

Proposition de programme scientifique – Thèse CIFRE :

Développement d'une méthodologie expérimentale et numérique multi-échelles du comportement thermique de matériaux à base de bois – Application à la propagation de feux de façade

Partenaires :

- Institut technologique Forêt Cellulose Bois construction Ameublement (FCBA).
- Institut Pprime (UPR 3346 CNRS), Université de Poitiers, ISAE-ENSMA. Département Fluides, Thermique Combustion.

1

Directeurs de Thèse : Thomas Rogaume et Franck Richard

Lieu de l'étude : Institut Pprime, ISAE-ENSMA, Téléport 2, 1 avenue Clément ADER, BP 40109, 86961 Futuroscope Chasseneuil cedex.

1. Rappel – Enjeux de l'étude :

Le renforcement de la sécurité incendie est une priorité de par la forte sinistralité et victimologie engendrées par ce type de sinistre. Il repose sur le développement des études d'ingénierie de la sécurité incendie, qui visent à mieux comprendre et décrire les phénomènes mis en jeu au cours des processus d'incendie, afin de prendre des mesures de prévention et de protection pertinentes. Ces études s'articulent également autour d'une évolution constante des contraintes réglementaires et normatives. Elles reposent alors sur le développement des modèles de simulation numérique.

Dans ce contexte, un volet important concerne la sécurité incendie au sein des bâtiments, quelle qu'en soit la nature et l'activité. Il s'agit alors de renforcer la sécurité associée aux matériaux de construction et d'ameublement notamment mais aussi aux choix architecturaux réalisés.

En parallèle, nous observons ces dernières années un fort développement de l'utilisation de matériaux « verts », naturels et respectueux de l'environnement dans la construction. Le bois en fait partie et les constructions à base de ce matériau connaissent un fort essor.

C'est dans ce cadre que l'Institut technologique FCBA (Forêt Cellulose Bois construction Ameublement) développe des travaux visant à soutenir la filière bois. Parmi les thématiques d'étude de FCBA, un volet concerne la caractérisation du comportement au feu de ce matériau. En lien, la réglementation nationale concernant les feux de façade vient d'évoluer avec l'utilisation du test normalisé LEPIR (Laboratoire d'Essais pour Incendie Réel). Un enjeu fort concerne alors la caractérisation du comportement au feu des façades à base de bois (de type bardage), afin d'en optimiser le comportement.

L'amélioration des performances des matériaux (afin de satisfaire au test) repose en partie sur la réalisation d'essais expérimentaux (lorsque possible) mais également et principalement sur la compréhension et la description des phénomènes mis en jeu dans ce type de configuration. De plus, les essais expérimentaux se révèlent très fréquemment (et c'est le cas pour le test LEPIR) forts onéreux.

L'utilisation de simulations numériques est alors indispensable, toutefois il convient que les modèles utilisés soient pertinents et puissent décrire de tels scénarios. C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude.

Un enjeu réside alors dans l'étude des feux de façade et dans l'amélioration des modèles afin de décrire avec le plus de précision possible le comportement du matériau bois en cas d'incendie.

Les études doivent également permettre l'optimisation des mesures constructives qui peuvent être mises en place afin d'améliorer la sécurité des installations (déflecteurs, parements par exemple).

2. Choix des Matériaux à étudier :

Dans un premier temps et dans le cadre de cette étude, deux matériaux seront étudiés :

- 1 bois brut de type Douglas
- 1 bois ignifugé

Il est à noter que dans la réalité, une grande diversité de matériaux est utilisée. La démarche validée au cours du doctorat doit ensuite être élargie à un nombre plus important de matériaux.

3. Proposition scientifique

Titre : Développement d'une méthodologie expérimentale et numérique multi-échelles du comportement thermique de matériaux à base de bois – Application à la propagation de feux de façade.

2

La finalité de la présente étude est de permettre le développement et la validation d'un modèle numérique de simulation de l'essai LEPIR sous différentes configurations (puissance foyer, déflecteur, etc.).

Ce développement repose sur une compréhension et une description des phénomènes mis en jeu au cours de cet essai et lors des configurations de feux de façades, notamment sur les aspects décomposition thermique du bois, inflammation, propagation du sinistre. En effet, la propagation d'un feu est associée à la quantité de chaleur reçue par le combustible (ici le bois utilisé en bardage), le transfert thermique dans le matériau (3D), son échauffement, sa décomposition thermique, l'atteinte de la Limite Inférieure d'Inflammabilité (LII) du mélange gazeux formé par les produits de pyrolyse avec l'air comburant environnant ainsi qu'une température suffisante (T_{crit}) des gaz chauds conduisant à leur inflammation. La propagation du feu est alors associée à la propagation des zones de décomposition thermique et de celles d'inflammation, demandant une caractérisation approfondie des phénomènes en phase condensée solide, en phase gazeuse et leur couplage.

Cela conduit au besoin de développer des modèles décrivant la pyrolyse et l'inflammation pour améliorer les codes de calcul.

En lien, se pose également la question de comment améliorer la sécurité de telles installations, notamment de définir comment défléter le feu pour empêcher sa propagation.

Le développement d'un tel modèle repose sur une démarche expérimentale multi-échelle, déjà utilisée au sein de l'équipe de recherche de l'Institut Pprime. Il s'agit alors à échelle décroissante de déterminer les paramètres clés et les propriétés des matériaux, puis à échelle croissante de rajouter de la complexité nécessaire à la validation du modèle.

A chaque étape de travail, le code sera enrichi puis validé, pour finir par sa validation sur le test LEPIR standard.

La démarche de travail utilisée, tant expérimentale que numérique est la suivante :

- Echelle matière : dans un premier temps, des essais seront réalisés à cette échelle (quelques mm et mg) en Analyses thermogravimétriques (ATG) et en calorimétrie différentielle à balayage (DSC). Les analyses DSC visent à déterminer les propriétés thermiques (enthalpies, C_p) des 2 matériaux étudiés, données nécessaires au modèle. Elles seront enrichies par des mesures de PCI au sein de FCBA.

Les essais en ATG seront réalisés sous différentes vitesses de chauffage et atmosphères de dégradation (concentration locale d'oxygène) afin de caractériser la cinétique de décomposition thermique des matériaux. Les évolutions couplées des pertes de masse, vitesses de perte de masse et des émissions gazeuses selon les conditions initiales permettront alors le développement d'un modèle cinétique de décomposition thermique (modèle de pyrolyse) de chaque matériau. Les constantes cinétiques de chaque réaction du modèle de décomposition thermique étant inconnues, celles-ci seront déterminées par une méthode inverse d'optimisation, telle que les essais de particules. La comparaison des

résultats expérimentaux et numériques permettra alors la validation du modèle de pyrolyse développé.

- Suite à cette première étude à l'échelle de la matière, des essais seront réalisés à la petite échelle (quelques centimètres et grammes) à l'aide du dispositif expérimental du cône calorimètre (Norme ISO 5660). Ces essais ont une double finalité :
 - o Définir les propriétés d'inflammabilité et de combustibilité des 2 matériaux bois : délais d'inflammation, flux critique d'inflammation, vitesse de perte de masse, heat release rate, paramètre de réponse thermique, inertie thermique, etc. Autant de paramètres nécessaires à caractériser le comportement au feu des matériaux et servant de données d'entrée au modèle.
 - o Fournir les connaissances nécessaires pour le développement et la validation du modèle (total) par la fourniture de données d'entrée et de points de comparaison. En effet, à cette échelle, sont ajoutés les phénomènes de diffusion des espèces et thermique (négligés à l'échelle de la matière) que le modèle doit décrire, tout comme la dynamique d'inflammation de chacun des 2 matériaux.

Dans un second temps, les travaux viseront à simuler numériquement les essais en cône calorimètre en intégrant le modèle cinétique développé à l'échelle de la matière au sein du code de calcul utilisé (Firefoam très certainement). La comparaison des résultats numériques et expérimentaux permettra l'optimisation puis la validation du modèle concernant sa capacité à décrire les évolutions des pertes et vitesses de perte de masse ainsi que des champs de températures.

- Si la petite échelle permet d'ajouter une complexité par la mise en œuvre de phénomènes diffusifs, la configuration expérimentale du cône calorimètre ne permet pas d'avoir une propagation de flamme. C'est là tout l'enjeu de l'étude à l'échelle du matériau (10^{aines} de cm et kg). Des essais seront ainsi réalisés avec une propagation de flamme en IMO-LIFT et/ou en panneau radiant.

Au-delà des paramètres jusqu'ici étudiés, ces essais permettront de caractériser le comportement des matériaux étudiés dans cette configuration et de fournir des données nécessaires à la validation du modèle.

En effet, celui-ci sera utilisé pour simuler ces essais afin de permettre de qualifier le modèle et de valider sa capacité à simuler une propagation de flamme.

Selon les résultats numériques obtenus, une phase d'optimisation du modèle pourra être nécessaire.

- Il s'agit ensuite de valider le modèle à l'échelle semi-réelle. Pour cela, des essais seront réalisés au sein de FCBA sur le dispositif du Single Burning Item modifié. Ces essais mettront en jeu une face de mur en bardage avec une attaque centrale au brûleur afin de se positionner dans une configuration plus proche et plus représentative du test LEPIR.

Dans un second temps, il s'agira de simuler numériquement à l'aide du modèle préalablement développé le montage réel de la façade, tel que mis en place lors de ces essais LEPIR : isolant, lame d'air et de valider le modèle quant à sa capacité à décrire la propagation du feu.

Cette simulation numérique à cette échelle sera réalisée en 2 temps :

- o Premièrement, il s'agira de simuler l'essai sans le produit pour vérifier la capacité du modèle à représenter le brûleur et la source de feu.
- o Une fois cette étape validée, alors le modèle sera appliqué au dispositif complet avec attaque thermique du bardage en bois.

Les paramètres étudiés pour caractériser le modèle seront les flux de chaleurs, les champs de température et la propagation du feu en façade.

- En dernier lieu, il s'agit de travailler à échelle réelle, sur le dispositif d'essais LEPiR. En fonction des mesures et des résultats déjà en possession de FCBA, sera déterminé le besoin ou pas d'essais complémentaires.

Le code préalablement développé et validé à échelle croissante sera utilisé pour simuler numériquement ces essais. Il s'agit alors d'évaluer la capacité du code à simuler la propagation de l'incendie, les transferts de chaleur et la décomposition thermique du bois au cours de l'essai. La démarche se fera une nouvelle fois par étape :

- o Dans un premier temps, simulation de l'essai « en inerte », sans façade, juste avec le feu d'origine défini dans la norme. Un essai spécifique devra être réalisé en ce sens afin d'évaluer la capacité du modèle à représenter le foyer source.
- o Ensuite, les simulations numériques seront appliquées aux essais avec façade concernant les 2 matériaux choisis.

Les verrous scientifiques principaux associés à cette étude sont :

- Le développement et le couplage de modèles de pyrolyse au sein des codes de calcul ISI pour décrire précisément la décomposition thermique, donc le débit volatil, source de l'inflammation (zone N+2).
- L'étude et simulation numérique de l'inflammation et de la propagation de flamme de matériaux sur des configurations complètes. Il s'agit ainsi de représenter la propagation en paroi.
- Etude de l'interaction flamme / paroi, couplages forts phases gazeuse et solide afin de décrire l'inflammation et la propagation, notamment au niveau N+2 : décomposition thermique, transferts de chaleur, émissions de volatils, mélange, inflammation, réactions de combustion.

La répartition prévisionnelle des tâches repose sur une présence de l'étudiant à 25% au sein de l'Institut FCBA et de 75% au sein du laboratoire de recherche, Institut Pprime.

4. Planning de l'étude :

Début de la thèse au 1^{er} trimestre 2016, selon la réponse de l'ANRT.

5. Contacts :

La personne à contacter est :

Thomas ROGAUME

Institut Pprime – IRIAF

11 Rue Archimède

79000 NIORT

05 49 24 98 31

thomas.rogaume@univ-poitiers.fr

Pour candidater, envoyez un CV détaillé avec votre expérience en recherche et vos compétences ainsi qu'une lettre de motivation.