

□ Contexte :

- Phénomènes à l'interface solide-gaz mal compris.
- Application Ingénierie : Ouverture réglementaire pour l'ingénierie de la réaction au feu → Nécessiter de représenter la propagation de flamme sur des échelles larges.

☐ Contexte :

- Phénomènes à l'interface solide-gaz mal compris.
- Application Ingénierie : Ouverture réglementaire pour l'ingénierie de la réaction au feu → Nécessiter de représenter la propagation de flamme sur des échelles larges.

☐ Objectifs :

- Etudier les phénomènes présents lors de l'interaction flamme-paroi et identifier les phénomènes pilotant la propagation de flamme.
- Définir une méthodologie destinée à l'ingénierie, permettant de prédire la propagation de flamme sur des échelles larges (Quelles données d'entrée ? Quels modèles numériques ? Etc.).

☐ Contexte :

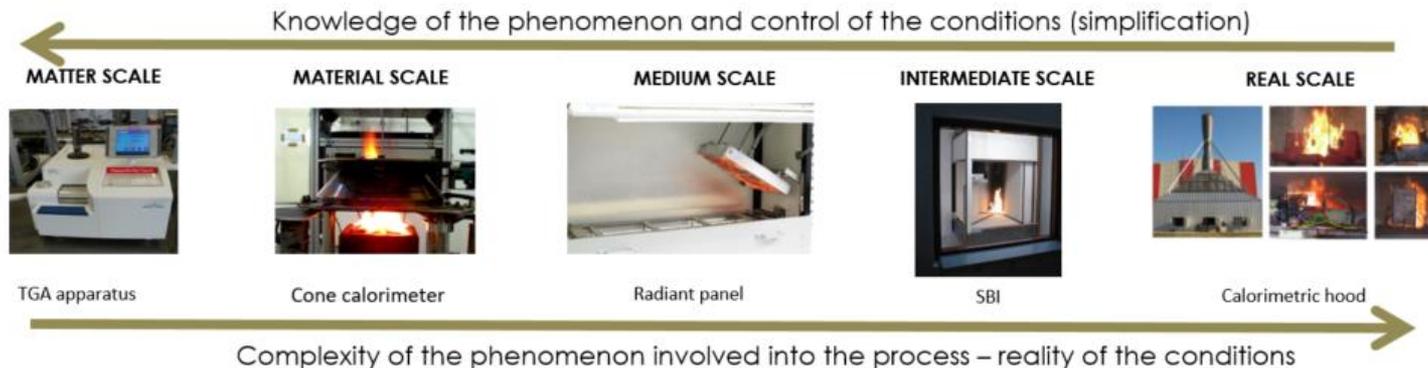
- Phénomènes à l'interface solide-gaz mal compris.
- Application Ingénierie : Ouverture réglementaire pour l'ingénierie de la réaction au feu → Nécessiter de représenter la propagation de flamme sur des échelles larges.

☐ Objectifs :

- Etudier les phénomènes présents lors de l'interaction flamme-paroi et identifier les phénomènes pilotant la propagation de flamme.
- Définir une méthodologie destinée à l'ingénierie, permettant de prédire la propagation de flamme sur des échelles larges (Quelles données d'entrée ? Quels modèles numériques ? Etc.).

☐ Méthodologie :

- Expérimentale et numérique.
- Application au bois de sapin en configuration verticale, et au PVC en configuration horizontale.



☐ Contexte :

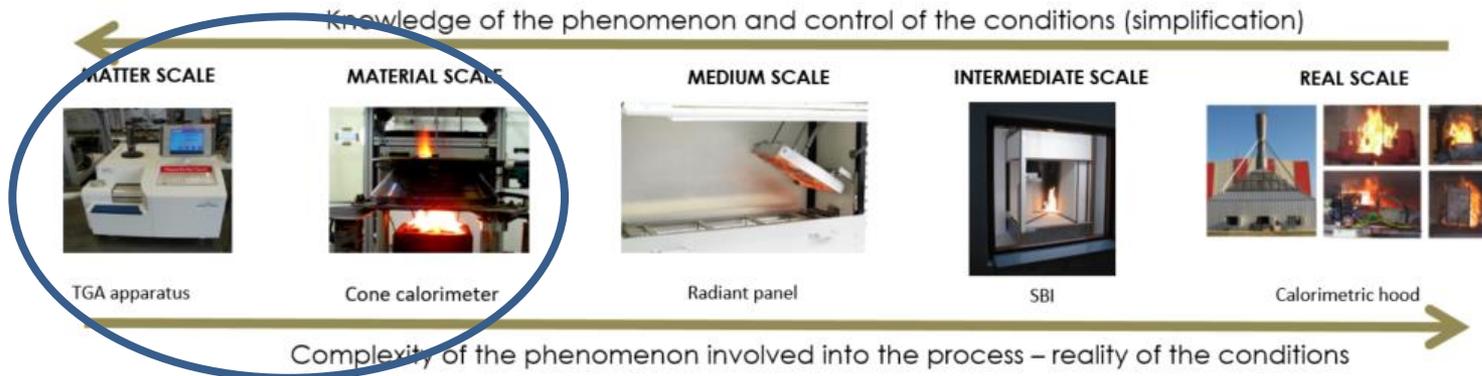
- Phénomènes à l'interface solide-gaz mal compris.
- Application Ingénierie : Ouverture réglementaire pour l'ingénierie de la réaction au feu → Nécessiter de représenter la propagation de flamme sur des échelles larges.

☐ Objectifs :

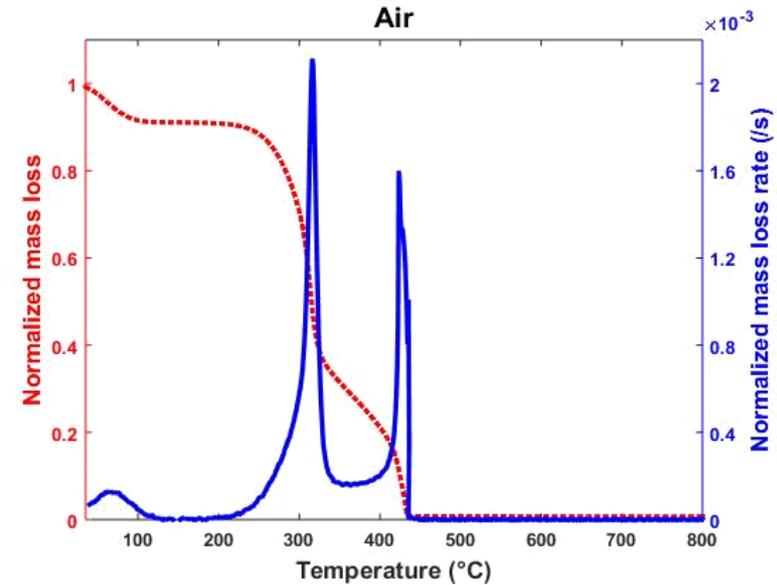
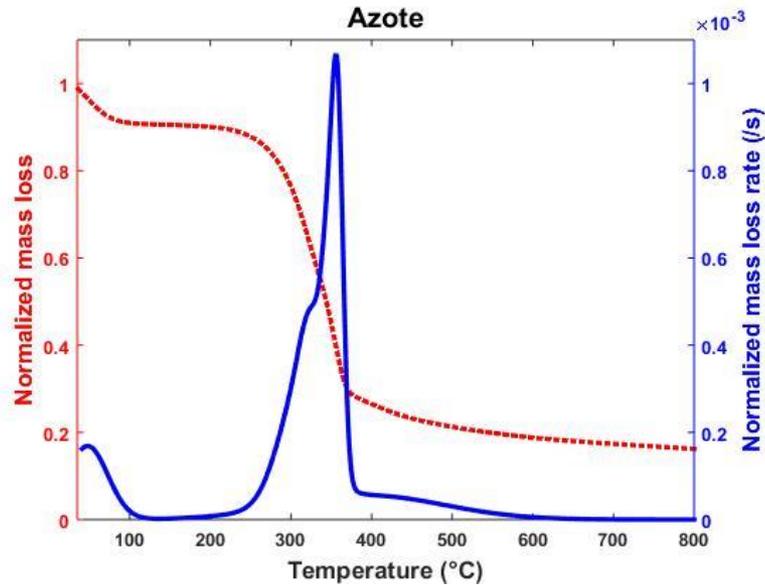
- Etudier les phénomènes présents lors de l'interaction flamme-paroi et identifier les phénomènes pilotant la propagation de flamme.
- Définir une méthodologie destinée à l'ingénierie, permettant de prédire la propagation de flamme sur des échelles larges (Quelles données d'entrée ? Quels modèles numériques ? Etc.).

☐ Méthodologie :

- Expérimentale et numérique.
- Application au bois de sapin en configuration verticale, et au PVC en configuration horizontale.

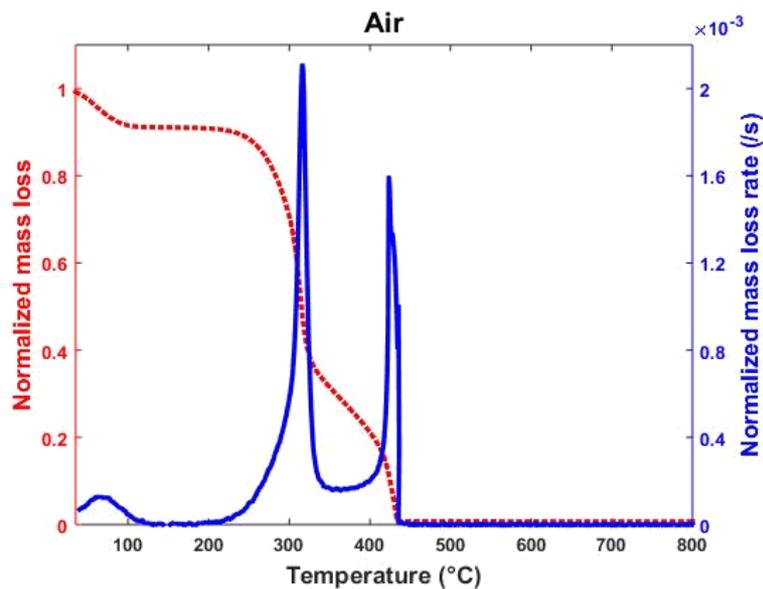
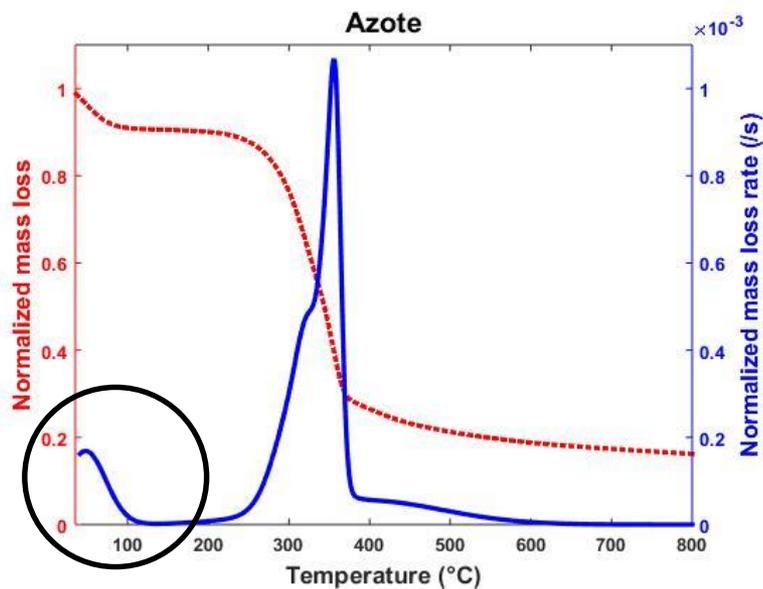


- ❑ Atmosphère : N₂ et air.
- ❑ Vitesse de chauffage : 5°C/min.



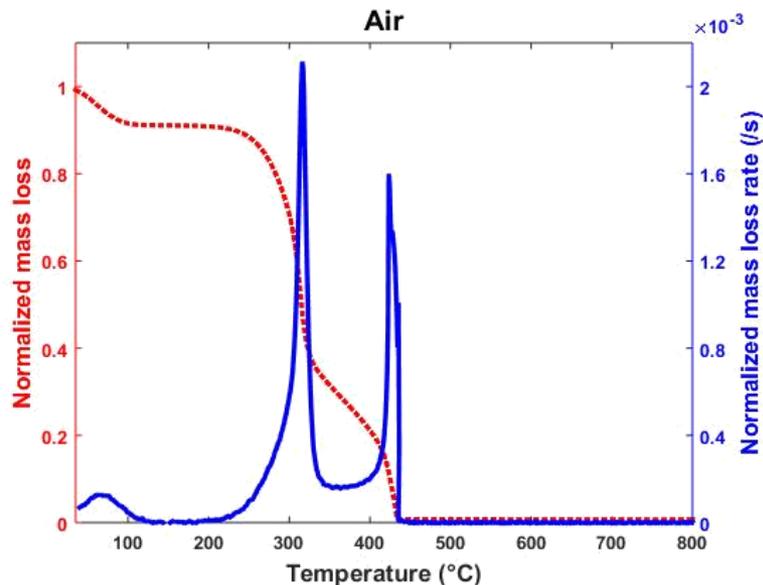
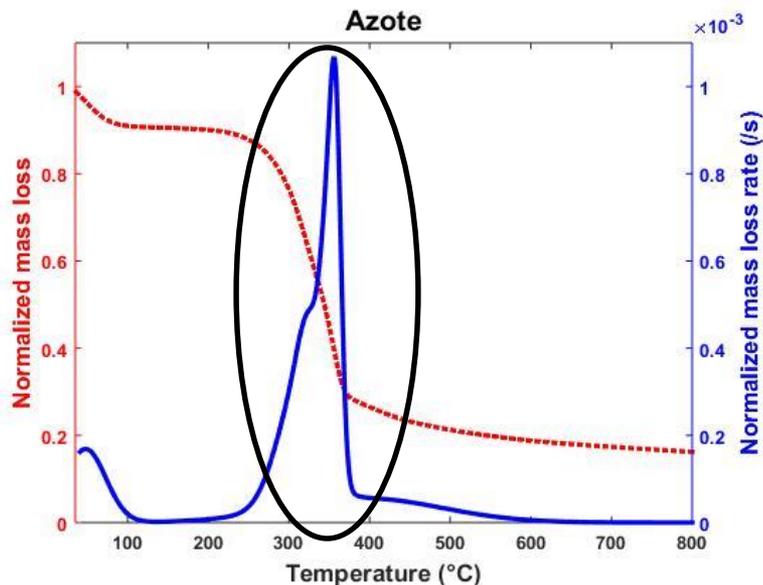
- ❑ Schéma de décomposition thermique :
 - Approche LPA :

- ❑ Atmosphère : N₂ et air.
- ❑ Vitesse de chauffage : 5°C/min.



- ❑ Schéma de décomposition thermique :
 - Approche LPA :
 - ✓ Bois humide $\xrightarrow{N_2}$ Bois sec

- ❑ Atmosphère : N₂ et air.
- ❑ Vitesse de chauffage : 5°C/min.

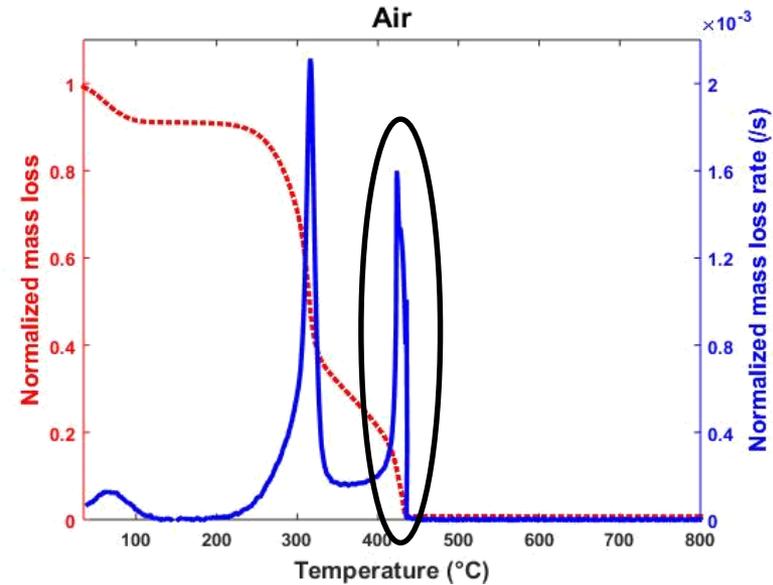
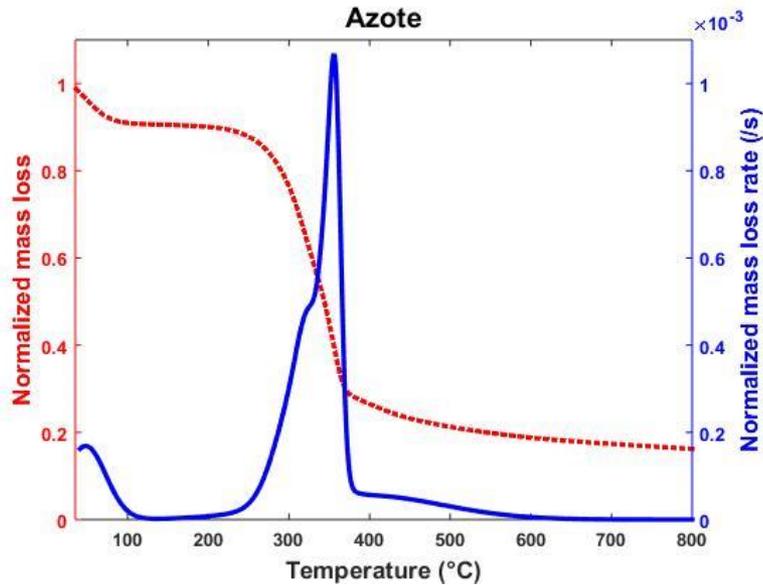


- ❑ Schéma de décomposition thermique :

- Approche LPA :

✓ Bois humide $\xrightarrow{\text{N}_2}$ Bois sec $\xrightarrow{\text{N}_2}$ Char

- ❑ Atmosphère : N2 et air.
- ❑ Vitesse de chauffage : 5°C/min.



- ❑ Schéma de décomposition thermique :
 - Approche LPA :



□ Schéma de décomposition thermique à trois réactions:

- Bois humide $\xrightarrow{N_2}$ Bois sec $\xrightarrow{N_2}$ Char \xrightarrow{Air} Résidu

□ Cinétique de décomposition thermique :

- Taux de réaction :

$$\dot{\omega} = A e^{-\frac{E_a}{RT}} Y_S^n Y_{O_2}^{n_{O_2}}$$

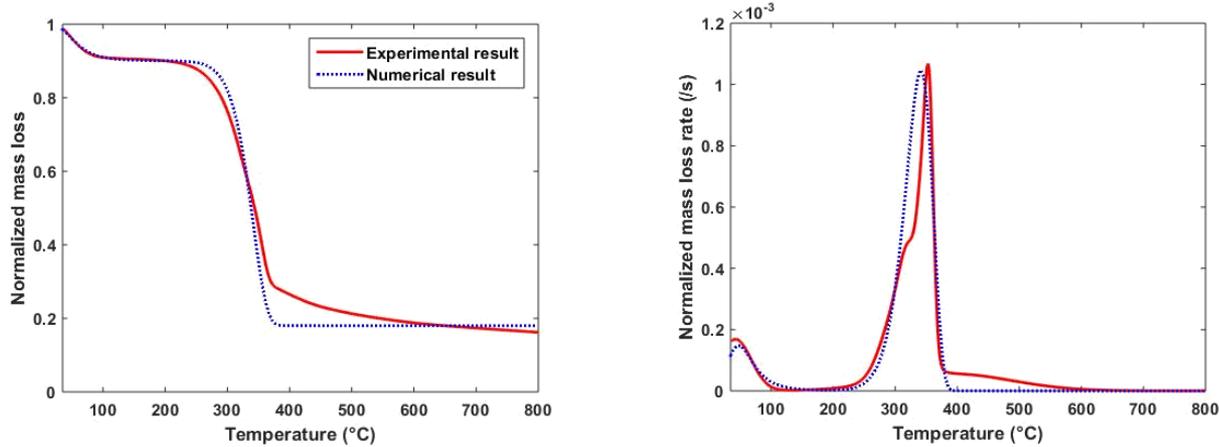
- Approche modélistique (Energie d'activation constante).
- Méthode d'optimisation inverse : Particle swarm optimisation.

	A (s ⁻¹)	E (kJ/kmol)	n	n _{O₂}	u
Réaction 1	4.06 ^{E8}	6.70 ^{E4}	2.8	0	0.9
Réaction 2	1.59 ^{E9}	1.37 ^{E5}	0.95	0	0.2
Réaction 3	1.86 ^{E24}	3.5 ^{E5}	1.36	1	0

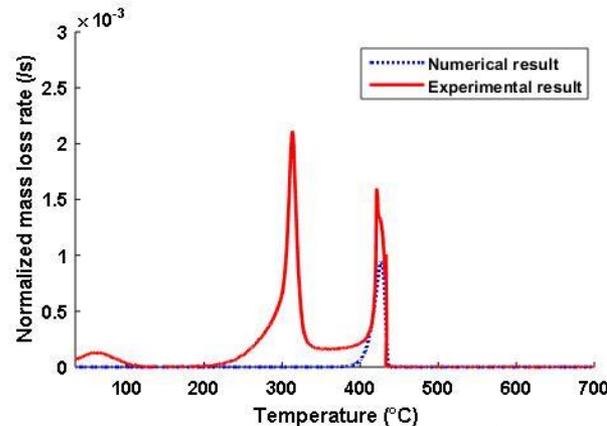
☐ Schéma de décomposition thermique à trois réactions :



☐ Réactions sous azote :



☐ Réaction sous air :

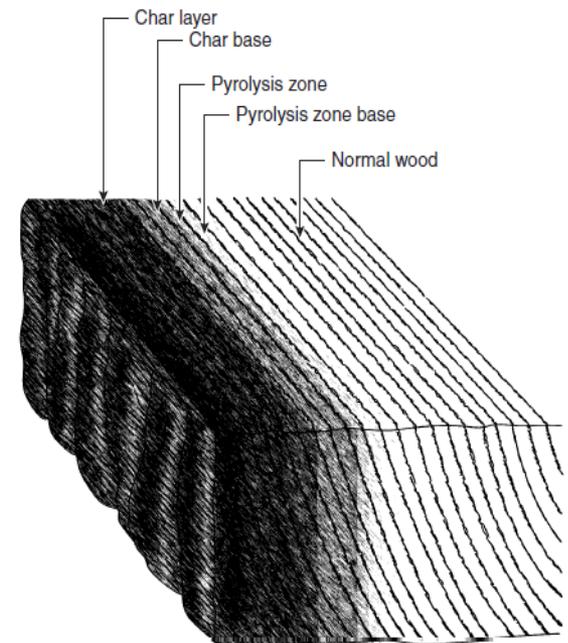


- ❑ Dimension de l'échantillon 100 x 100 x 18 mm³
- ❑ Porte échantillon en silicate de Calcium (contrôle des conditions aux limites).

❑ Flux testés : 20, 30 et 50kW/m².

❑ Mesures :

- Perte de masse.
- Vitesse de perte de masse.
- Températures (30 et 50kW/m²) :
 - ✓ 3 mm sous la surface.
 - ✓ Au milieu de l'épaisseur.
 - ✓ En face arrière.
 - ✓ 1 cm sous la face arrière.
- Mesure du front de pyrolyse (épaisseur de matériau vierge)^[1].

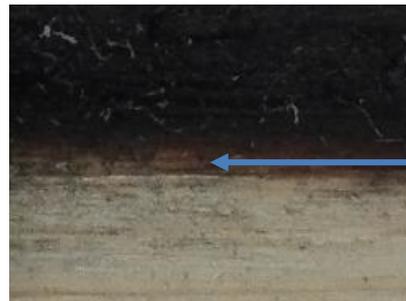
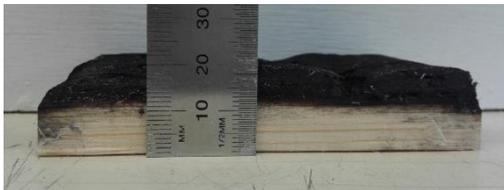


^[1] R. H. White, Analytical Methods for determining fire resistance of timber members. SFPE section 4 – Chapter 11, 2002.

- Mesure de température (30 et 50 kW/m²) :
 - Thermocouples de type K, 0.5mm de diamètre.
 - Placés perpendiculairement à la surface exposée.
 - ✓ A 3 mm de la surface exposée.
 - ✓ A 9 mm de la surface exposée (milieu de l'échantillon).
 - ✓ En face arrière.
 - ✓ 1 cm en dessous de la face arrière (dans l'isolant).

- Mesure de température (30 et 50 kW/m²) :
 - Thermocouples de type K, 0.5mm de diamètre.
 - Placés perpendiculairement à la surface exposée.
 - ✓ A 3 mm de la surface exposée.
 - ✓ A 9 mm de la surface exposée (milieu de l'échantillon).
 - ✓ En face arrière.
 - ✓ 1 cm en dessous de la face arrière (dans l'isolant).

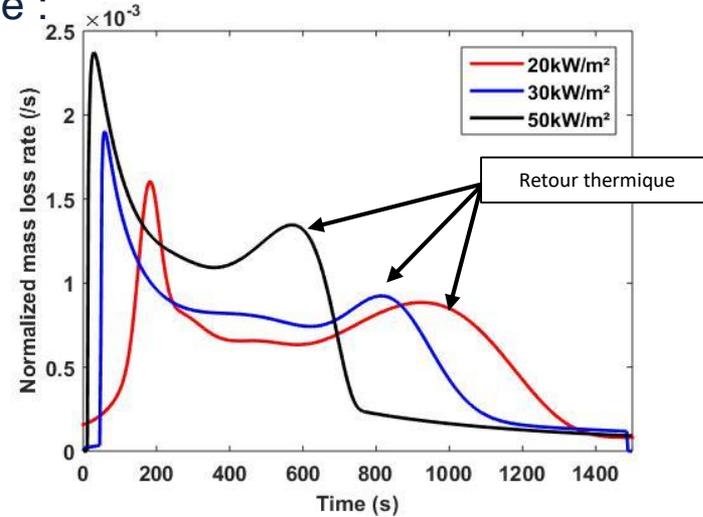
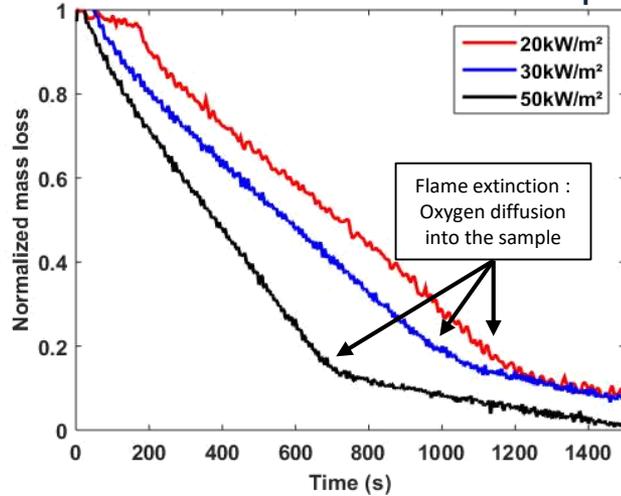
- Mesure du front de pyrolyse (30 et 50 kW/m²) :
 - Essai stoppé à t=100, 150, 200, 400, 600 et 700s.
 - Un seul essai pour chaque flux, et chaque temps.



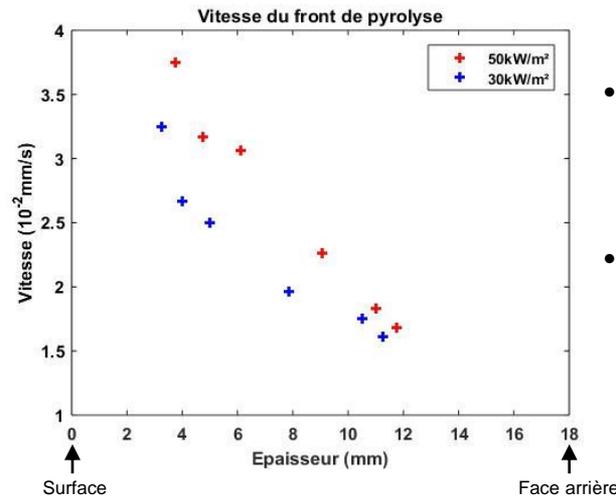
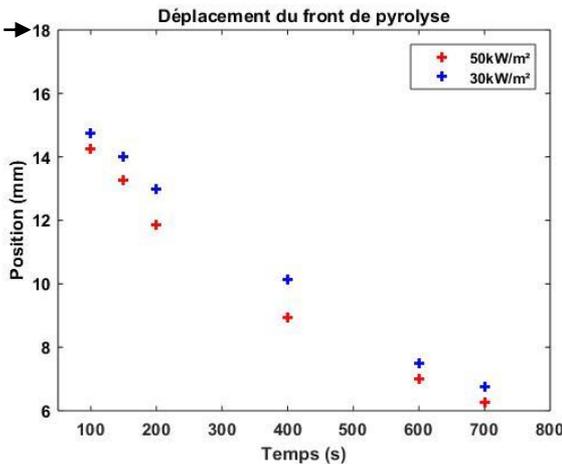
Zone de pyrolyse

- Les mesures de températures et de front de pyrolyse vont permettre d'estimer la température de pyrolyse.

❑ Perte de masse et vitesse de perte de masse :

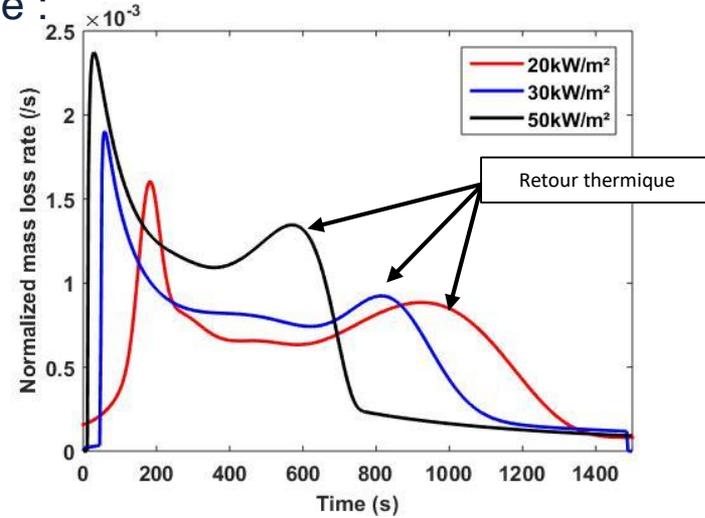
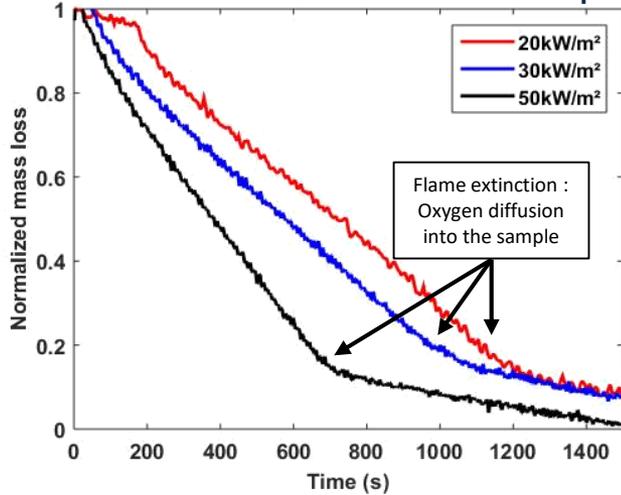


❑ Front de pyrolyse

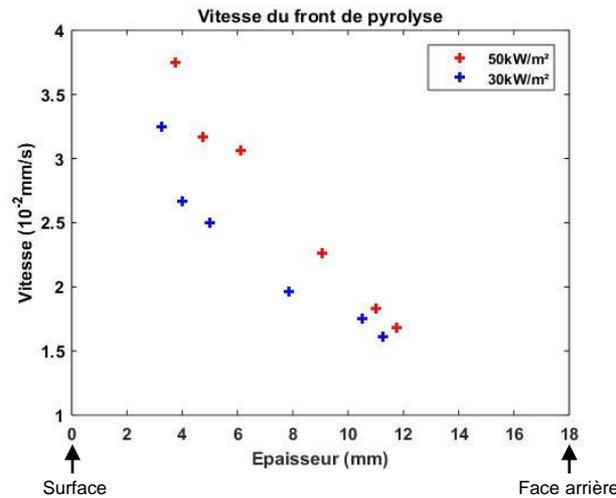
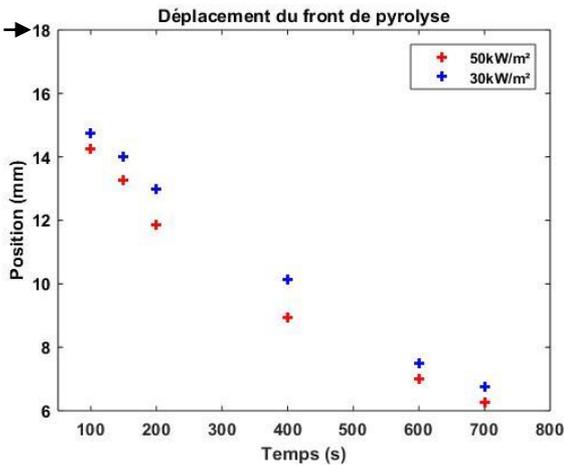


- Ralentissement du front → Effet protecteur du char.
- Front de pyrolyse à 9 mm :
 - À $t = 370s$ à $50kW/m^2$.
 - À $t = 500s$ à $30kW/m^2$.
 - Données utilisées pour estimer la température de pyrolyse.

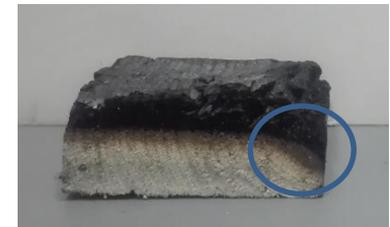
❑ Perte de masse et vitesse de perte de masse :



❑ Front de pyrolyse



30kW/m²

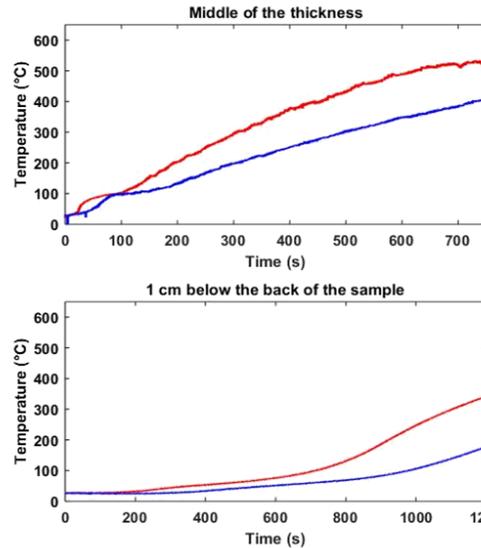
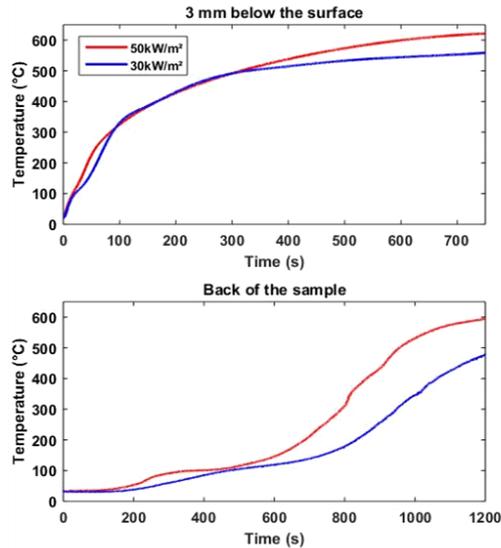


400s



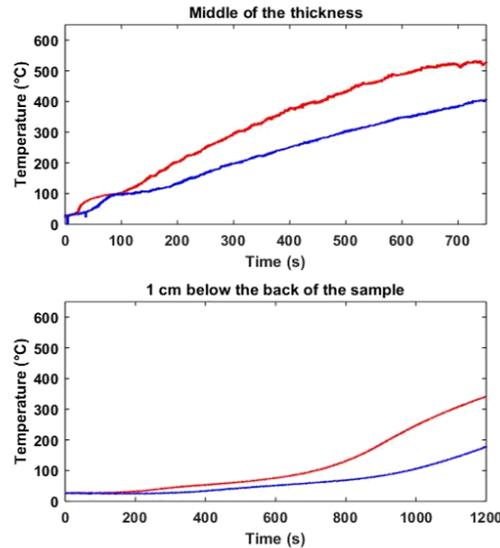
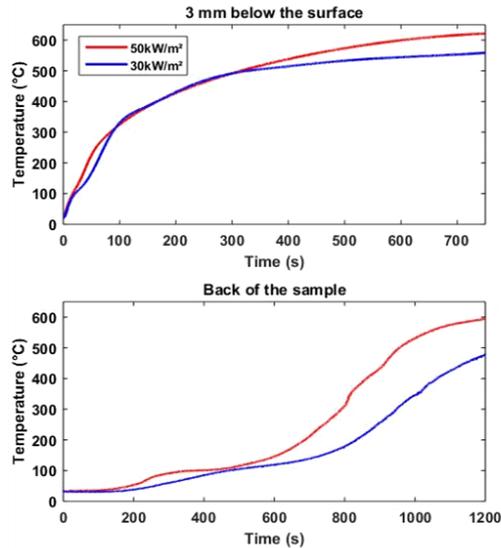
600s

□ Températures :



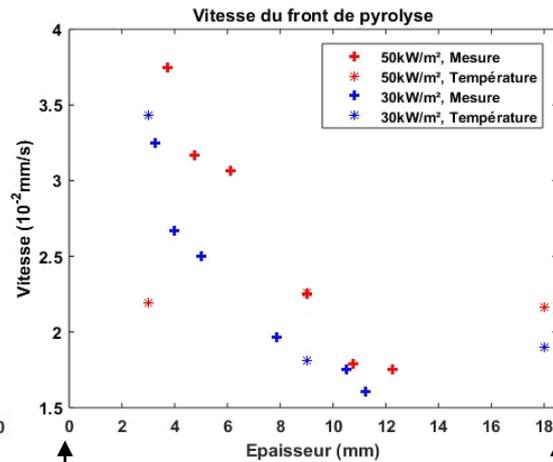
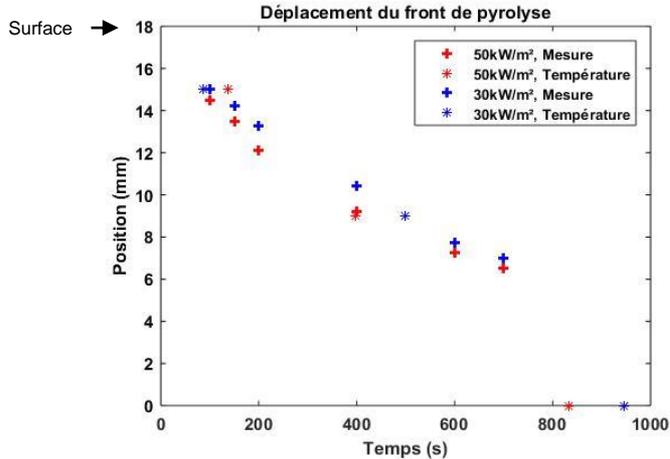
- Température au milieu de l'épaisseur utilisée pour déterminer la température de pyrolyse :
 - 50kW/m², à t = 370s, T_p = 370°C.
 - 30kW/m², à t = 500s, T_p = 300°C.

□ Températures :



- Température au milieu de l'épaisseur utilisée pour déterminer la température de pyrolyse :
 - 50kW/m², à t = 370s, T_p = 370°C.
 - 30kW/m², à t = 500s, T_p = 300°C.

□ Front de pyrolyse – Combinaison des deux méthodes :



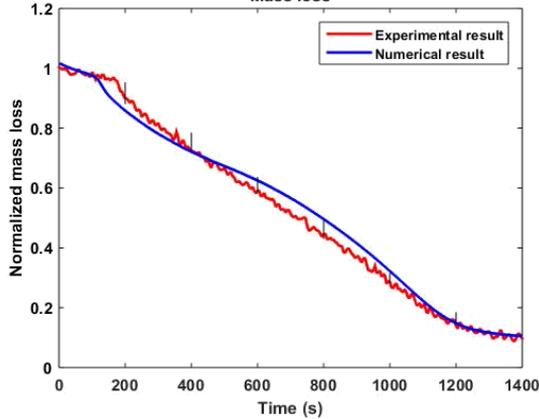
Accélération du front de pyrolyse :
Retour thermique dû à l'isolant.

- Flux radiatif directement appliquée à la surface de l'échantillon.
- Domaine 30 x 30 x 40 cm³.
- Maillage :
 - Maillage régulier.
 - Phase gazeuse : 1cm
 - Phase solide : 0.5 mm
- Transfert thermique 1D dans le solide.
- Modèle de pyrolyse présenté précédemment avec :
 - Diffusion d'oxygène dans le matériau :
 - $X_{O_2}(x) = X_{O_{2,g}} e^{-\frac{x}{L}}$
 - $X_{O_{2,g}}$: fraction volumique d'oxygène en phase gaz (1ere maille).
 - L : Profondeur de diffusion d'oxygène dans le matériau, supposé à 1 mm.
- Modèle de combustion infiniment rapide (EBU) :
 - Chaleur de combustible : 14 MJ/kg.
 - Fuel : C_{3,4}H_{6,2}O_{2,5}
 - CO yield = 0,004 kg/kg.
 - Soot yield = 0,01 kg/kg.
- Propriétés thermiques :
 - Capacité thermique déterminée à l'ATG-DSC + Enthalpies.
 - Conductivité thermique :
 - ✓ Pour le bois : Littérature.
 - ✓ Char : Littérature.
 - Densité : Littérature.
 - Emissivité =1.
- Données de validation :
 - Perte de masse et vitesse de perte de masse (20, 30 et 50kW/m²).
 - Températures (30 et 50 kW/m²).
 - Front de pyrolyse (30 et 50 kW/m²).

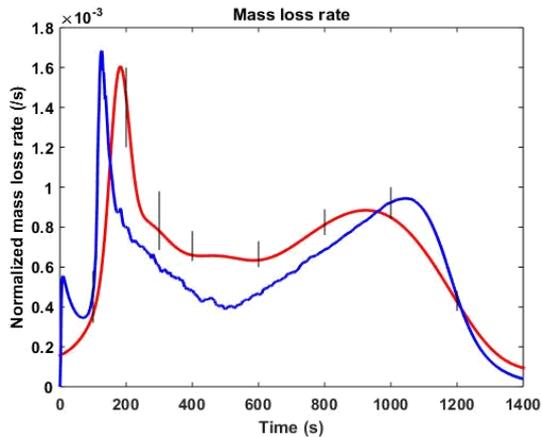
Perte de masse et vitesse de perte de masse :

20 kW/m²

Mass loss

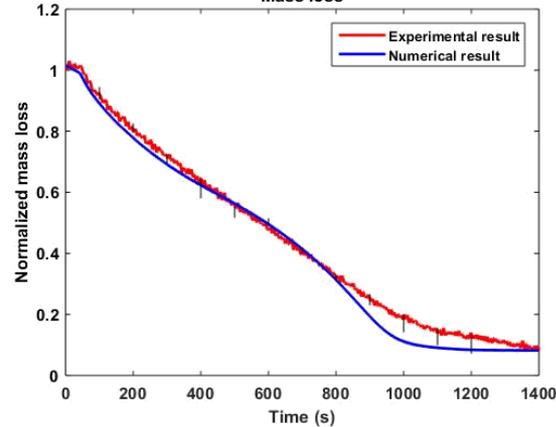


Mass loss rate

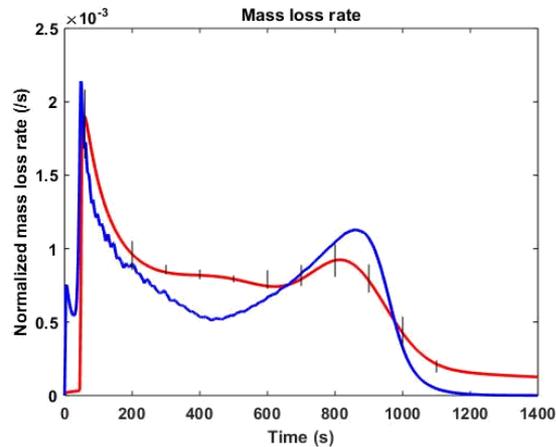


30 kW/m²

Mass loss

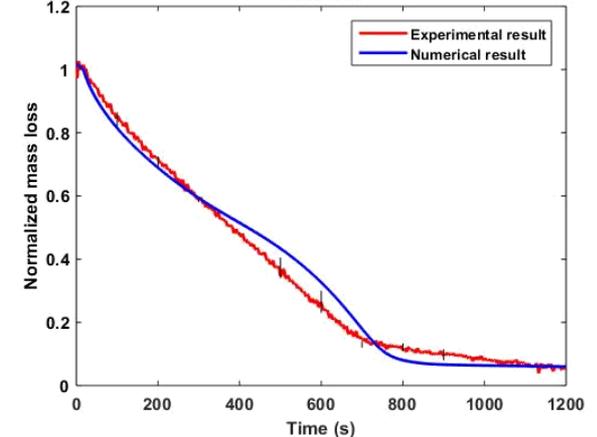


Mass loss rate

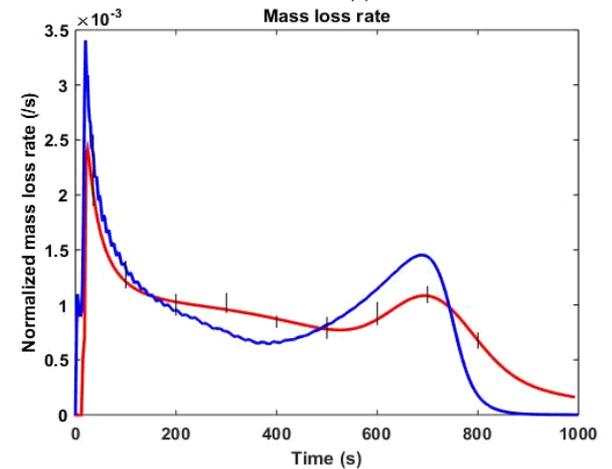


50 kW/m²

Mass loss



Mass loss rate

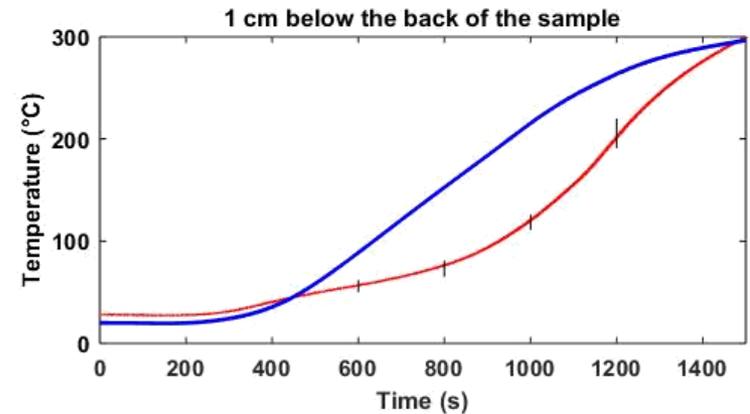
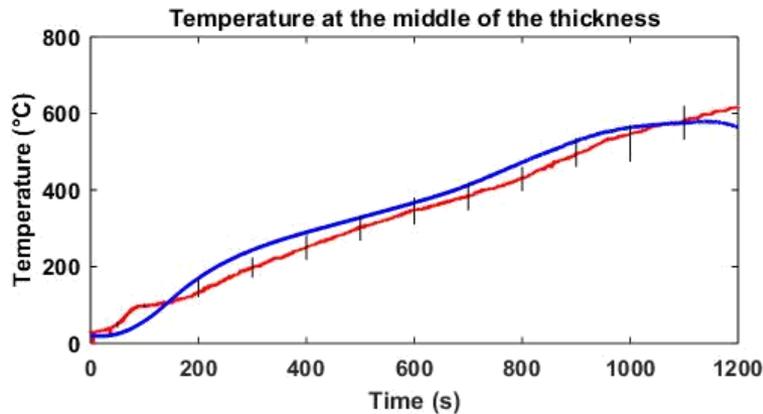
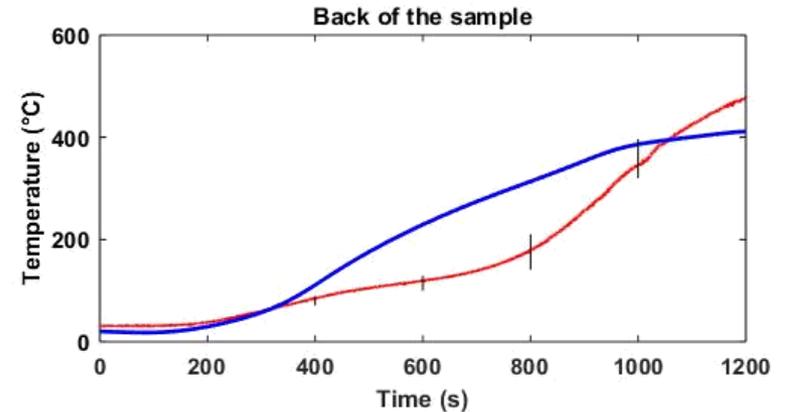
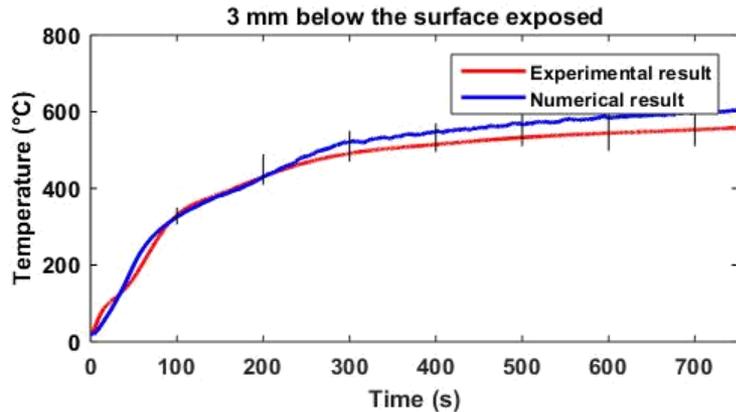


Ecarts causés par conditions aux limites expérimentales.

Comportement globalement bien représenté.



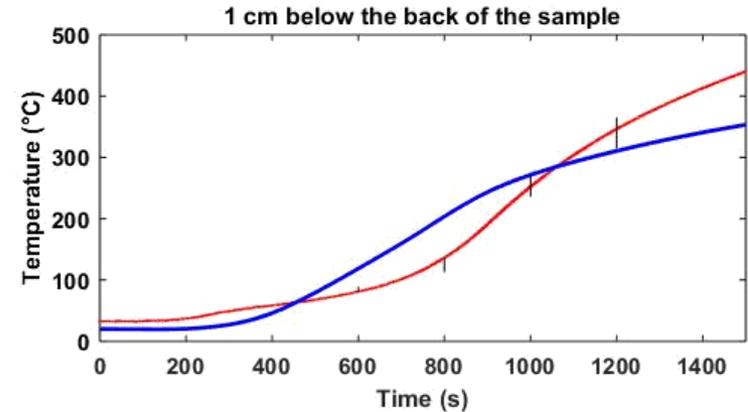
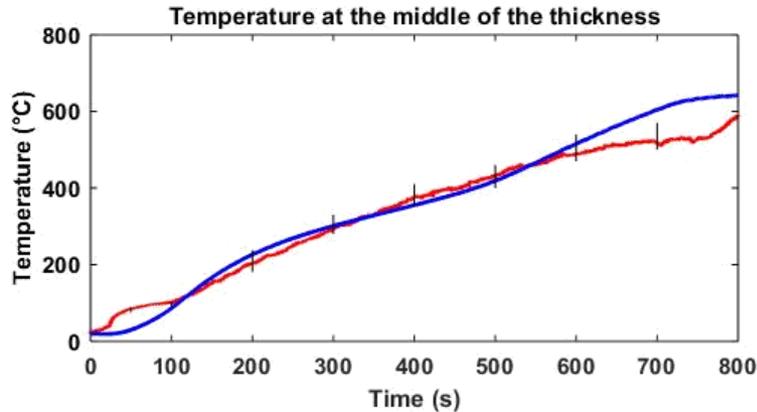
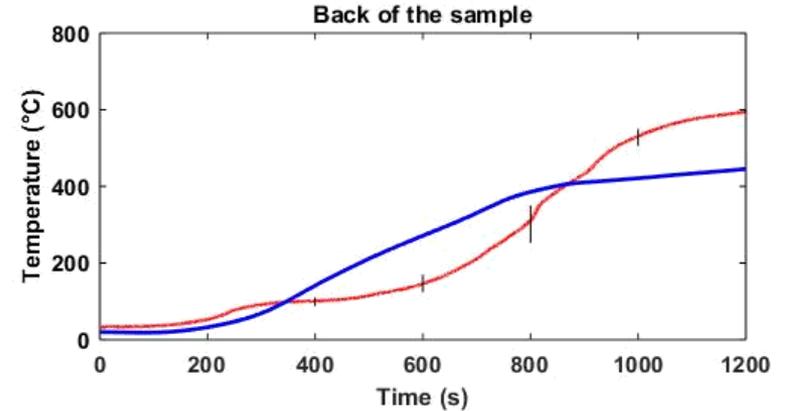
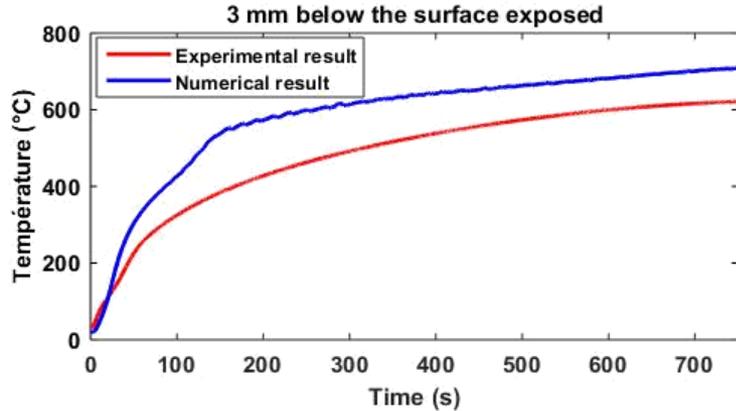
□ 30kW/m² - Températures :



□ Température en face arrière et dans l'isolant mal représentées :

- Propriétés de l'isolant incorrectes.
- Evaporation de l'eau dans le porte échantillon non prise en compte.

□ 50kW/m² - Températures :

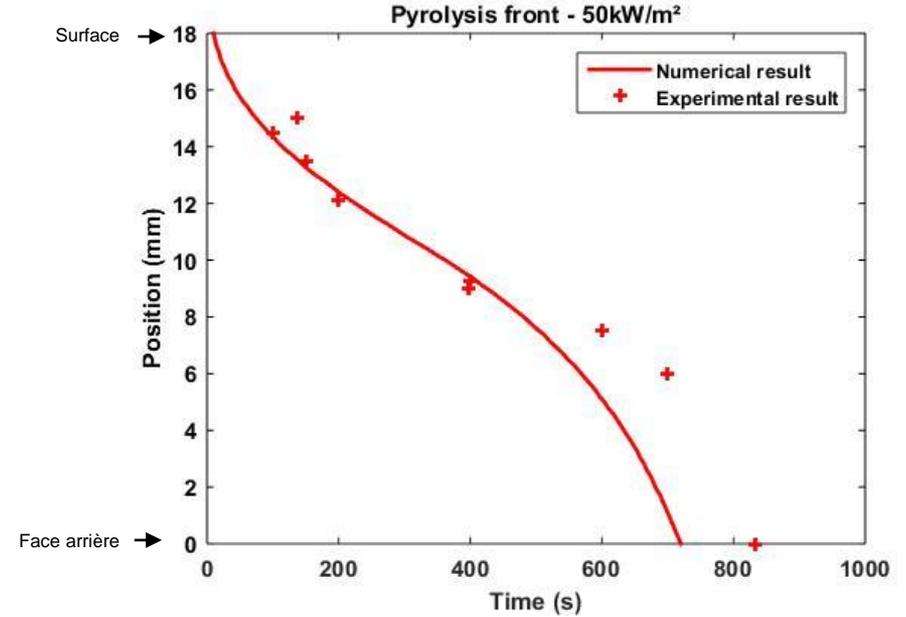
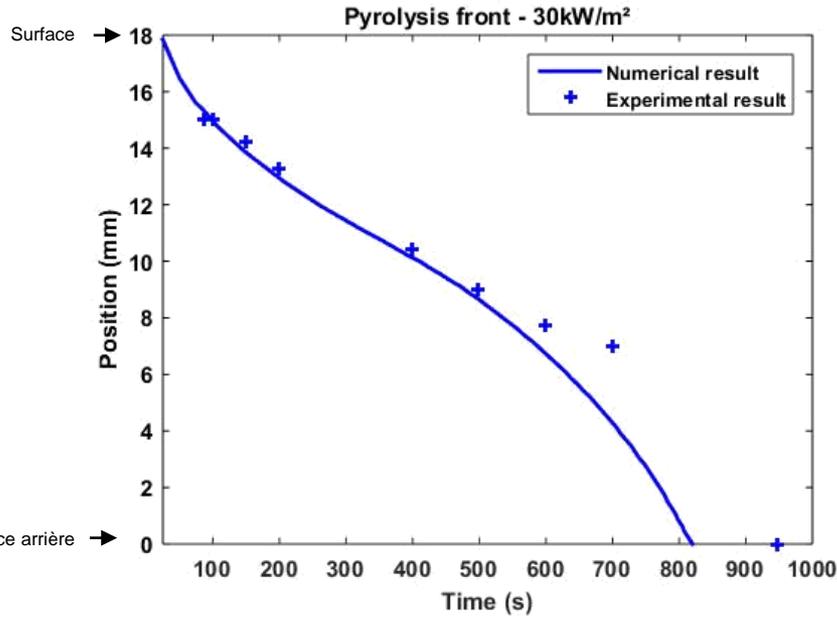


□ Température en face arrière et dans l'isolant mal représentées :

- Propriétés de l'isolant incorrectes.
- Evaporation de l'eau dans le porte échantillon non prise en compte.

□ Ecart pour la température de surface → Essai à refaire.

□ Front de pyrolyse :



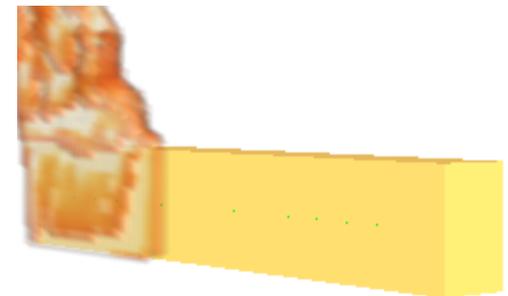
□ Front de pyrolyse correctement représenté jusqu'au retour thermique.

❑ Ecartis principalement causés par :

- Mauvais contrôle des conditions aux bords de l'échantillon :
 - Front inhomogène à partir de 400s.
- Humidité dans le porte échantillon.
- Propriétés du pote échantillon.

❑ Perspectives :

- Mesure de températures à 3 mm de la surface à 50 kW/m².
- Prise en compte de l'évaporation de l'eau à 100°C.
- Caractérisation de la conductivité thermique :
 - ✓ Bois vierge.
 - ✓ Char.
 - ✓ Isolant.
- Caractérisation de la capacité thermique de l'isolant.
- Extrapolation des données d'entrée à l'échelle supérieure.



MERCI DE VOTRE ATTENTION !