

Simulation numérique des structures hybrides acier-bois en cas d'incendie

NGUYEN Manh Hung¹, SAULNIER Véronique¹
OULDBOUKHITINE Salah-Eddine¹, DURIF Sébastien¹, BOUCHAIR AbdelHamid¹

¹Université Clermont Auvergne, CNRS, SIGMA Clermont, Institut Pascal
Manh_Hung.NGUYEN@etu.uca.fr

Mots clefs : Simulation numérique ; bois ; structure acier ; ISO 834; protections passives

1. Introduction

La structure en acier est utilisée de manière courante dans le bâtiment, le génie civil. L'acier est un matériau avec une bonne résistance mécanique et facile à mettre en œuvre sur de grandes portées pour les ouvrages d'art. Cependant, en cas d'incendie, l'acier, lors de son échauffement perd rapidement ses propriétés mécaniques à partir de 200°C pour sa raideur et 400°C pour sa résistance. A partir de 550°C, la limite d'élasticité et le module d'Young diminuent très fortement (EN-1993-1-2, 2005). Dans cette recherche, une solution de protection au feu à l'aide d'éléments en bois est étudiée. Différentes sections et combinaisons de bois et d'acier sont étudiées afin d'évaluer le bénéfice du bois sur l'échauffement de l'acier avec une quantité plus ou moins importante de bois. Ce travail de recherche a pour but d'évaluer le comportement thermique des structures métalliques ou hybrides acier-bois. Un modèle thermique a été proposé pour simuler le transfert de chaleur dans le bois et l'acier par un programme d'éléments finis en deux dimensions (2D) sur le logiciel Abaqus (Dassault systemes, 2013). La validation est basée sur la comparaison entre les résultats numériques et expérimentaux avec notamment les températures mesurées et l'évaluation de la vitesse de carbonisation du bois.

2. Étude aux éléments finis

2.1. Configurations étudiées

Les essais ont été menés avec différents types de bois comme : douglas, pin, sapin et lamellé-collé. Les échantillons ont été exposés au feu sur 3 ou 4 faces. Les poutres en acier sont des poutres en T 230 ou des IPE 200, IPE 240 et IPE 140 protégées partiellement et totalement encapsulées par le bois (**Figure 1**).

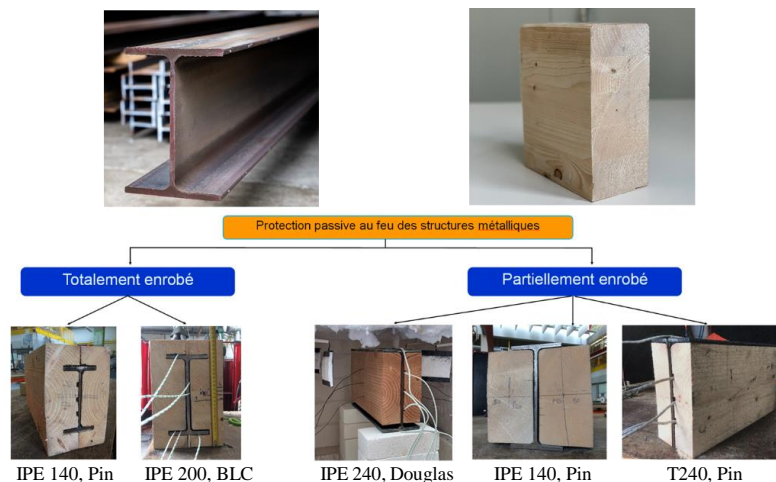


Fig. 1 : Configurations testées utilisant le bois comme protection passive

2.2. Modèle élément finis

Des éléments de type DC2D4 - quadrilatère de transfert de chaleur linéaire à 4 nœuds, sont utilisés dans ces simulations et disponibles dans la bibliothèque ABAQUS. Le temps d'exposition au feu normalisé a été appliqué à $t = 120$ minutes pour les simulations 2D. La température ambiante des nœuds du modèle a été initialement réglée à $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, et d'autres paramètres clés tels que la constante de Stefan-Boltzmann ont été spécifiés pour l'analyse. Le feu normalisé (ISO-834, 1999) a été utilisé pour aider à la reproductibilité des résultats obtenus. La courbe du feu a été calculée pour la durée de simulation requise et stockée sous forme de jeu de données d'amplitude de température dans le logiciel.

Cette amplitude a ensuite été appliquée à chaque surface exposée au feu des éléments modélisés. Les conditions de film de surface, qui sont décrites comme suit :

- Le feu normalisé a été appliqué à la surface exposée sous forme de chaleur radiative avec un coefficient d'émissivité de 0,8.
- Le feu normalisé a également été appliqué à la surface exposée sous forme de chaleur convective avec un coefficient de convection de $25\text{ W/m}^2\text{K}$.
- L'environnement en plein air a été modélisé comme une surface convective libre avec un coefficient convectif supposé de $9\text{ W/m}^2\text{K}$, pour modéliser les pertes radiatives et convectives et le flux de chaleur dû au rayonnement peut être négligé.

3. Validation

Les résultats de la comparaison entre le modèle et l'expérience a été étudié qui confirment que le modèle a été validé sur la base d'essais. La **figure 2** montre une comparaison de la température de la poutre IPE 200 entre les simulations numériques et les résultats expérimentaux. Les températures calculées sur le profil métallique le plus proche des températures mesurées sont obtenues avec la température maximale du four.

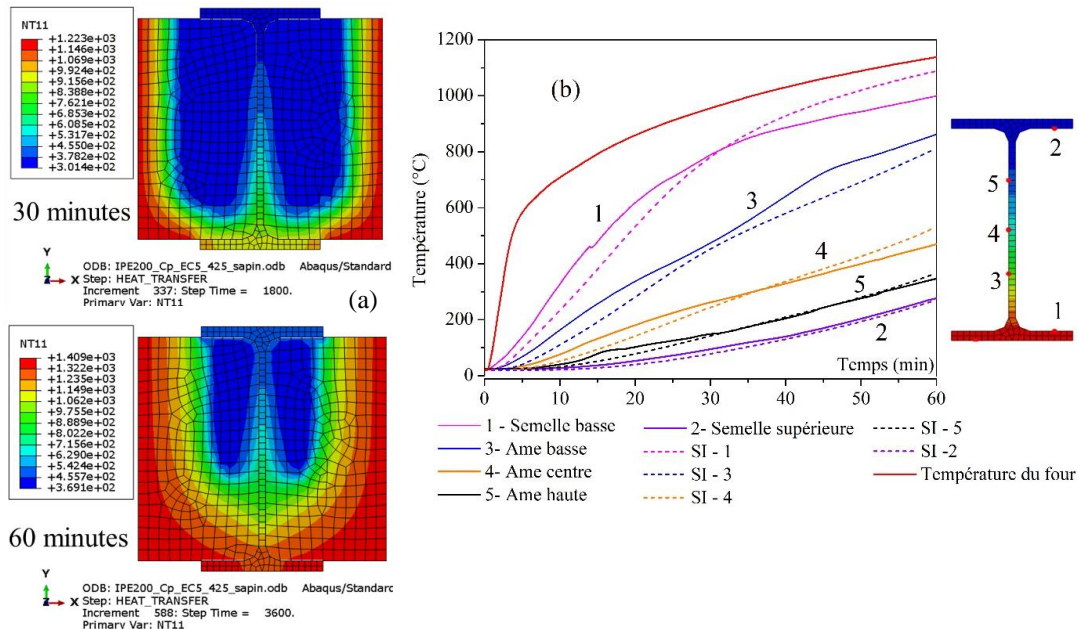


Fig. 2 : (a) Distribution de la température dans la section transversale, T (K) ; (b) Comparaison des températures simulées aux températures mesurées sur l'acier pendant 60 minutes

La température du feu modélisé correspond à celle mesurée expérimentalement dans le four. Les températures calculées et mesurées sont quasiment identiques (**Fig.2**). Ce modèle peut ensuite servir de base pour comparer chacune de ces configurations à une seule poutre en acier en les soumettant aux mêmes conditions d'échauffement, au même profil IPE 240 et la densité du bois est de 550kg/m³ avec une taux d'humidité de 12%.

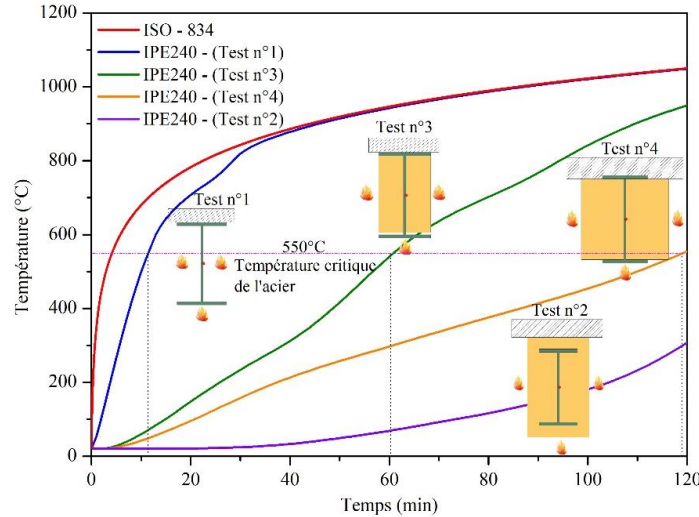


Fig. 3 : Comparaison de température sur l'âme d'une poutre en acier IPE240 dans les mêmes conditions aux limites sur quatre configurations différentes

Les essais expérimentaux ont été réalisés sur différentes configurations de poutres protégées par du bois. Cette variation de configuration se traduit aussi par des profils différents (IPE 140, IPE200 et IPE 240), une quantité de bois différente et donc des températures de four différentes. Ces variations de température du four étaient voulues car elles permettaient de prendre en compte l'impact de la quantité de bois sur la sévérité des températures du four. En corollaire, les seules observations expérimentales ne permettent pas de tirer de conclusions définitives sur les performances des différentes solutions bois de protection incendie. D'où l'intérêt d'un modèle MEF basé sur tous ces tests pour permettre de réaliser cette étude comparative en considérant le même profil et la même température de four pour chaque configuration (**Fig. 3**).

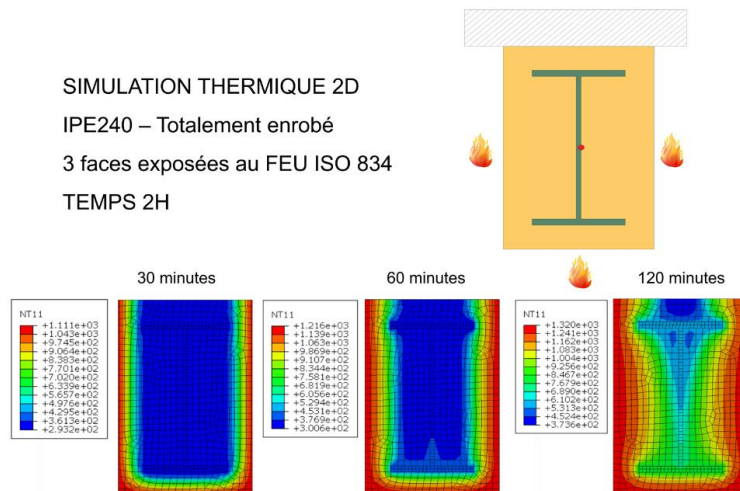


Fig. 4 : Distribution de la température dans la section transversale, T (K)

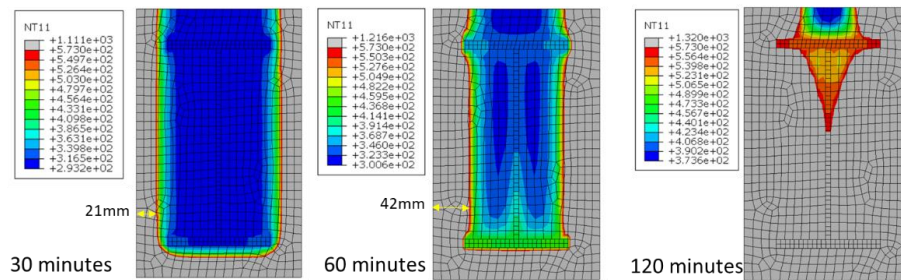


Fig. 5 : Formation de la couche du charbon à partir de 300 ° C, T (K)

La **figure 4 et 5** montrent la distribution des températures en parallèle isotherme à 300° C permet de représenter le front de carbonisation. Ainsi, le bois est intégralement brûlé à 120 minutes d'exposition au feu. La valeur de la vitesse de combustion moyenne du bois estimée numériquement est de 0,7 mm/min sur cette simulation, elle est similaire à la vitesse de combustion standard proposée par l'Eurocode 5.

4. Conclusion

Le bois a bien un effet retardateur sur l'échauffement de la poutre en acier. Les résultats expérimentaux sont indispensables pour confirmer les modèles de simulations numériques menées en parallèle sur le logiciel ABAQUS. Dans cette recherche, des essais au feu ont été effectués conformément à la norme EN 1363-1 (NF-EN-1363-1, 2013) et un modèle thermique 2D a été appliqué à partir d'un modèle basé sur l'Eurocode 5 (Eurocode 5, 2011) pour comparer avec les résultats expérimentaux obtenus et trouver des solutions pour surmonter les lacunes de l'expérience de mise en œuvre. Les résultats de la recherche devraient être appliqués au développement d'expériences thermomécaniques dans un nouveau four, qui peut être construit dans d'autres études et en même temps développer un modèle thermomécanique 3D. La recherche thermomécanique pourrait être appliquée aux immeubles de grande hauteur ; par conséquent, une exigence de sécurité plus élevée pour une résistance au feu plus longue sera assurée en augmentant l'épaisseur du bois de protection extérieur.

5. Remerciements

Je tiens à remercier vivement les techniciens de l'IUT Clermont Auvergne pour l'aide apporté lors de la mise en œuvre des essais. Et aussi grand merci à l'Institut MECD (Matériaux et Equipements pour la Construction Durable) - fournisseur des matériaux pour les essais.

Références

- Dassault systemes. (2013). Abaqus/CAE User's Guide. *Abaqus User's Guide*, 1138.
- EN-1993-1-2. (2005). Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design. *The European Union*, 1.
- Eurocode 5. (2011). *Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-2: General - Structural fire design. I(2005)*.
- ISO-834. (1999). *ISO - 834: Fire resistance tests-elements of building construction. 1999*.
- NF-EN-1363-1-. (2013). *Essais de résistance au feu - Partie 1 : exigences générales. AFNOR Normalisation*.