

## □ 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 :

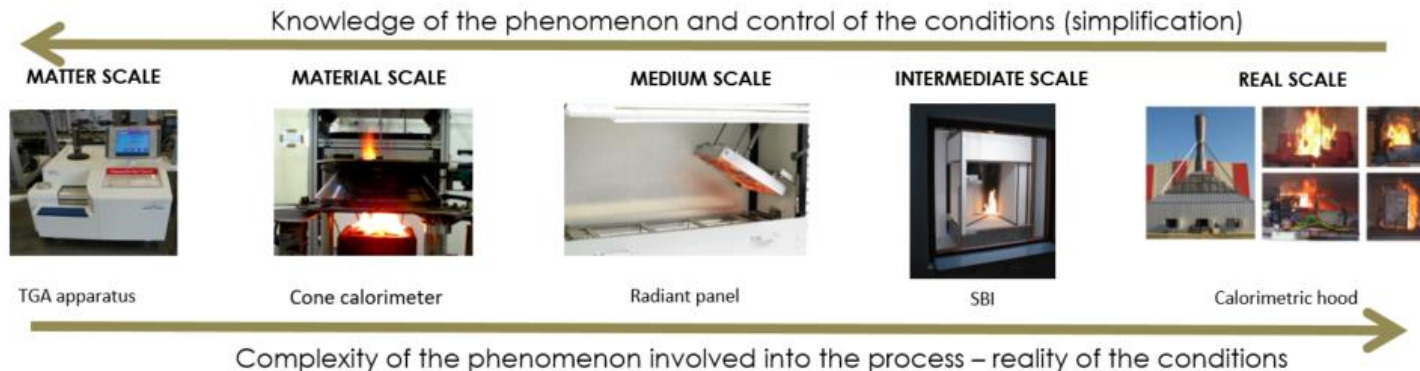
- Phénomènes à l'interface solide-gaz mal compris.
- Application Ingénierie : Ouverture réglementaire pour l'ingénierie de la réaction au feu → Nécessiter de représenter la propagation de flamme sur des échelles larges.

## ☐ 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 :

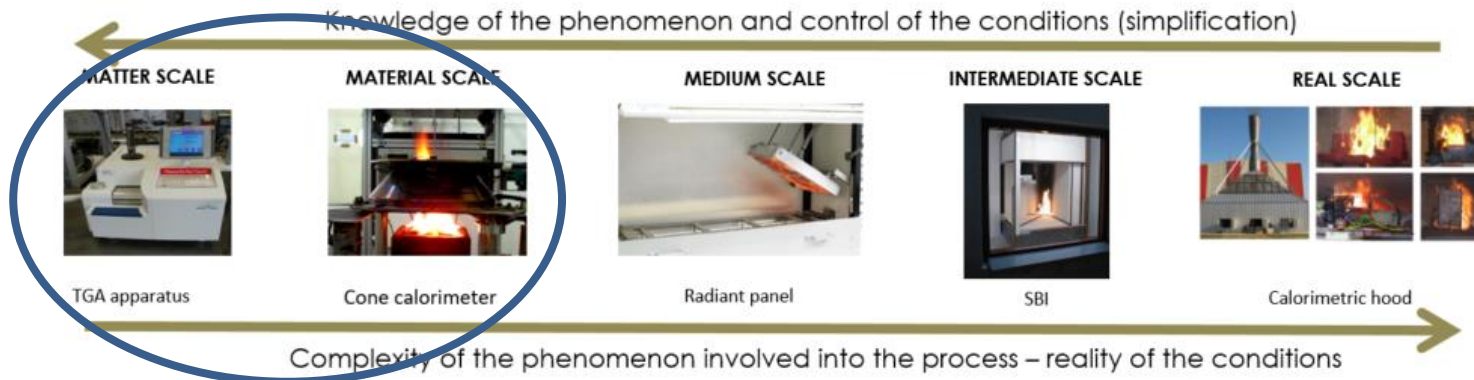
- Phénomènes à l'interface solide-gaz mal compris.
- Application Ingénierie : Ouverture réglementaire pour l'ingénierie de la réaction au feu → Nécessiter de représenter la propagation de flamme sur des échelles larges.

## □ Objectifs :

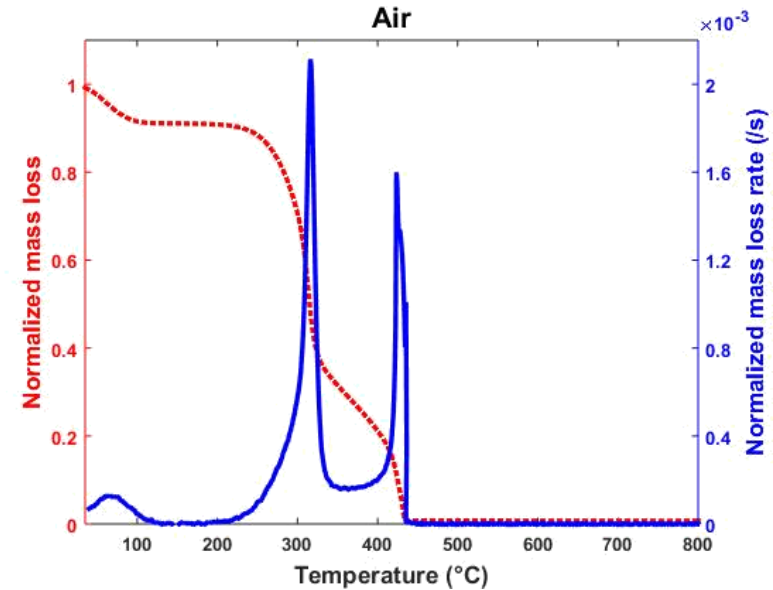
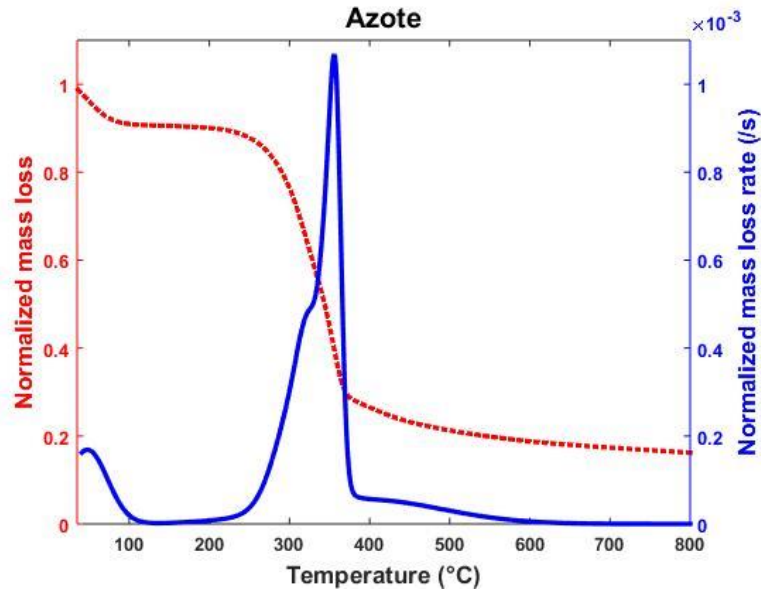
- Etudier les phénomènes présents lors de l'interaction flamme-paroi et identifier les phénomènes pilotant la propagation de flamme.
- Définir une méthodologie destinée à l'ingénierie, permettant de prédire la propagation de flamme sur des échelles larges (Quelles données d'entrée ? Quels modèles numériques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

## □ Méthodologie :

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

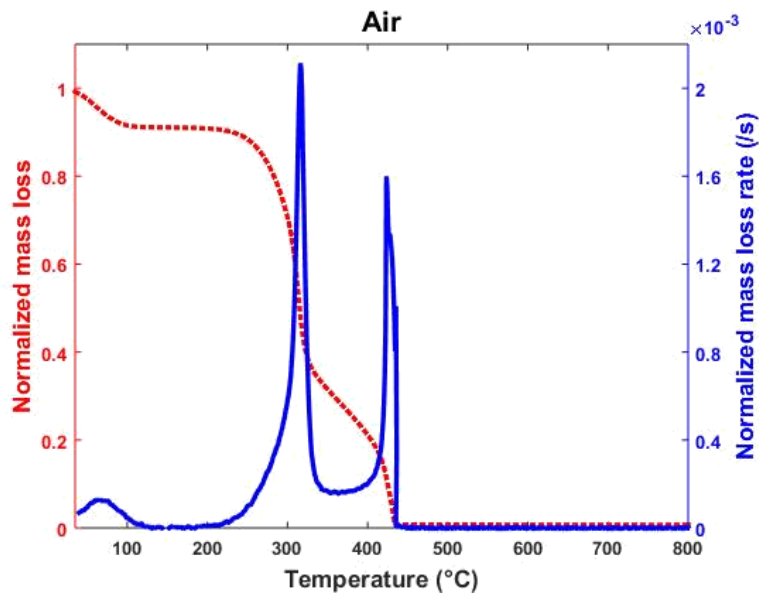
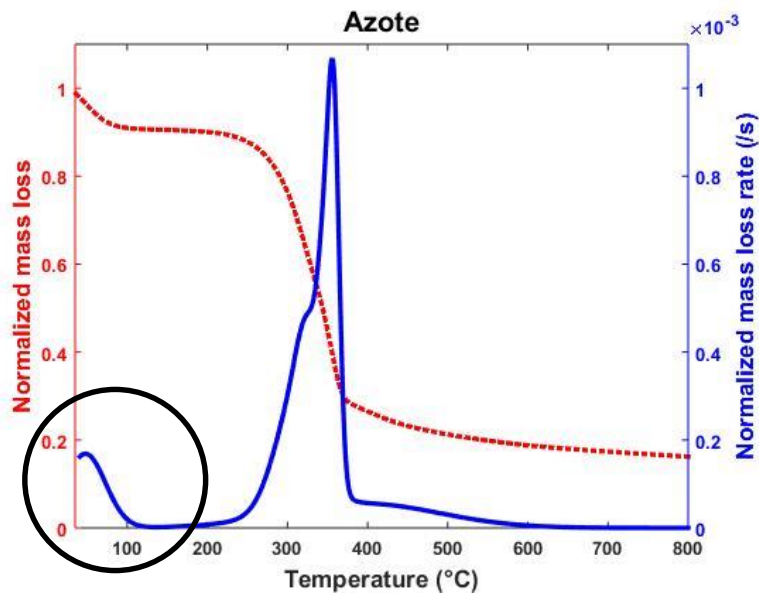


- ❑ Atmosphère : N<sub>2</sub> et air.
- ❑ Vitesse de chauffage : 5°C/min.



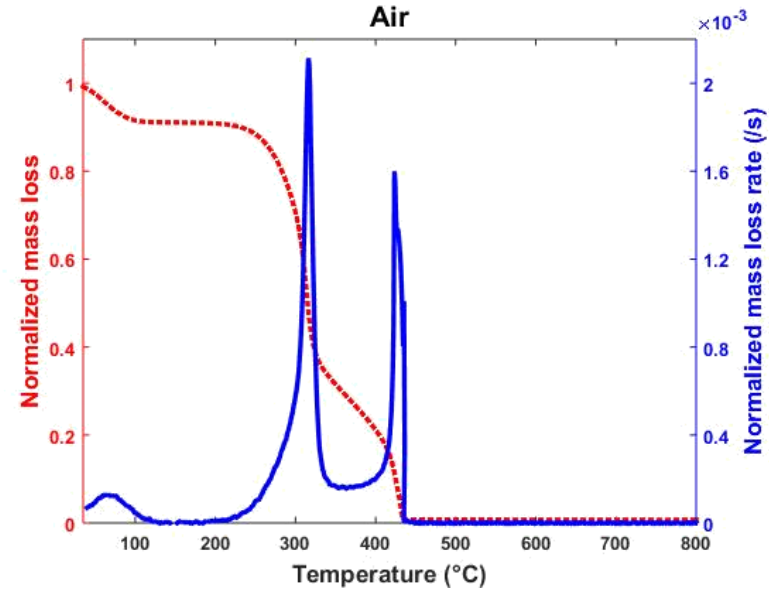
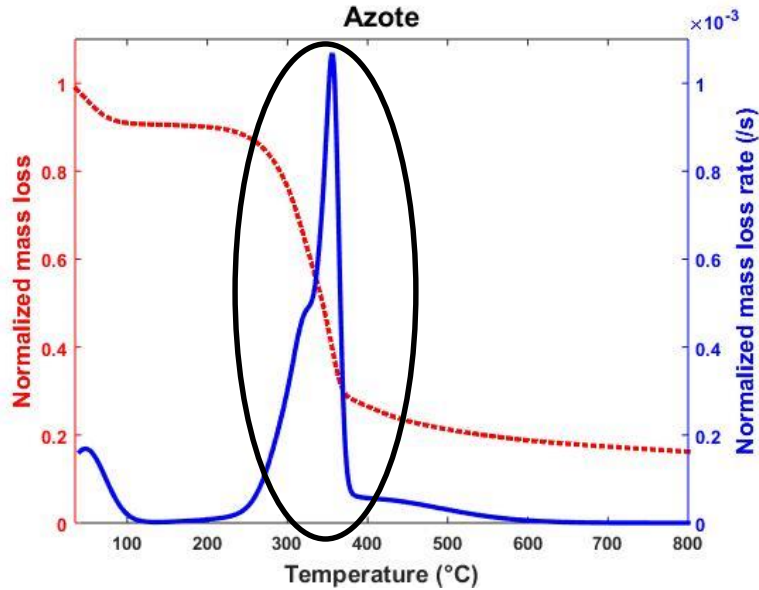
- ❑ Schéma de décomposition thermique :
  - Approche LPA :

- ❑ Atmosphère : N<sub>2</sub> 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.

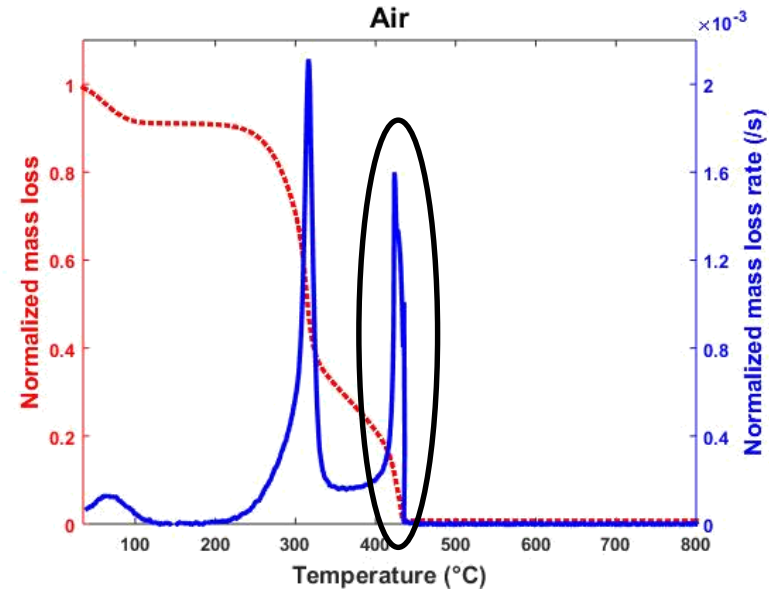
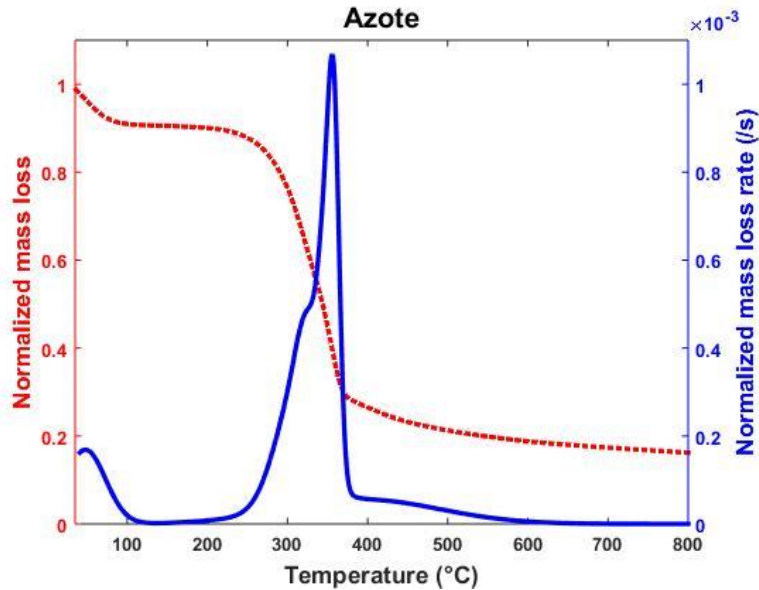


- ❑ Schéma de décomposition thermique :

- Approche LPA :



- ❑ 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 :

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

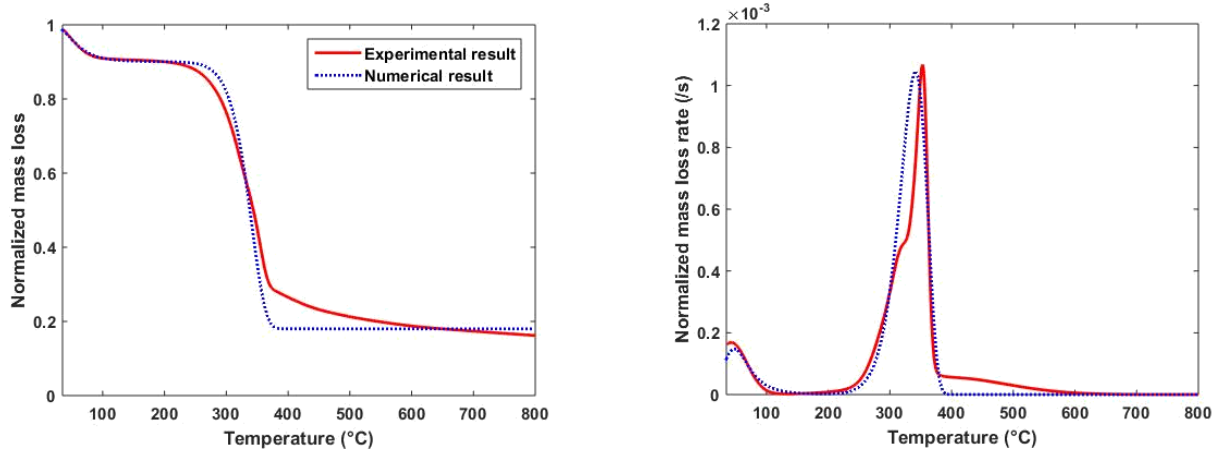
- Approche modélistique (Energie d'activation constante).
- Méthode d'optimisation inverse : Particle swarm optimisation.

	A (s <sup>-1</sup> )	E (kJ/kmol)	n	n <sub>O<sub>2</sub></sub>	u
<b>Réaction 1</b>	4.06 <sup>E8</sup>	6.70 <sup>E4</sup>	2.8	0	0.9
<b>Réaction 2</b>	1.59 <sup>E9</sup>	1.37 <sup>E5</sup>	0.95	0	0.2
<b>Réaction 3</b>	1.86 <sup>E24</sup>	3.5 <sup>E5</sup>	1.36	1	0

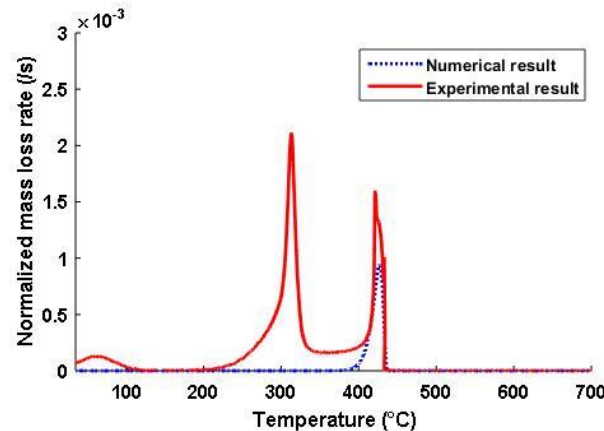
❑ Schéma de décomposition thermique à trois réactions :



❑ Réactions sous azote :



❑ Réaction sous air :

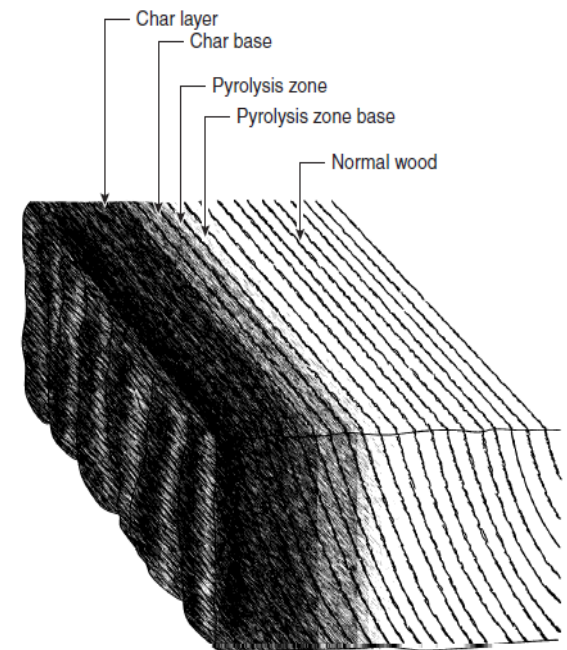


- ❑ Dimension de l'échantillon 100 x 100 x 18 mm<sup>3</sup>
- ❑ Porte échantillon en silicate de Calcium (contrôle des conditions aux limites).

❑ Flux testés : 20, 30 et 50kW/m<sup>2</sup>.

❑ Mesures :

- Perte de masse.
- Vitesse de perte de masse.
- Températures (30 et 50kW/m<sup>2</sup>) :
  - ✓ 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)<sup>[1]</sup>.

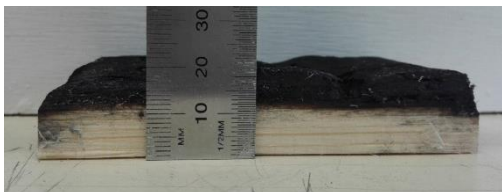


<sup>[1]</sup> R. H. White, Analytical Methods for determining fire resistance of timber members. SFPE section 4 – Chapter 11, 2002.

- Mesure de température (30 et 50 kW/m<sup>2</sup>) :
  - 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/m<sup>2</sup>) :
  - 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).

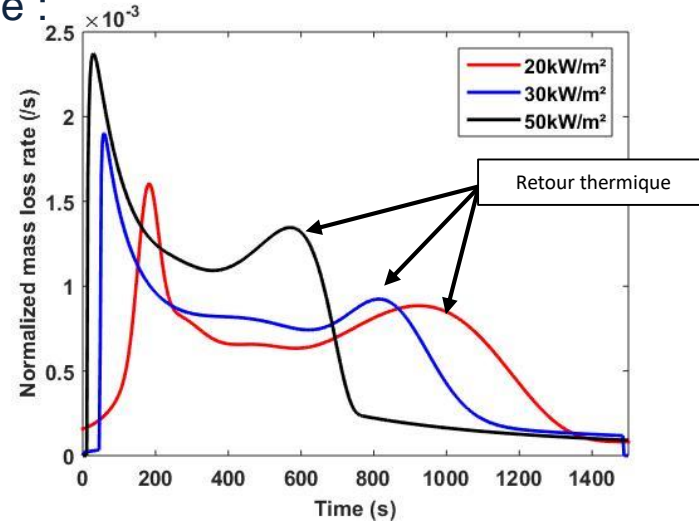
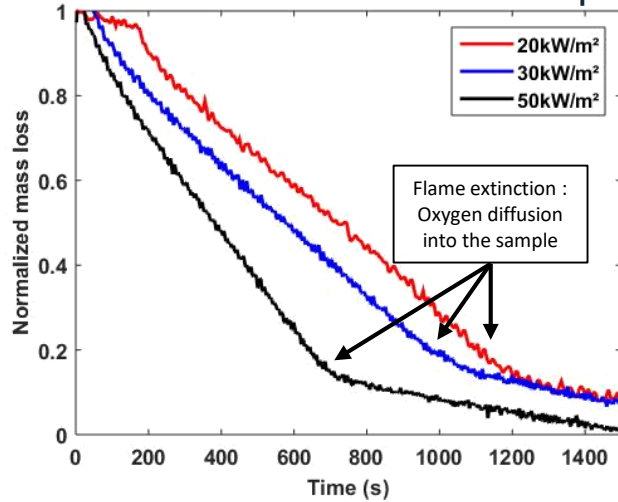
- Mesure du front de pyrolyse (30 et 50 kW/m<sup>2</sup>) :
  - Essai stoppé à t=100, 150, 200, 400, 600 et 700s.
  - Un seul essai pour chaque flux, et chaque temps.



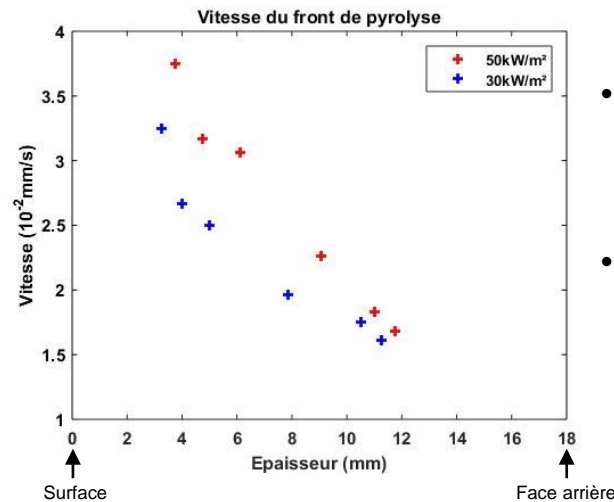
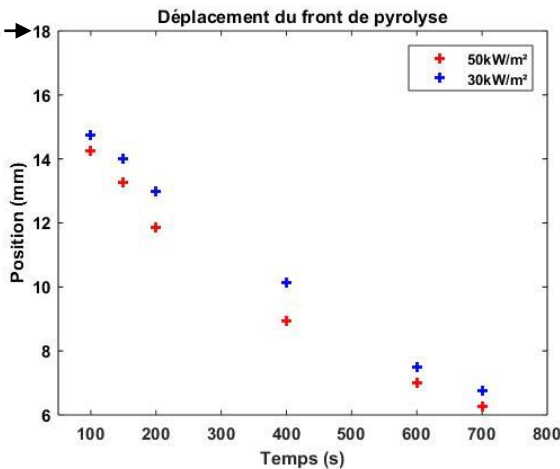
Zone de pyrolyse

- 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 :

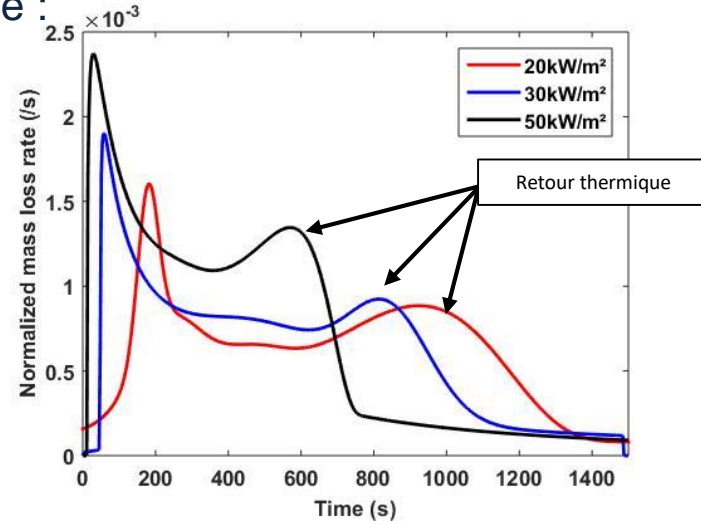
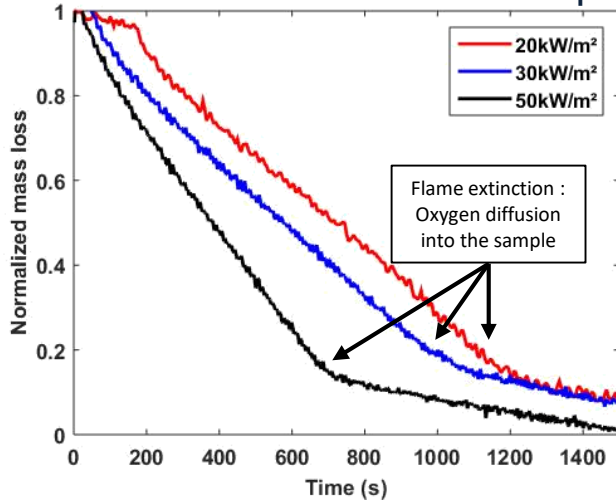


## ❑ Front de pyrolyse

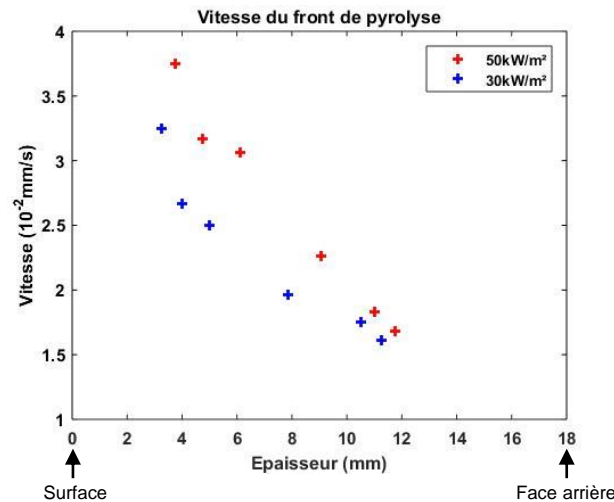
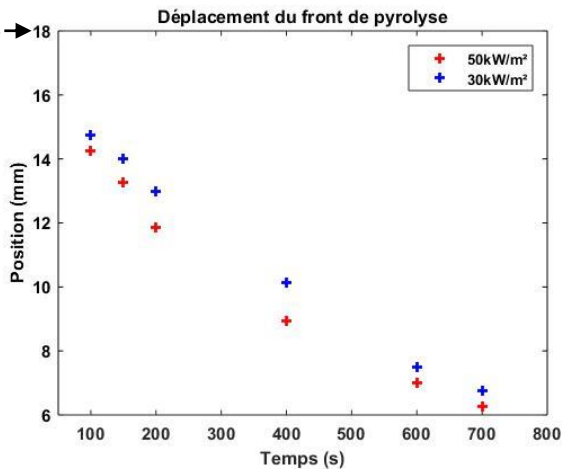


- Ralentissement du front → Effet protecteur du char.
- Front de pyrolyse à 9 mm :
  - À t = 370s à 50kW/m<sup>2</sup>.
  - À t = 500s à 30kW/m<sup>2</sup>.
  - Données utilisées pour estimer la température de pyrolyse.

## ❑ Perte de masse et vitesse de perte de masse :



## ❑ Front de pyrolyse



30kW/m<sup>2</sup>

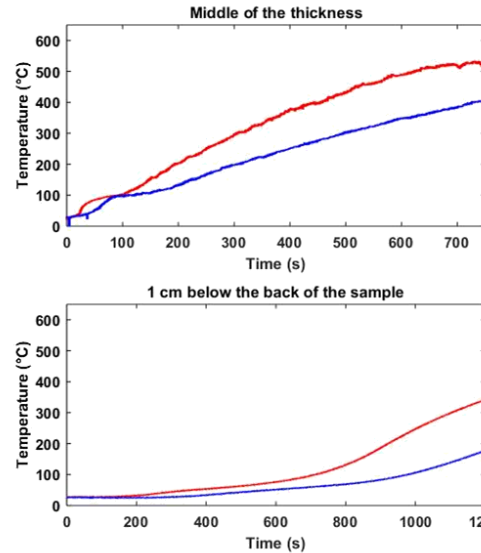
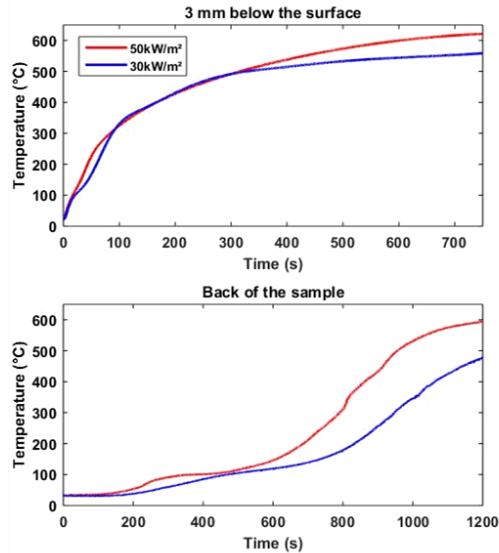


400s



600s

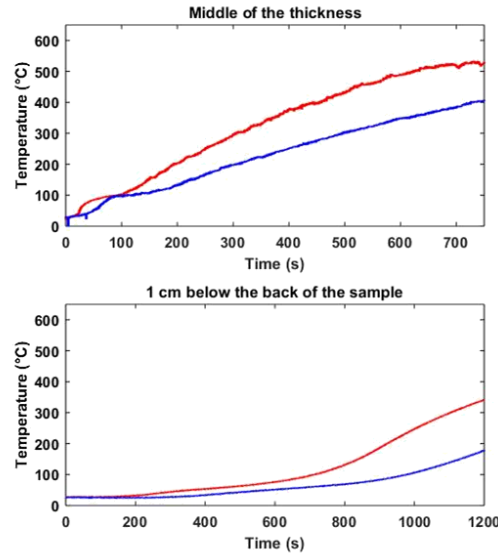
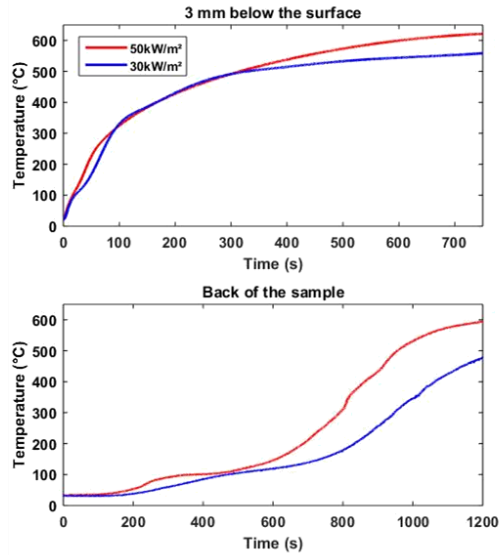
## ☐ Températures :



- Température au milieu de l'épaisseur utilisée pour déterminer la température de pyrolyse :
  - 50kW/m<sup>2</sup>, à t = 370s, T<sub>p</sub> = 370°C.
  - 30kW/m<sup>2</sup>, à t = 500s, T<sub>p</sub> = 300°C.

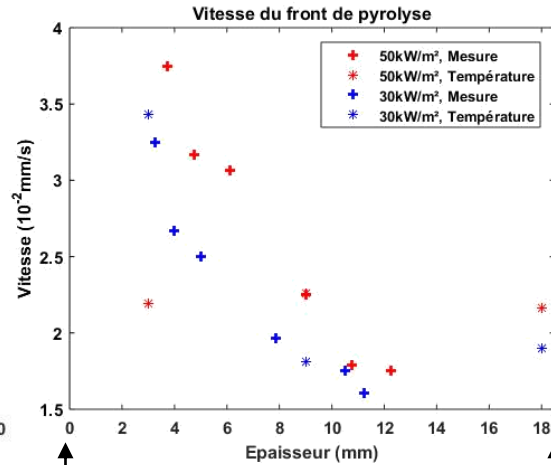
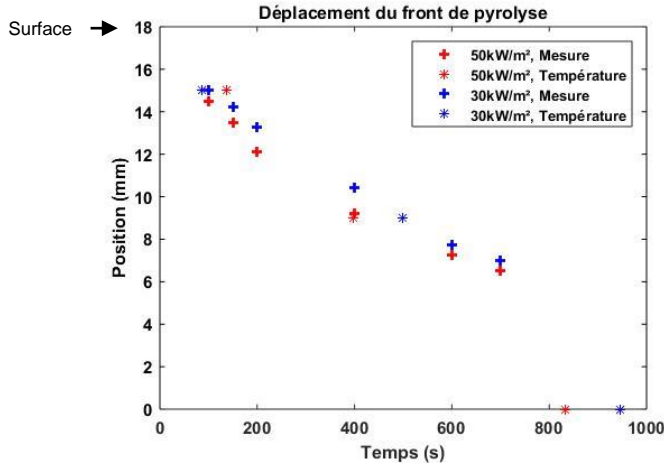


## ☐ Températures :



- Température au milieu de l'épaisseur utilisée pour déterminer la température de pyrolyse :
  - 50kW/m<sup>2</sup>, à t = 370s, T<sub>p</sub> = 370°C.
  - 30kW/m<sup>2</sup>, à t = 500s, T<sub>p</sub> = 300°C.

## ☐ Front de pyrolyse – Combinaison des deux méthodes :



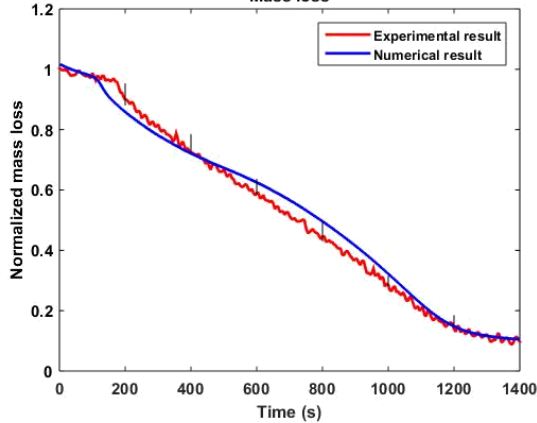
Accélération du front de pyrolyse :  
Retour thermique dû à l'isolant.

- ❑ Flux radiatif directement appliquée à la surface de l'échantillon.
- ❑ Domaine 30 x 30 x 40 cm<sup>3</sup>.
- ❑ 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/m<sup>2</sup>).
  - Températures (30 et 50 kW/m<sup>2</sup> ).
  - Front de pyrolyse (30 et 50 kW/m<sup>2</sup> ).

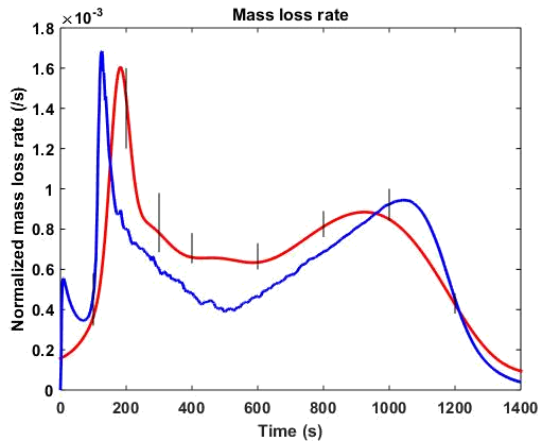
## ❑ Perte de masse et vitesse de perte de masse :

20 kW/m<sup>2</sup>

Mass loss

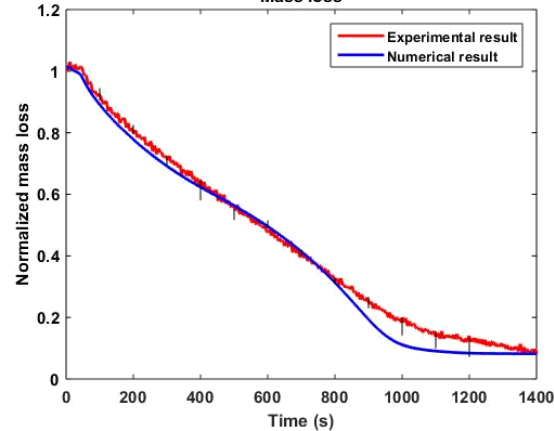


Mass loss rate

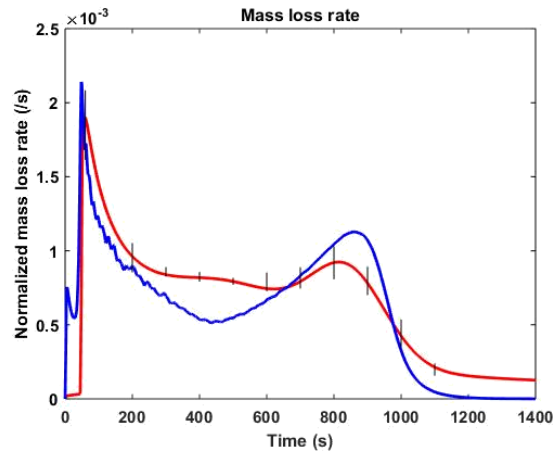


30 kW/m<sup>2</sup>

Mass loss

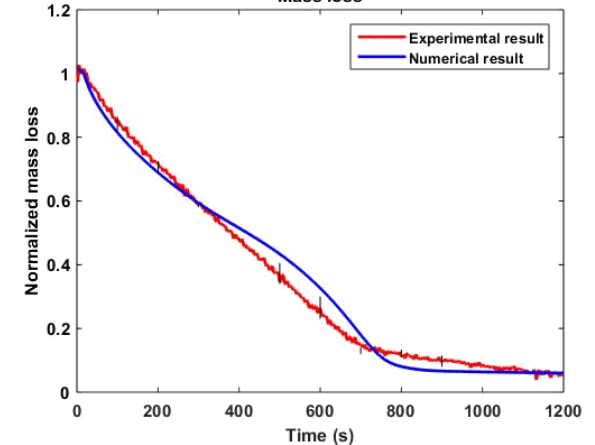


Mass loss rate

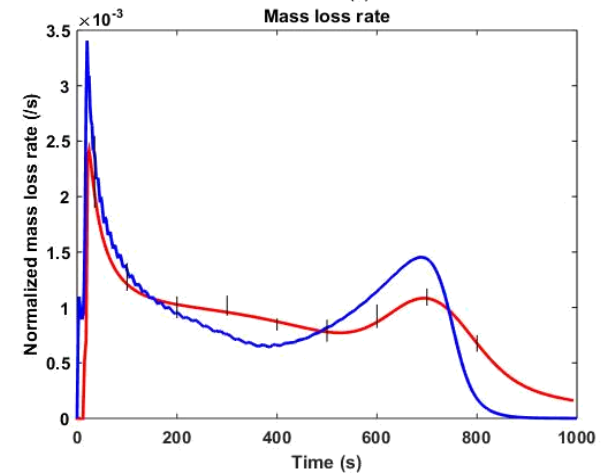


50 kW/m<sup>2</sup>

Mass loss



Mass loss rate

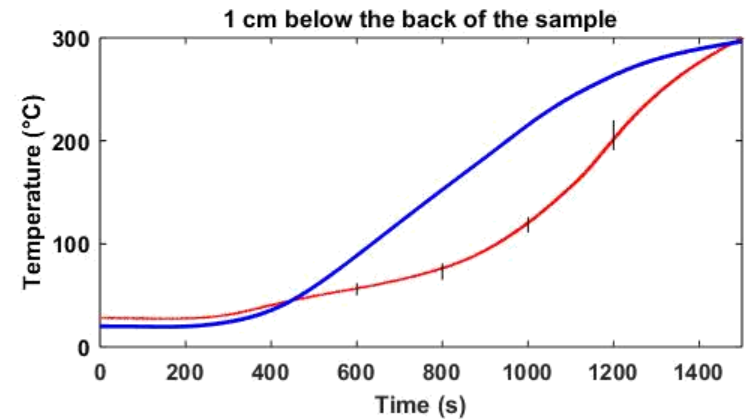
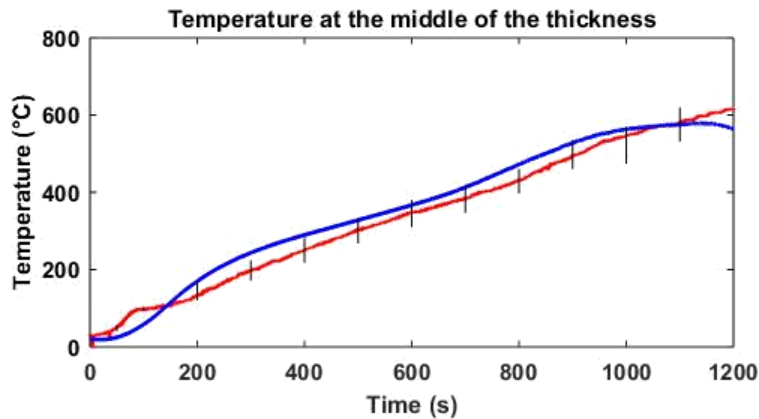
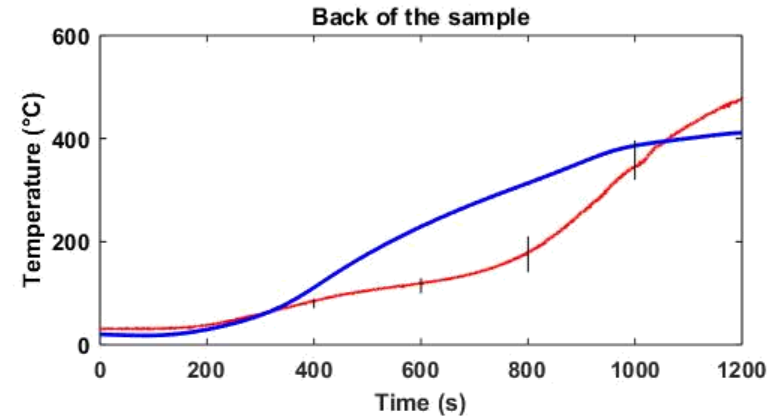
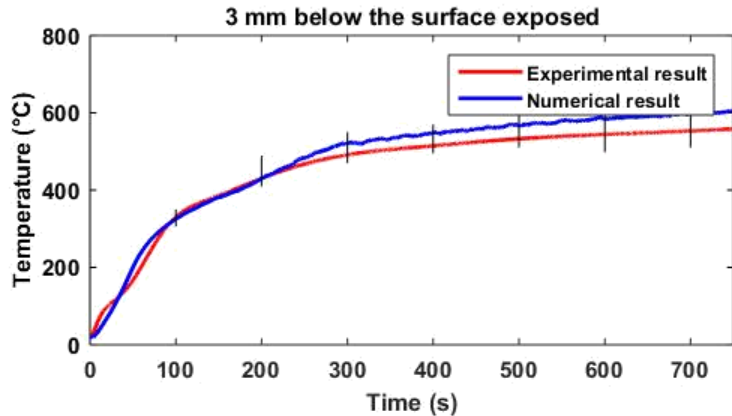


❑ Ecart causés par conditions aux limites expérimentales.

❑ Comportement globalement bien représenté.



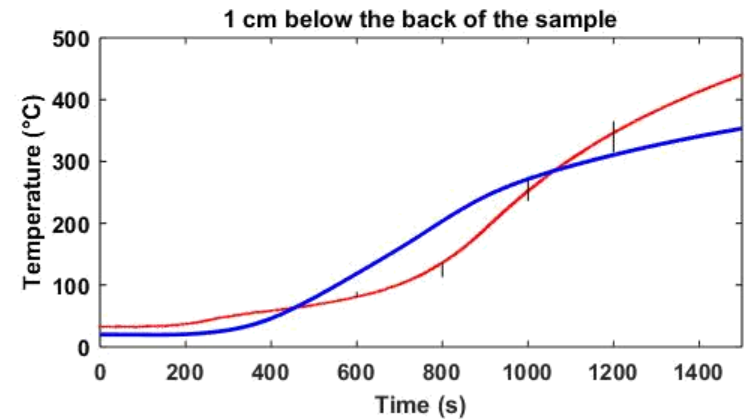
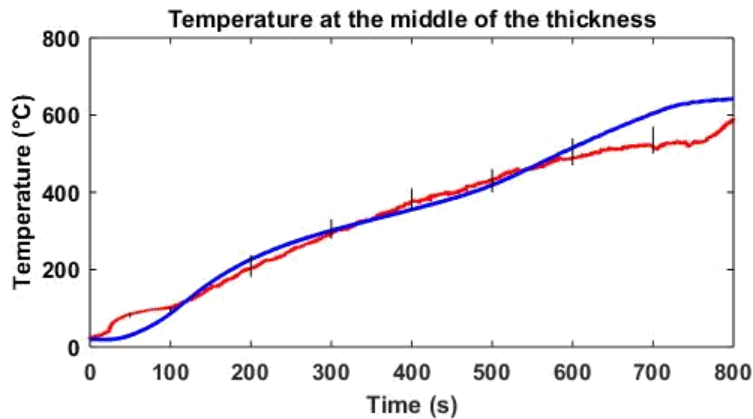
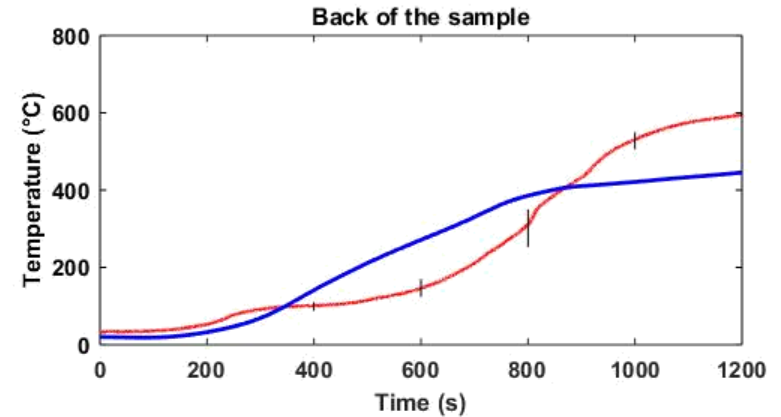
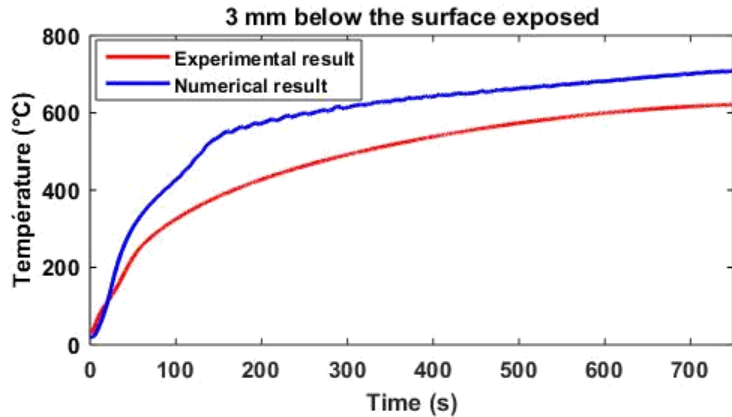
## □ 30kW/m<sup>2</sup> - Températures :



## □ 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/m<sup>2</sup> - Températures :

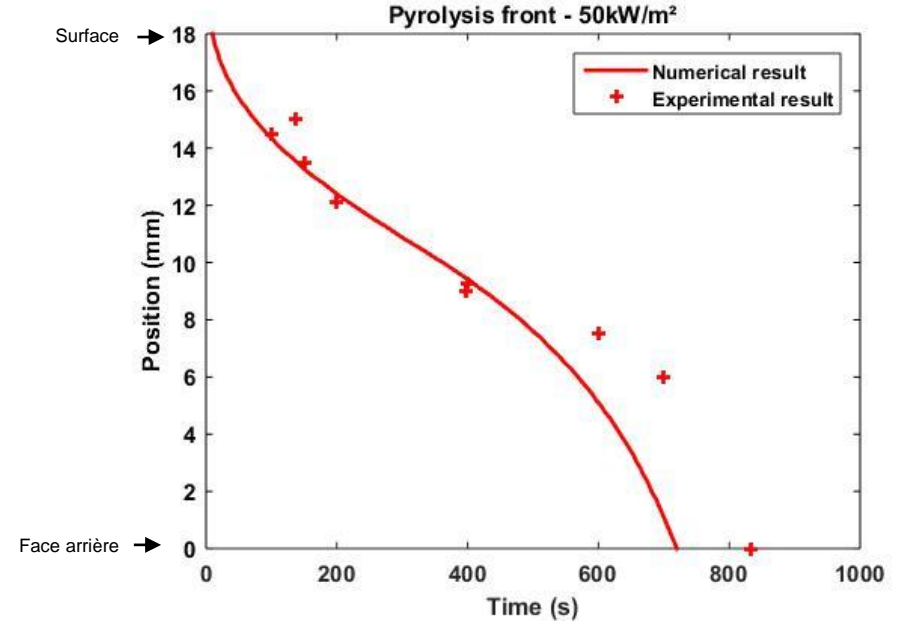
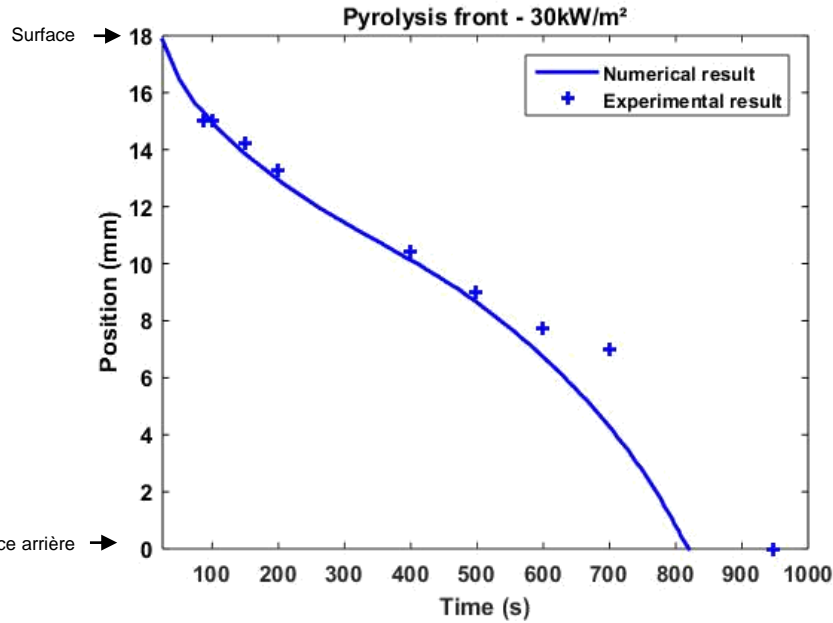


## □ Température en face arrière et dans l'isolant mal représentées :

- 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 :



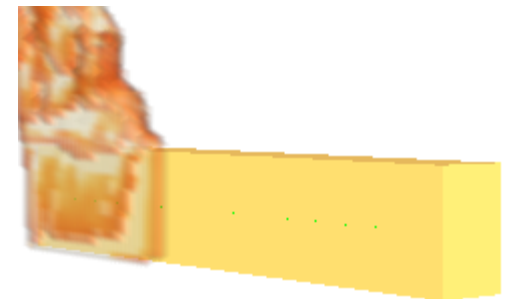
## □ Front de pyrolyse correctement représenté jusqu'au retour thermique.

## ❑ Ecart 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/m<sup>2</sup>.
- 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 !