plusieurs opérateurs moyennes ont été envisagés. Différents tests sur des configurations non réactives ont permis d'exhiber le potentiel de l'approche. Cette approche sera par la suite étendue au cas réactif.

Mots clés : explosion, méthodes hybrides RANS/LES, modèle de flammelettes.

SUJET DE LA THÈSE

Étude des mouvements convectifs dans une couche mince chauffée par le dessous et refroidie sur le bord – Application aux situations de rétention des matériaux fondus dans la cuve d’un réacteur nucléaire en situation d’accident grave

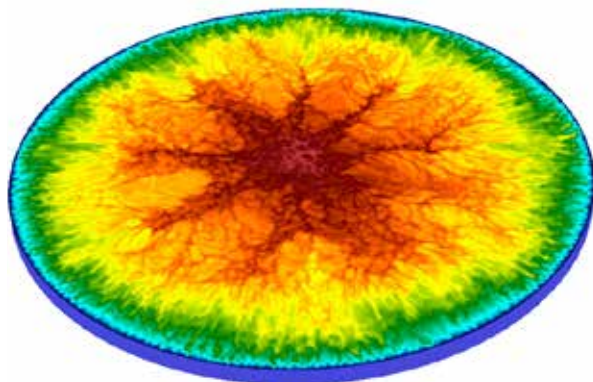
Doctorant :	Florian REIN
Date du début de la thèse :	04/10/2021
Laboratoire IRSN :	PSN-RES/SAM/LEPC
Référent IRSN de la thèse :	Laure CARENINI
Direction de la thèse :	Michael LE BARS/Aix Marseille Université
École doctorale :	Aix Marseille Université - Sciences pour l'ingénieur : mécanique, physique, micro et nanoélectronique - ED 353
Financement de la thèse :	EDF & CEA

Lors d'un accident grave dans un réacteur nucléaire, les matériaux fondus (mélange appelé corium) se relocalisent dans le fond de la cuve et peuvent conduire à sa rupture. L'évaluation des transferts de chaleur dans le corium et plus particulièrement dans la couche de métal qui peut se former à sa surface est donc de première importance, notamment lorsqu'une stratégie de rétention du corium en cuve est adoptée. L'objectif de la présente thèse est d'étudier les mouvements convectifs dans cette couche de métal chauffée par le bas et refroidie sur sa surface latérale et dans une moindre mesure sur la surface supérieure. Celle-ci repose sur trois approches complémentaires.

Tout d'abord, des simulations numériques 3D DNS (Direct Numerical Simulation, toutes les échelles de la turbulence sont résolues), ont été réalisées avec le code NEK5000. Ensuite, la création et l'utilisation d'un banc expérimental (cylindre de 44cm de rayon et 11cm de hauteur) avec comme simulant du SF₆, ont permis, tout en ayant un nombre de Prandtl représentatif du métal (0,7), d'atteindre des nombres de Rayleigh plus importants ($Ra=5e9$). L'approche expérimentale permet également d'acquérir des mesures à temps longs, utiles pour étudier statistiquement les fluctuations du système. Enfin, des analyses théoriques de l'écoulement ont été réalisées. Deux régimes asymptotiques sont identifiés en fonction de la condition limite à la surface du bain : lorsque l'on s'approche d'une condition adiabatique, une boucle de convection naturelle s'établit due au refroidissement latéral, en revanche lorsqu'une part significative de la puissance est extraite par la surface supérieure, une convection de type Rayleigh-Bénard s'établit dans le système.

Dans le cas général, le système étudié correspond à une superposition de ces deux régimes, conduisant à une inhomogénéité radiale. Un nouveau modèle 1D pour le profil radial de température a été développé et permettra une amélioration des modèles utilisés dans les codes accident grave comme le code

ASTEC développé à l'IRSN. Par ailleurs, les fluctuations du flux de chaleur latéral ont été étudiées et révèlent une instabilité pouvant conduire à des flux transitoires significativement plus élevés dont l'impact sur les évaluations de sûreté devra être évalué.



Mots clés : convection, transfert de chaleur, accident grave.

SUJET DE LA THÈSE

Convection thermique turbulente dans des conteneurs ouverts
avec ébullition et évaporation

Doctorante :	Joauma MARICHAL
Date du début de la thèse :	01/11/2020
Laboratoire IRSN :	PSN-RES/SEMIA/LSMA
Référent IRSN de la thèse :	Pierre RUYER
Direction de la thèse :	Pierre RUYER/IRSN
École doctorale :	Université Catholique de Louvain
Financement de la thèse :	Université Catholique de Louvain

Le projet a pour objectif de faire progresser l'état de l'art dans la modélisation et simulation des transferts de masse et de chaleur au sein d'un bassin, en configuration de convection naturelle et en présence de changement de phase. Ce problème est notamment en jeu lors de l'étude des situations accidentelles de perte de refroidissement des piscines de stockage du combustible. Dans cette situation, la chaleur du combustible usé chauffe et évapore progressivement l'eau du bassin. L'analyse des démonstrations de sûreté correspondantes ont révélé l'intérêt de la modélisation des phénomènes d'évaporation et d'ébullition au sein du bassin. Les limitations des connaissances scientifiques sur ces phénomènes dans de grands bassins ont motivé un programme de recherche à l'IRSN alliant des travaux expérimentaux et de modélisation.

Les travaux de ce projet, réalisés hors du cadre de la programmation de l'Institut, apportent des éléments complémentaires basés sur le développement d'un outil logiciel permettant de décrire finement les phénomènes au sein du bassin. Le projet est divisé en 4 étapes. La première s'intéresse à la convection naturelle turbulente avec une surface libre au sommet de la géométrie. Ensuite, les étapes 2 et 3 consistent au développement et à la réalisation de simulations numériques permettant de tenir compte de l'ébullition et de l'évaporation respectivement et indépendamment l'un de l'autre. Finalement, nous effectuerons des simulations de convection avec simultanément de l'évaporation et de l'ébullition. Cela permettra de se rapprocher de la réalité des piscines de désactivation nucléaire lors d'accidents de perte de refroidissement.

Dans un premier temps, nous détaillerons l'approche Eulérienne-Lagrangienne utilisée afin de modéliser des bulles de vapeurs au sein de notre écoulement. Nous détaillerons ensuite la procédure de validation suivie, impliquant la dynamique des bulles isolées, le couplage entre les deux phases ainsi que la convection naturelle. La structure générale de l'écoulement, le nombre de Nusselt ainsi que les statistiques turbulentes de l'écoulement seront analysées pour différentes propriétés de bulles.

Par la suite, nous nous intéresserons aux phénomènes d'évaporation pouvant avoir lieu à la surface libre. Nous présenterons les modèles utilisés pour décrire les pertes de chaleur par évaporation et convection à la surface ainsi que pour tenir compte de la perte de masse engendrée. La méthode de vérification mise en place sera détaillée et nous analyserons les propriétés et la descente de la surface libre, la structure globale de l'écoulement, l'évolution des nombres de Rayleigh et de Nusselt ainsi que les statistiques turbulentes.

Mots clés : CFD, évaporation, ébullition.

