



Campagne de recrutement sur contrats doctoraux 2018
Institut P'

*ETUDE DES TRANSFERTS DE MASSES ET DE CHALEUR AUX INTERFACES LORS DE
LA COMBUSTION DE MATÉRIAUX SOLIDES*

Institut/Département : Institut Pprime, Département D2 – Fluides, thermique, Combustion

Equipe : Combustion Hétérogène (CH)

Directeur(s) de thèse : Thomas Rogaume

Co-encadrant(s) : Franck Richard, Jocelyn Luche

Contact pour information : thomas.rogaume@univ-poitiers.fr

Salaires net mensuel : 1768€ brut / mois, CDD 3ans (*à modifier si co-financement*)

Mot-clés: sécurité incendie, feu, transfert de chaleur, transfert de masse, aérolitique, turbulence.

Contexte.

Le phénomène d'incendie touche potentiellement tout type de structure ; habitats privés, établissements recevant du public ou encore zones d'activités industriels comme les entrepôts de stockage par exemple. La dynamique d'un incendie est souvent résumée en 4 grandes étapes : une étape d'allumage, de croissance, de déclin puis d'extinction. En fonction des conditions de combustion et des différentes phases de l'incendie, les phénomènes physico-chimiques inhérents au solide (appelé également phase condensée) ont un rôle plus ou moins important sur la dynamique globale de l'incendie. Cependant, les interactions entre la phase condensée et la phase gazeuse de combustion sont présentes à toutes les étapes d'un incendie et ont un rôle clé sur la dynamique de ce dernier.

On peut montrer que les transferts convectifs à la surface du solide gouvernent son inflammation et que les transferts radiatifs pilotes quant à eux la dynamique du feu, post inflammation. La caractérisation de la flamme et des transferts couplés avec la phase condensée est ainsi de forte importance. Les caractéristiques de la flamme dépendent alors en grande partie des espèces réactionnelles qui y sont présentes et des réactions qui y ont lieu.

Les transferts de masses peuvent, dans certains cas jouer un rôle important, notamment en cas de réactions hétérogènes de surface. Le processus mettant en jeu ce type de réactions est appelé également « smoldering » et peut poser des problèmes en cas d'intervention des secours. En effet, il se produit généralement en fin de combustion et peut être à l'origine d'une propagation de l'incendie après l'extinction de la flamme et un nouveau départ de feu.

Pour toutes ces raisons, la phénoménologie aux interfaces est une problématique clé en incendie. Actuellement, très peu d'études décrivent en détails ces phénomènes pourtant nécessaires dans le développement des modèles mathématiques utilisés lors de la simulation numérique de scénarios d'incendie visant à en diminuer le risque. Ces phénomènes sont souvent très locaux et nécessitent des tailles de mailles de l'ordre du millimètre afin d'être captés numériquement. La simulation numérique des scénarii d'incendie mettant en jeu des domaines de calcul très grands rend impossible une telle précision en terme de taille de maille. C'est pour ces raisons que des modèles de parois sont développés afin de décrire correctement ces échanges à l'interface solide / gaz. Il est alors primordial de pouvoir bénéficier de données expérimentales précises afin de développer des modèles de parois corrects et ensuite de pouvoir les valider dans des cas de figures représentatifs

des conditions d'un incendie. De plus, il apparaît primordial d'apporter le plus de précision possible quant aux caractéristiques de la flamme, notamment d'un point de vue chimique et thermique. Un enjeu consiste alors à cartographier temporellement et spatialement la flamme par une analyse des composés chimiques présents ainsi que des champs de température.

Lors d'un incendie, on peut définir 3 configurations majeures mettant en jeu l'interaction d'une paroi solide et d'une flamme. On retrouve le cas d'une paroi horizontale correspondant à la combustion des sols, plafonds et autres sources combustibles, le cas vertical correspondant à la combustion des murs et d'autres sources combustibles dans cette position et enfin, tout autre configuration intermédiaire où la paroi solide est inclinée.

Programme de l'étude, moyens mis en oeuvre

Ce travail se focalisera au cas de la combustion d'une paroi verticale constituée d'une partie combustible à la base et d'une paroi inerte en partie supérieure.

Dans le cas d'une paroi verticale, il s'établit une couche limite turbulente « dynamique » ainsi qu'une couche limite « thermique » en raison des gradients de température. La présence d'une paroi ne rend plus possible la définition d'une « échelle unique » de longueur permettant d'estimer les différents temps caractéristiques d'advection / diffusion sur toute l'épaisseur de l'écoulement, d'où l'introduction de la notion « d'échelles multiples ». La viscosité moléculaire est un paramètre important dans les phénomènes de couche limite et varie en fonction de la température. Les couches limites thermique et dynamique sont donc fortement couplées. Les observations concernant les couches limites dynamiques turbulentes permettent alors de distinguer 2 zones. Tout d'abord, une région interne dépendant fortement des conditions à la paroi et une région externe. La zone interne peut quant à elle se diviser en 2 sous-zones, une sous-couche visqueuse et 1 sous-zone logarithmique. La sous-couche visqueuse est très proche de la paroi et les effets des forces de viscosité γ sont prépondérants devant les effets des forces d'inertie. La sous-zone logarithmique, séparée de la sous-couche visqueuse par une zone tampon, constitue la partie extérieure de la couche interne. Les effets turbulents γ sont devenus prépondérants par rapport aux effets moléculaires. D'un point de vue thermique, des lois de profils de température peuvent être établies dans la couche limite à partir d'analogies entre transferts de chaleur et transferts de quantité de mouvement.

Afin de caractériser expérimentalement les gradients de température, de vitesses et d'espèces au sein des différentes zones de la couche limite, le travail se déroulera en 2 étapes :

- Dans 1 premier temps, la paroi combustible sera constituée d'une paroi inerte et d'un brûleur poreux vertical à la base de la paroi inerte simulant ainsi la dégradation thermique d'un solide. Le brûleur permet de maîtriser le débit de gaz combustible et donc rend possible l'étude de plusieurs puissances et ainsi d'analyser l'impact de la puissance de la flamme sur les interactions flamme / paroi. De plus, cette configuration permet de supprimer dans un premier temps la variation de réponse de la phase condensée à la variation des échanges à la paroi. En effet, les phénomènes de transfert aux parois sont stationnaires et les gradients spatiaux sont non nuls. Cette première partie du travail où les conditions initiales sont stationnaires permettra de mesurer les échanges à la paroi en mettant l'accent sur la structure de la couche limite et notamment des échelles caractéristiques de temps et de longueurs de chacune des zones de la couche interne dans l'épaisseur de l'écoulement. La variation des échanges sera également analysée axialement, au niveau de la zone non réactive (paroi inerte).
- La 2ème étape du travail consistera à monter en complexité et remplacer le brûleur par une paroi solide réactive. Les conditions limites ne seront donc plus stationnaires et la couche



limite sera influencée par la réponse de la phase condensée à la sollicitation thermique. L'accent sera donc mis sur l'analyse du couplage de la dégradation thermique du matériau solide et de la couche limite établie en phase gazeuse de combustion.

Afin de réaliser cette étude, un nouveau banc expérimental sera développé ainsi que la métrologie associée. Un brûleur méthane ou équivalent sera choisi afin de limiter l'impact des suies lors du transfert radiatif. La phase condensée sera instrumentée de thermocouples et de fluxmètres afin de caractériser le transfert de chaleur au sein de celle-ci. Enfin, des mesures optiques seront réalisées en phase gazeuse afin de caractériser les différents gradients de température, de vitesses et d'espèces. Une méthodologie spécifique d'analyse gazeuse sera alors mise en œuvre, par couplage et comparaison de méthodes analytiques intrusives (déjà présentes au laboratoire) et non intrusives (à acquérir ou à développer).

Profil du candidat, prérequis

Master ou école d'ingénieur dans les domaines de : combustion ; transfert thermique ; turbulence et transfert de masse ; sécurité incendie.