

Approche multi-échelle de la dégradation thermique de plaques de bois thermiquement fines


Présenté par Guillaume GERANDI*, Virginie TIHAY-FELICELLI, Paul-Antoine SANTONI

Laboratoire UMR SPE 6134 CNRS

Projet Feux

* Doctorant en 3^e année à l'Université de Corse

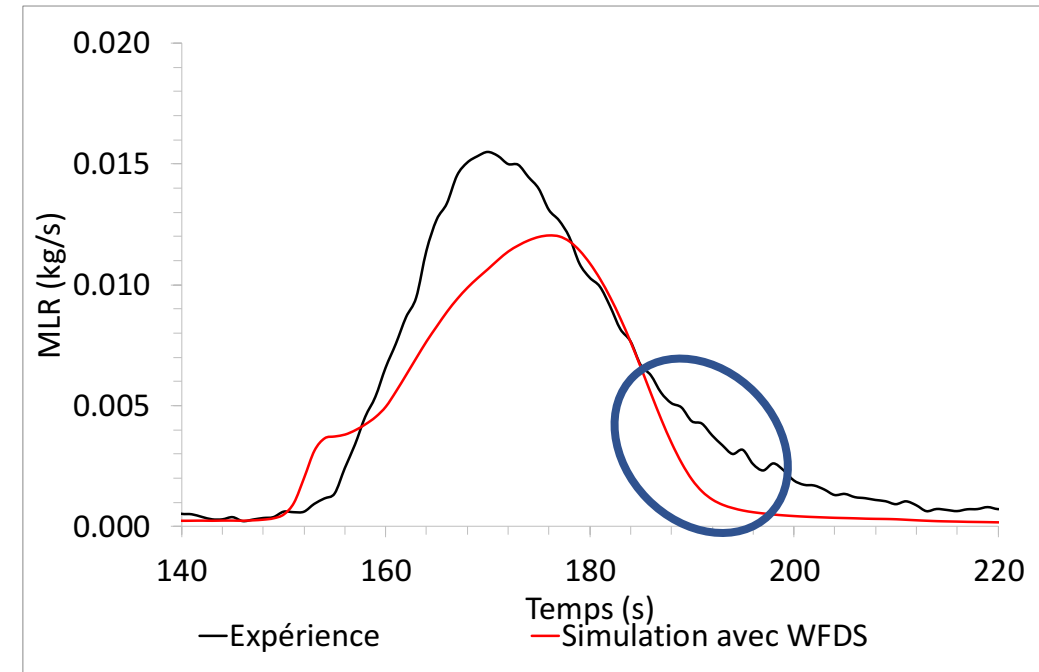
06/06/2019



Contexte de l'étude

Le travail actuel a vu le jour grâce à des problèmes rencontrés dans une étude précédente :

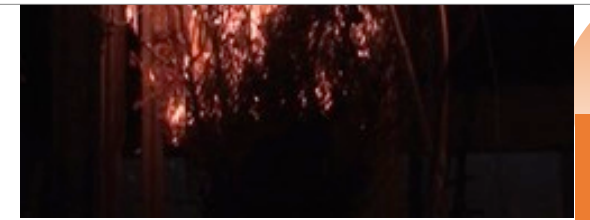
- Mauvaise estimation dans les modèles détaillés d'incendie de (*Tramoni, 2018*) :
 - la masse d'eau vaporisée
 - la masse de gaz émise avant inflammation
 - l'oxydation des résidus carbonneux



Tramoni. J.B., Etude expérimentale comportement au feu de végétaux, Thèse de doctorat, 2018.



Etude des modèles de dégradation



Contexte de l'étude

Objectif de l'étude :

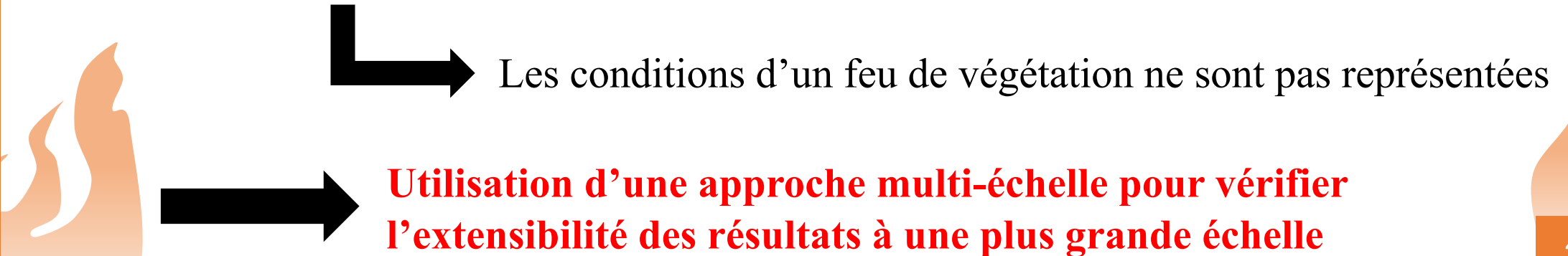
Développer des mécanismes cinétiques qui :

- Représentent efficacement la dégradation thermique du bois ou des végétaux.
- Restent assez simples pour une implémentation dans les modèles détaillés d'incendie (WFDS, Firestar).

Importance d'évaluer le terme source de masse (MLR) car :

- Il entretient la flamme durant un incendie.
- Il contribue à la propagation des feux de végétation.

- Détermination des paramètres cinétiques à l'échelle matière (masses de l'ordre du mg)





Introduction

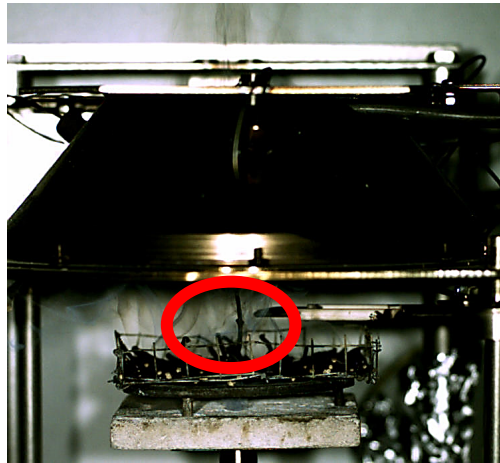
Quel type de combustible faut-il étudier ?

Brindilles et feuilles de végétation :

- Surface d'échange irrégulière
- Superposition des brindilles et feuilles
- Déformation pendant la dégradation thermique

Plaques de bois thermiquement fines :

- Surface apparente plane et constante
- Epaisseur caractéristique des feuilles et brindilles



Choix pour la thèse : **Plaques de bois thermiquement fines**

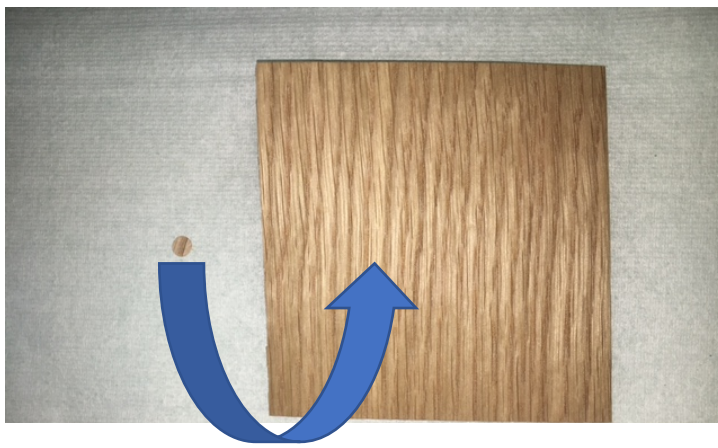
Sommaire

1. Combustibles utilisés
2. Résultats à l'échelle matière
3. Résultats à l'échelle matériau
4. Conclusion et perspectives





Combustibles utilisés



- 2 types de bois :
- Chêne blanc (*Quercus alba*)
 - Eucalyptus commun (*Eucalyptus globulus*)

Epaisseur = 0.6 mm → Plaque thermiquement fine

Avantage :

Pas de gradient de température à l'intérieur de la plaque



Entre les 2 échelles :
Longueur caractéristique : $\times 25$
Masse : $\times 1000$

- Eviter la détermination des propriétés thermiques du bois
- Réduire la superposition des réactions thermiques à différentes températures
- Eviter la résolution de l'équation de conservation de l'énergie



Sommaire

1. Combustibles utilisés
- 2. Résultats à l'échelle matière**
3. Résultats à l'échelle matériau
4. Conclusion et perspectives





L'échelle matière

Eucalyptus



Chêne



- 5 vitesses de chauffage : 2, 5, 10, 20 et 30°C/min
- Rampes de température de 150°C à 650°C.
- 2 atmosphères d'étude : inerte et oxydante.
- Bonne maîtrise des conditions expérimentales.



Analyseur
thermogravimétrique

Echelle matière :

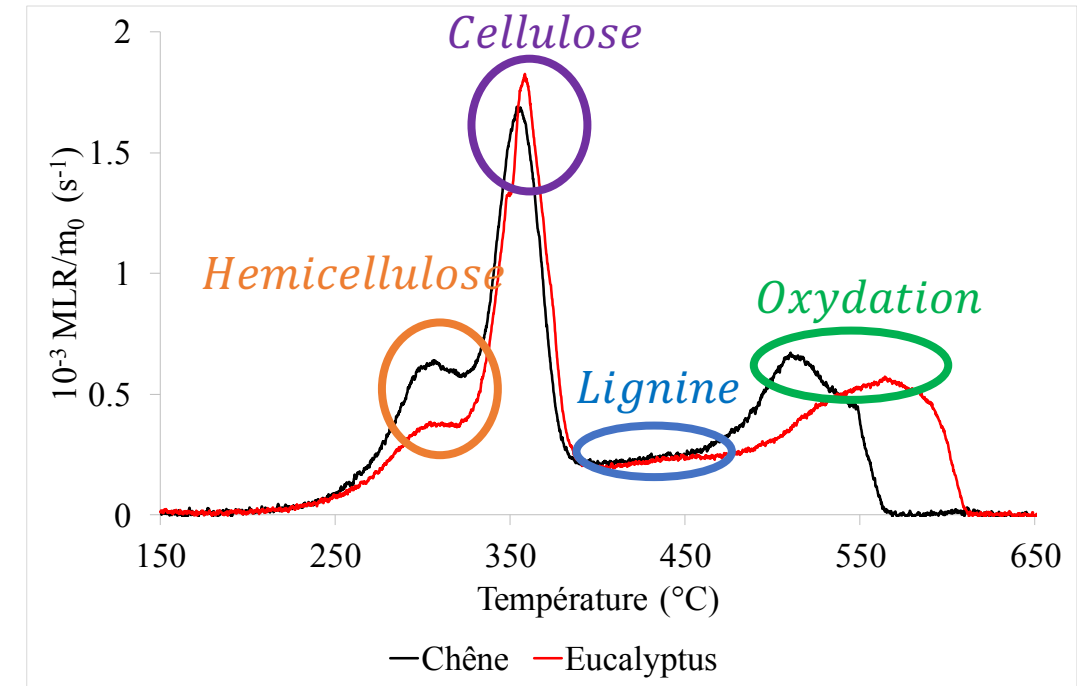
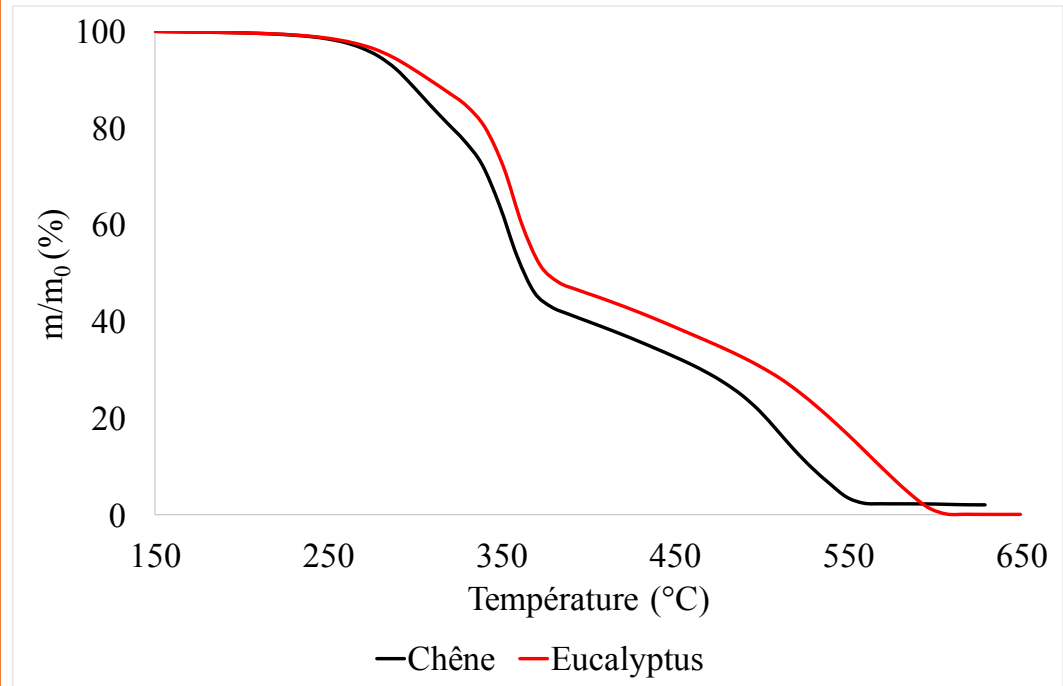
Diamètre : 4 mm

Masse sèche chêne : 4,4 mg (\pm 0,6 mg)

Masse sèche eucalyptus : 6,5 mg (\pm 0,5 mg)



Résultats expérimentaux à 10°C/min

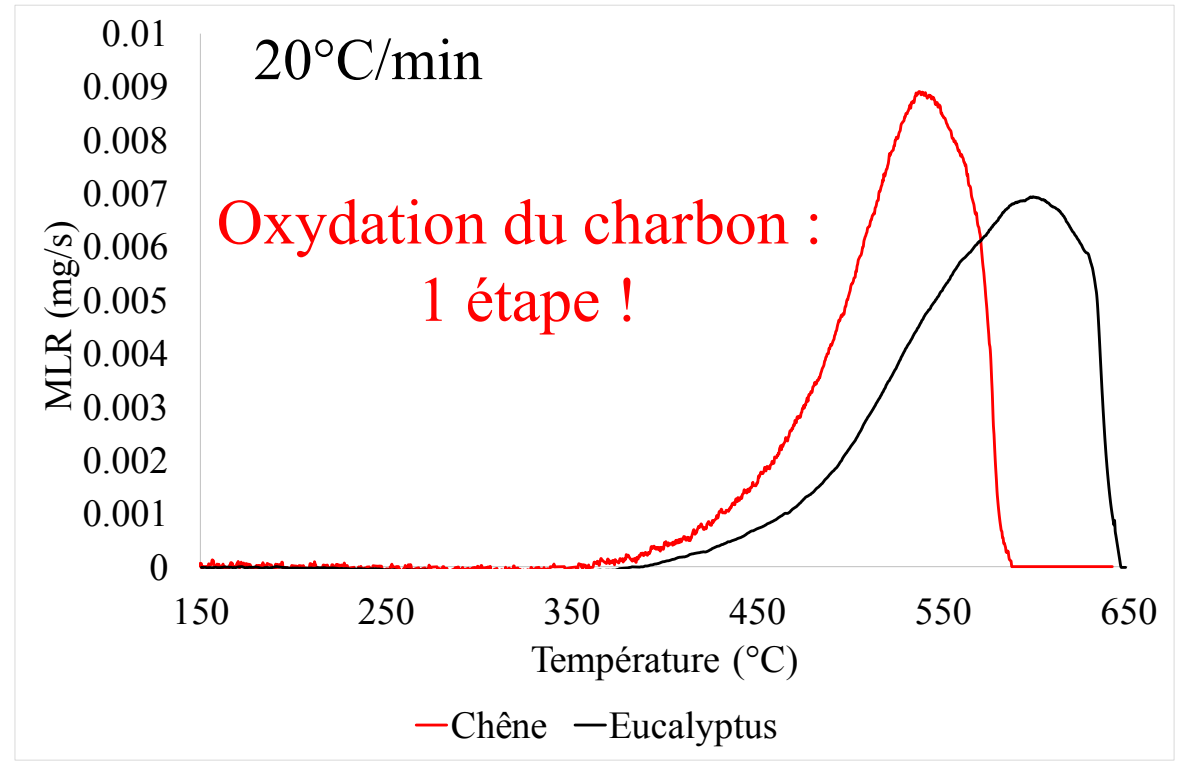


- Même tendance de dégradation pour chaque espèce de bois
- 2 différences majeures sur le MLR :
 - 1^{ère} réaction : Moins d'hémicellulose pour l'eucalyptus
 - 2^{ème} réaction : Moins de cellulose pour le chêne





Séparation thermique pour isoler l'oxydation du charbon



Principe de la séparation thermique :

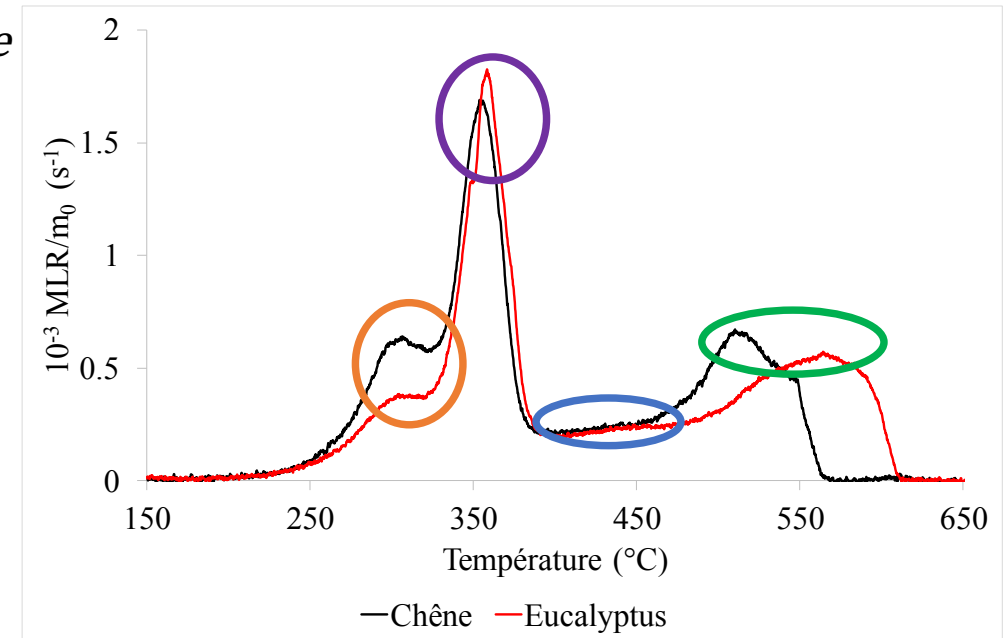
- Pyrolyse du bois sous atmosphère inerte
- Masse de charbon récoltée
- Oxydation de cette masse sous air



Les différents modèles cinétiques développés

1^{er} modèle cinétique : l'approche par constituants

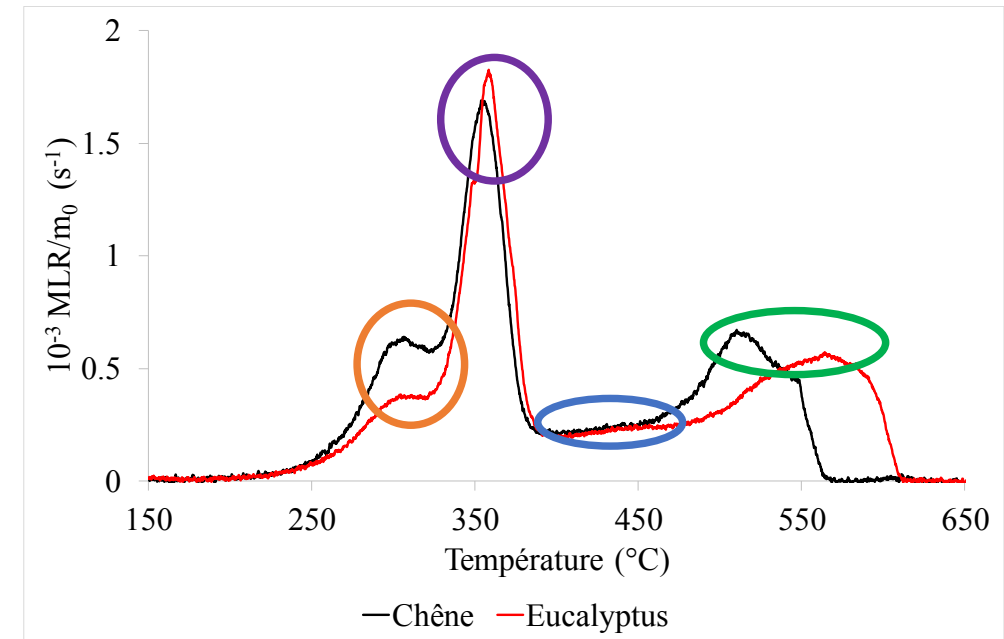
- $Bois\ sec = p_1 Hémicellulose + p_2 Cellulose + p_3 Lignine$
- $Hémicellulose \xrightarrow{1} v_1 Charbon + (1 - v_1) Gaz$
- $Cellulose \xrightarrow{2} v_2 Charbon + (1 - v_2) Gaz$
- $Lignine \xrightarrow{3} v_3 Charbon + (1 - v_3) Gaz$
- $Charbon \xrightarrow{4} v_4 Cendres + (1 - v_4) Gaz$



Les différents modèles cinétiques développés

2^e modèle cinétique : l'approche active

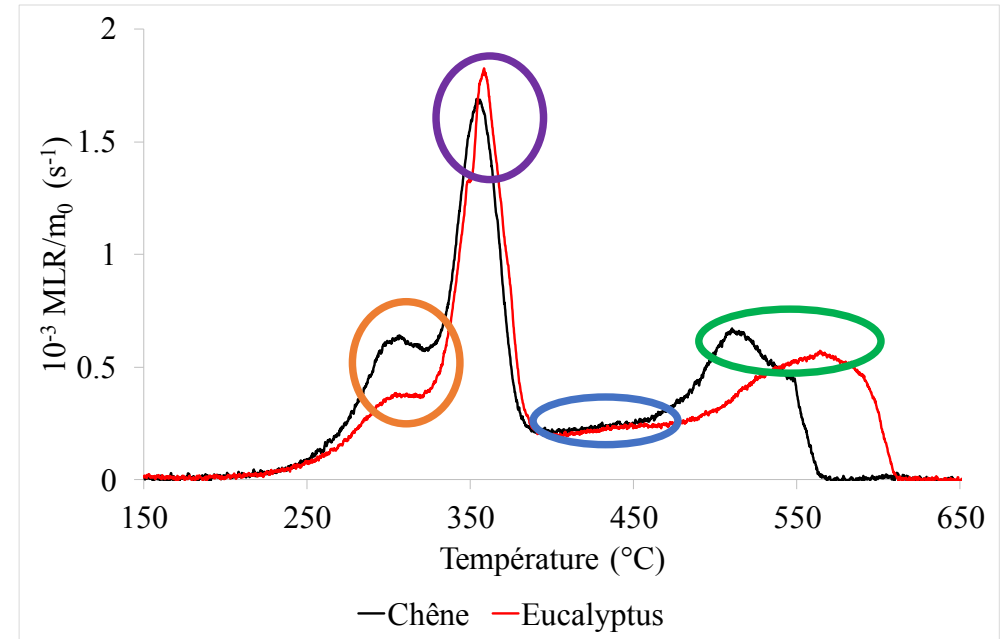
- $BA = \text{Bois Actif}$
- $\text{Bois sec} \xrightarrow{1} \nu_1 BA + (1 - \nu_1) \text{Gaz}$
- $BA \xrightarrow{2} \nu_2 \text{Charbon} + \nu_3 \text{Goudron} + (1 - \nu_2 - \nu_3) \text{Gaz}$
- $\text{Goudron} \xrightarrow{3} \text{Gaz}$
- $\text{Charbon} \xrightarrow{4} \nu_4 \text{Cendres} + (1 - \nu_4) \text{Gaz}$



Les différents modèles cinétiques développés

3^e modèle cinétique : l'approche globale

- $BS = \text{Bois Sec}$
- $BS \xrightarrow{1} \nu_1 BS1 + (1 - \nu_1)Gaz$
- $BS1 \xrightarrow{2} \nu_2 BS2 + (1 - \nu_2)Gaz$
- $BS2 \xrightarrow{3} \nu_3 \text{Charbon} + (1 - \nu_3)Gaz$
- $\text{Charbon} \xrightarrow{4} \nu_4 \text{Cendres} + (1 - \nu_4)Gaz$



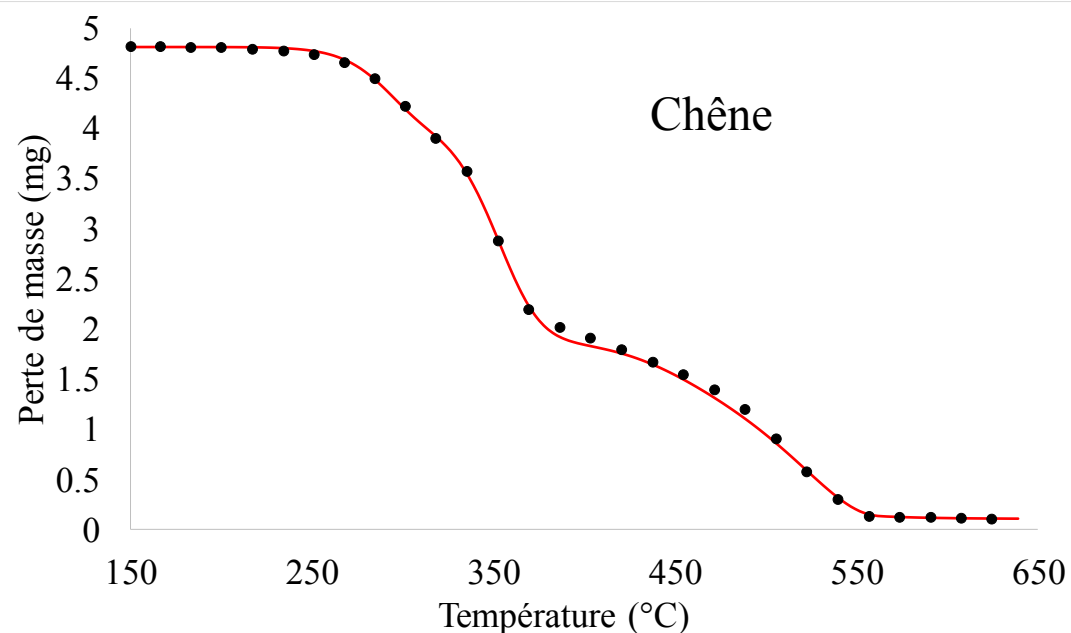
Loi d'Arrhenius :

- $\frac{d\alpha_1}{dt} = (1 - \alpha_1)^{n_1} A_1 \exp\left(-\frac{E_{a1}}{RT}\right)$
- $\frac{d\alpha_i}{dt} = (\alpha_{i-1} - \alpha_i)^{n_i} A_i \exp\left(-\frac{E_{ai}}{RT}\right)$ pour $2 \leq i \leq 4$

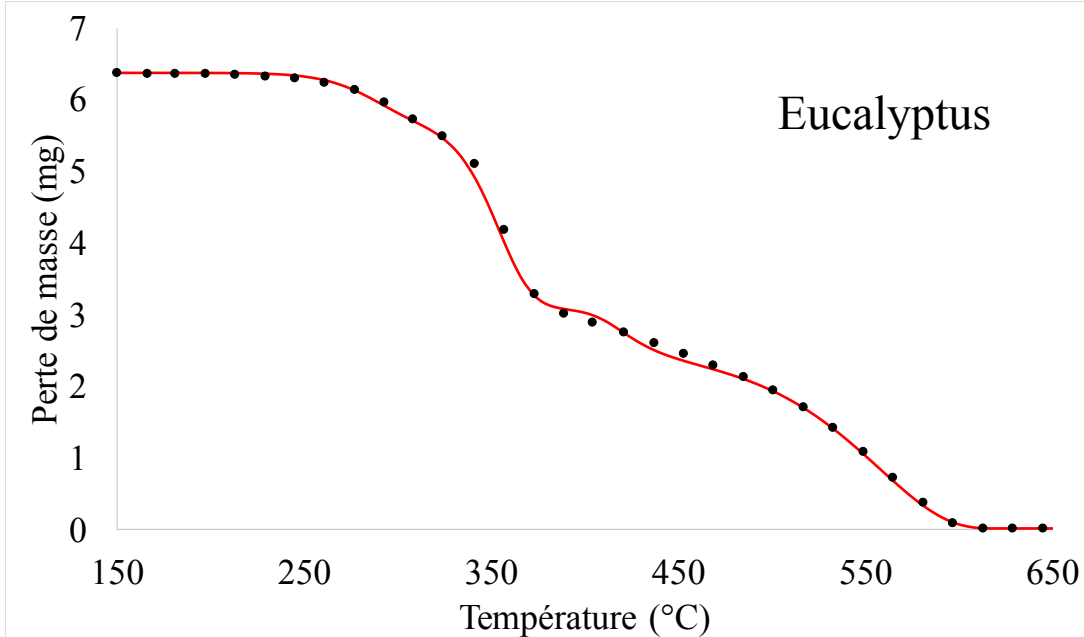
$$\alpha_i = \frac{m_{0,i} - m_i}{m_{0,i} - m_{ash}}$$



Résultats de l'optimisation des paramètres



• Expériences — Approche globale



• Expériences — Approche globale

$$n_1 = 1,21$$

$$E_{a1} = 160 \text{ kJ/mol}$$

$$\ln(A_1) = 30 \text{ s}^{-1}$$

$$v_1 = 0,85$$

$$n_2 = 1,58$$

$$E_{a2} = 189 \text{ kJ/mol}$$

$$\ln(A_2) = 32 \text{ s}^{-1}$$

$$v_2 = 0,45$$

$$n_3 = 1,59$$

$$E_{a3} = 178 \text{ kJ/mol}$$

$$\ln(A_3) = 24 \text{ s}^{-1}$$

$$v_3 = 0,66$$

$$n_4 = 0,58$$

$$E_{a4} = 118 \text{ kJ/mol}$$

$$\ln(A_4) = 12 \text{ s}^{-1}$$

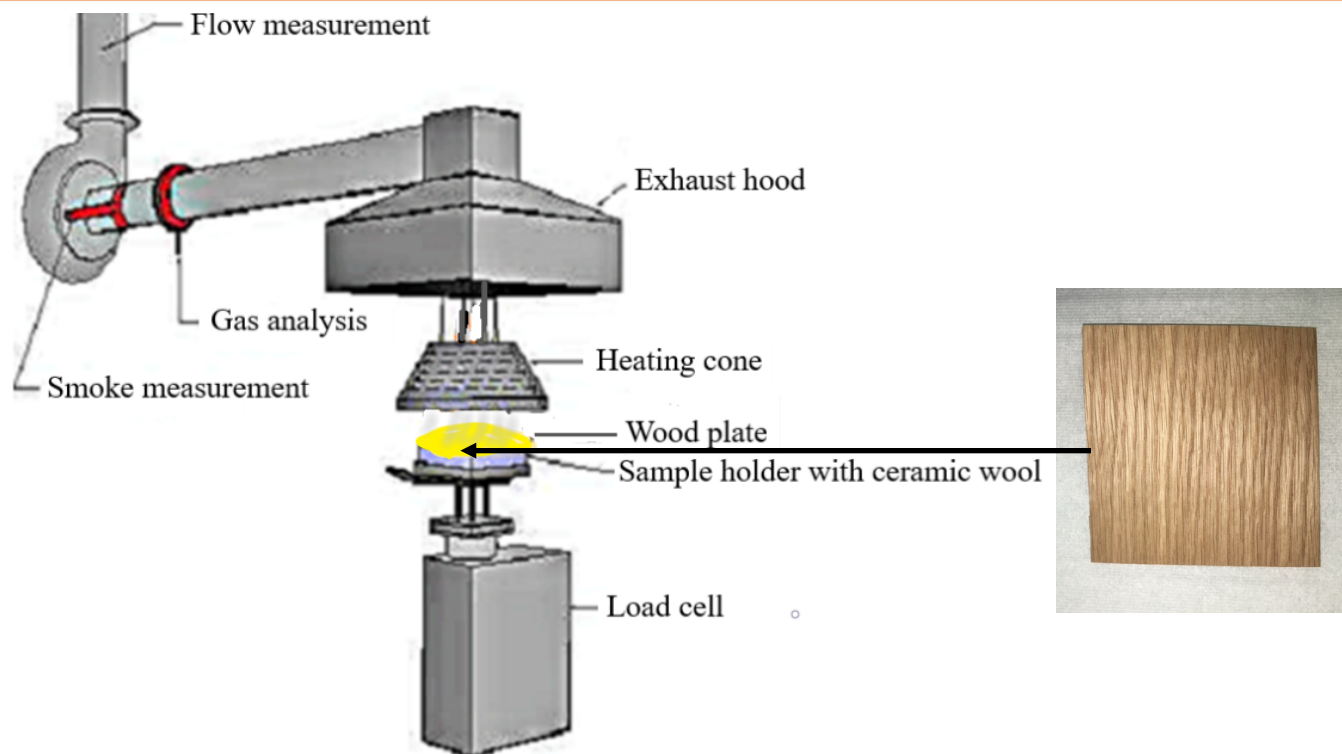
$$v_4 = 0,03$$

Sommaire

1. Combustibles utilisés
2. Résultats à l'échelle matière
- 3. Résultats à l'échelle matériau**
4. Conclusion et perspectives



L'échelle matériau



Echelle matériau :
 Longueur caractéristique : 10 cm
 Masse : 3,9 g ($\pm 0,3$ g)

Densités de flux imposées :
 $16 \leq \dot{q}_e'' \text{ (kW/m}^2\text{)} \leq 25$

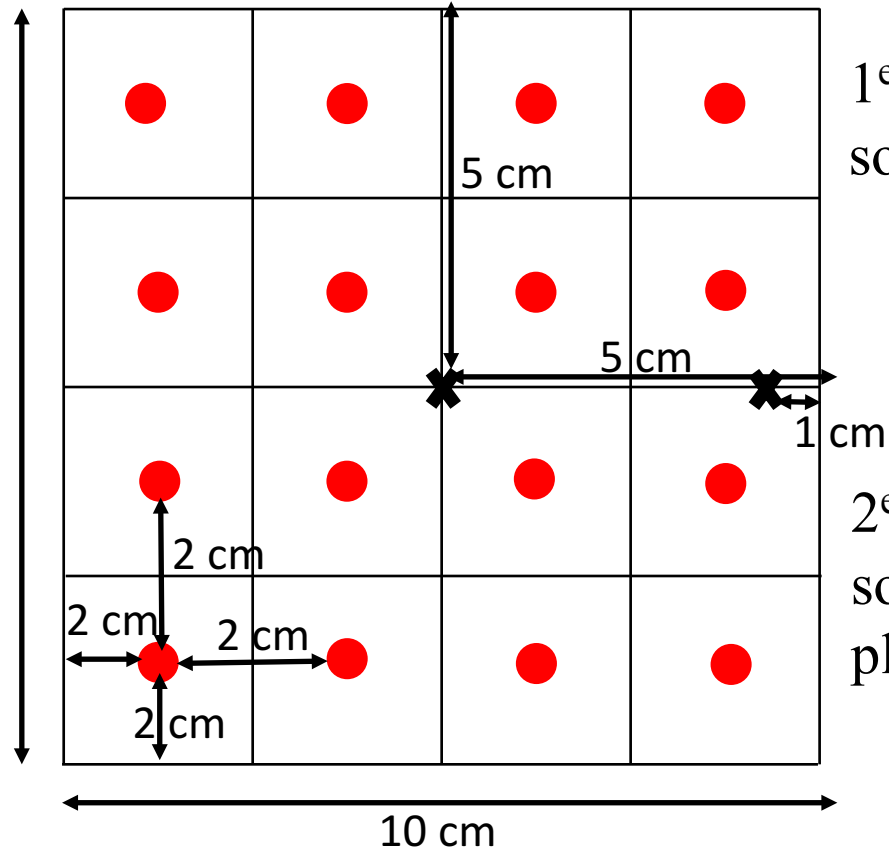


Eviter l'inflammation de la plaque et la phase de flamme

Positionnement des thermocouples



10 cm

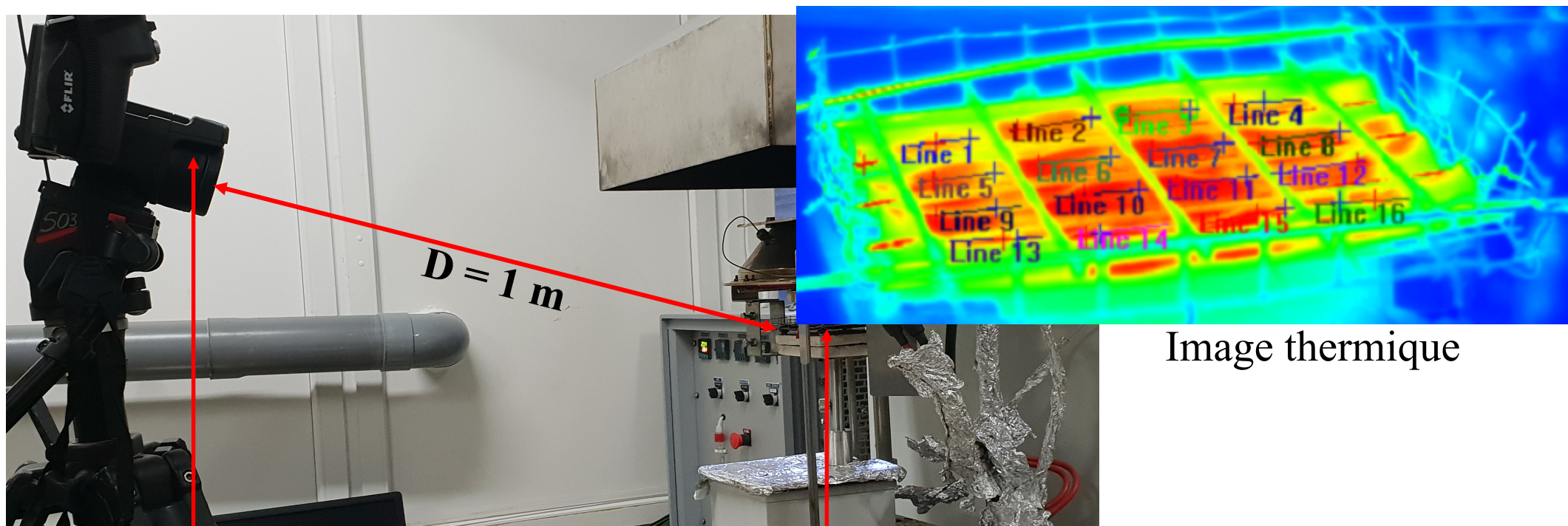


1^e méthode : 2 thermocouples
sous la face inférieure de la plaque

2^e méthode : 16 thermocouples
sous la face inférieure de la
plaque

Relevé de températures par caméra IR

Température relevée par caméra IR sur la face supérieure

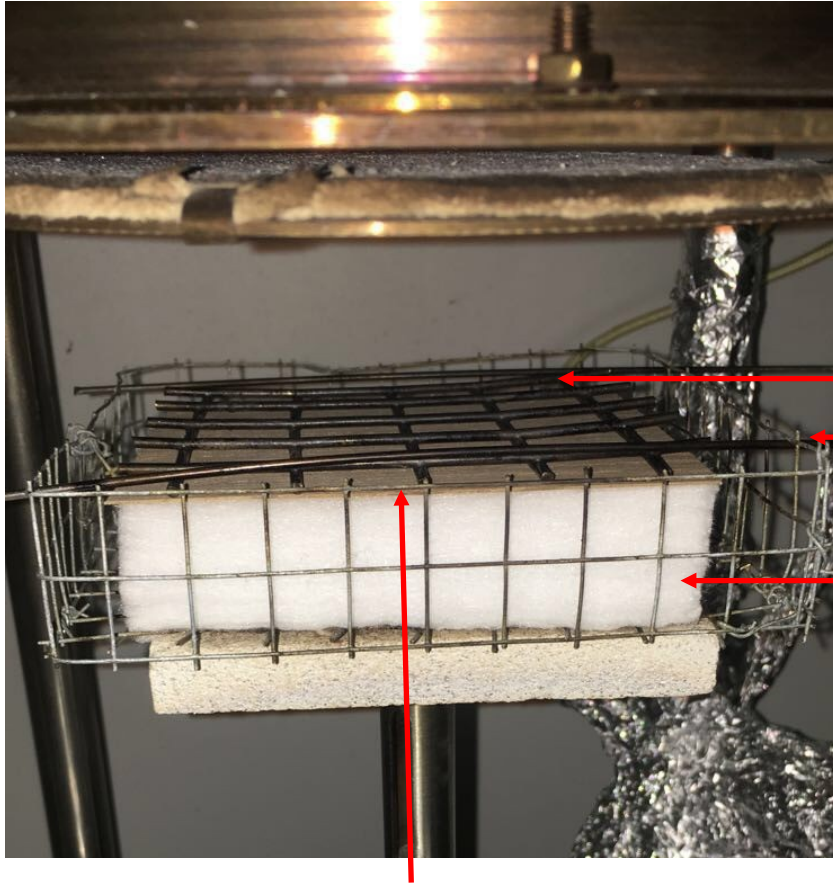


Caméra IR

Echantillon

Image thermique

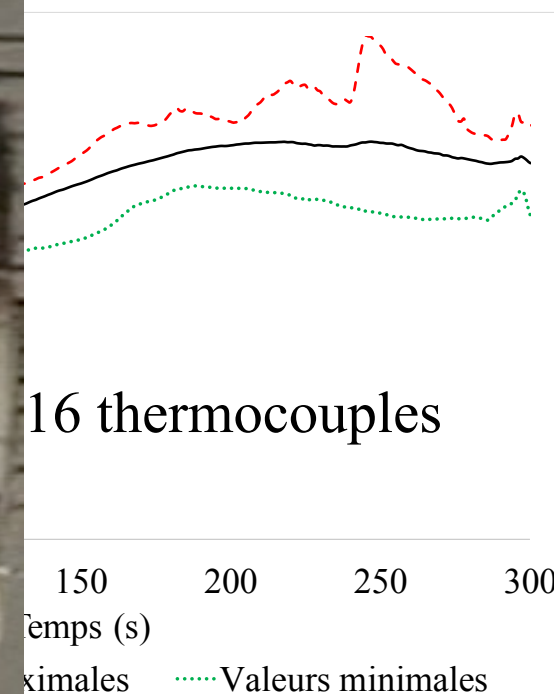
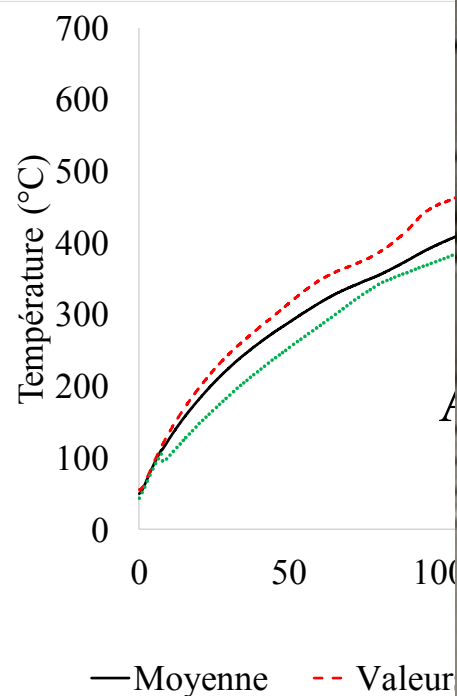
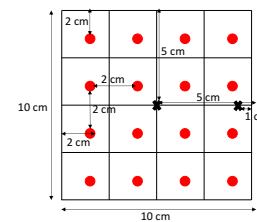
L'échelle matériau : Condition aux limites adiabatique sous la face inférieure des plaques de bois



- Bois
- Porte échantillon
- Laine céramique

$$-k \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)_{z=L} = 0$$

Résultats : Relevé de températures à 18 kW/m²



Méthode de mesure

Asymptote de la
moyenne

Valeurs maximales

2 thermocouples

563°C

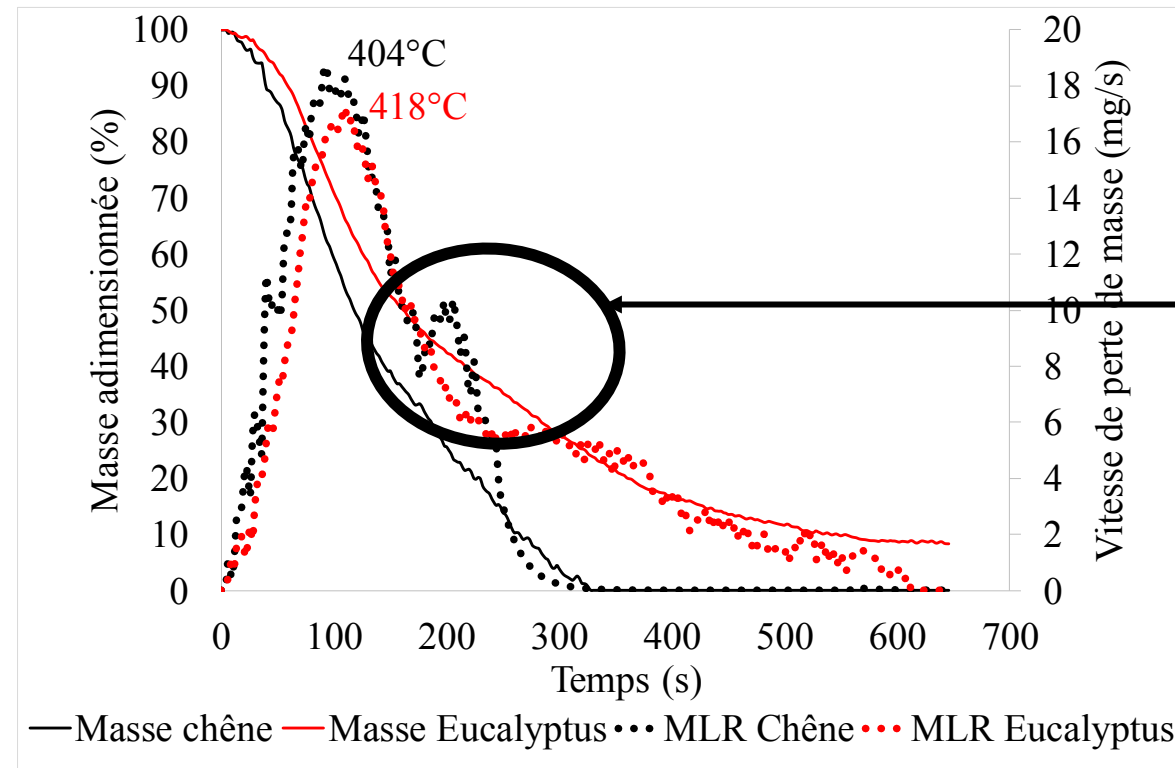
575°C

16 thermocouples

554°C

703°C

Perte de masse et MLR à 18 kW/m²



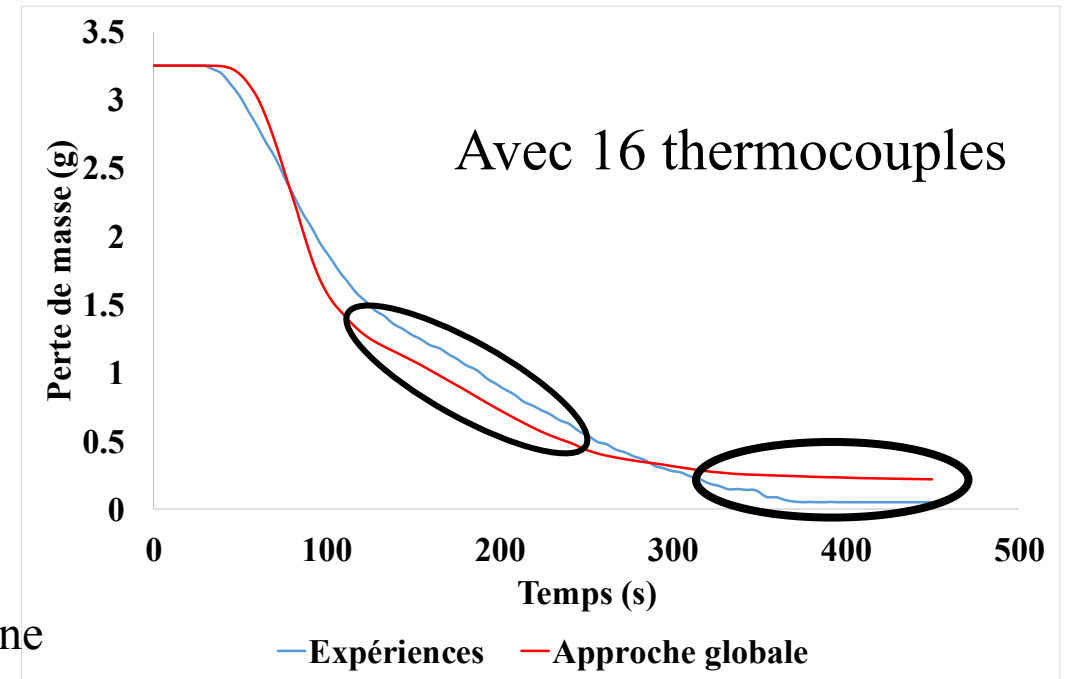
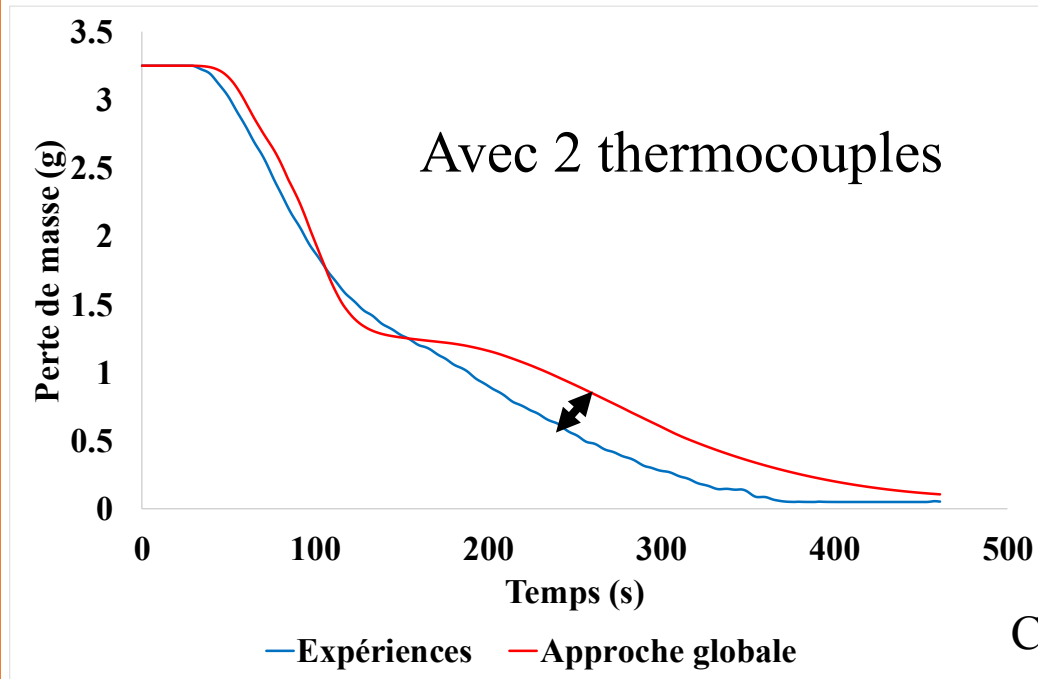
Début d'oxydation du
charbon

Des résultats similaires à ceux de l'échelle matière :

- Le chêne se dégrade plus vite que l'eucalyptus
- Les réactions chimiques de l'eucalyptus sont décalées vers des plus hautes températures



Test la cinétique du chêne à 18 kW/m²

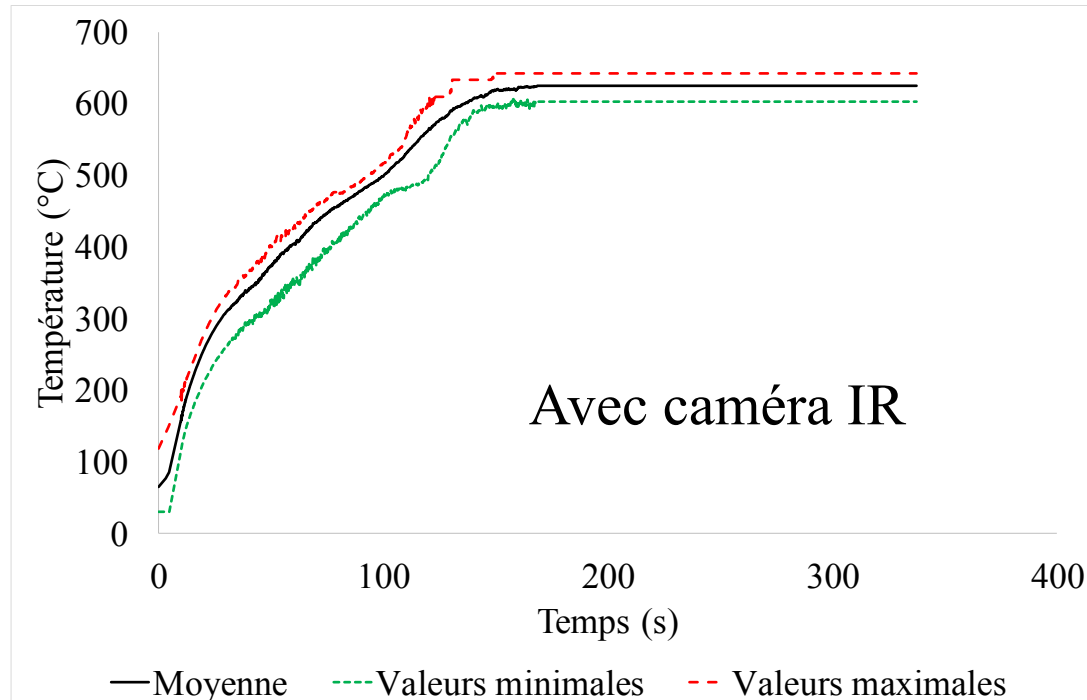
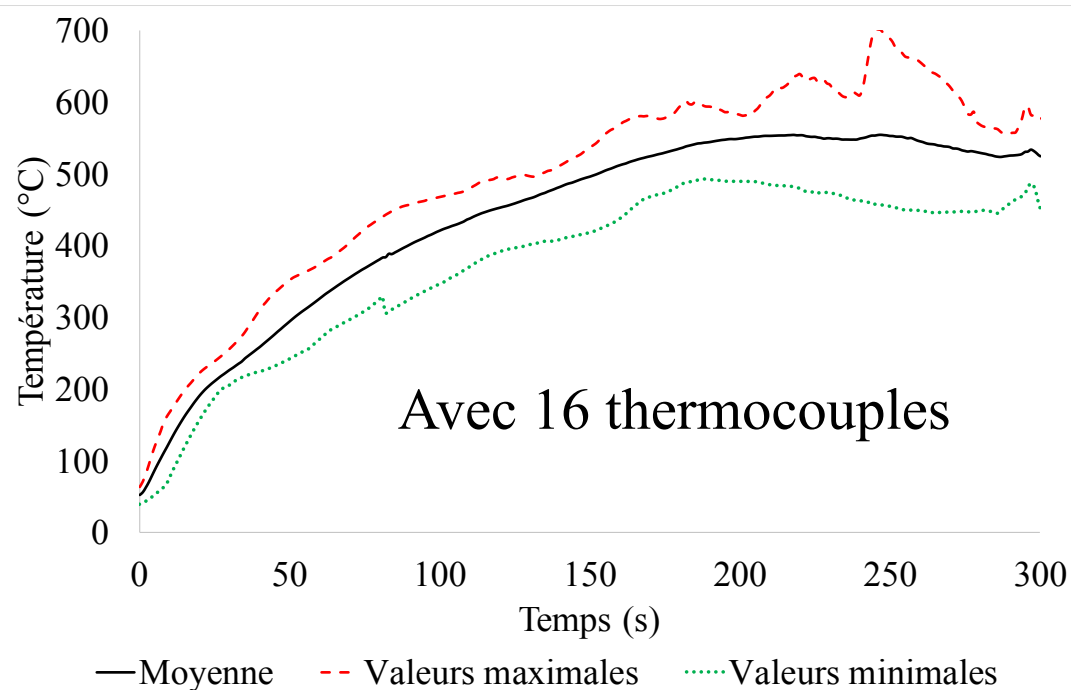
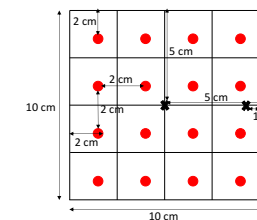


Pour le chêne :

- Bonne représentation de la perte de la masse jusqu'à 200 s ($\approx 400^\circ\text{C}$)
- Au-delà, sous-estimation de la masse restante par les modèles



Relevé de température par caméra IR



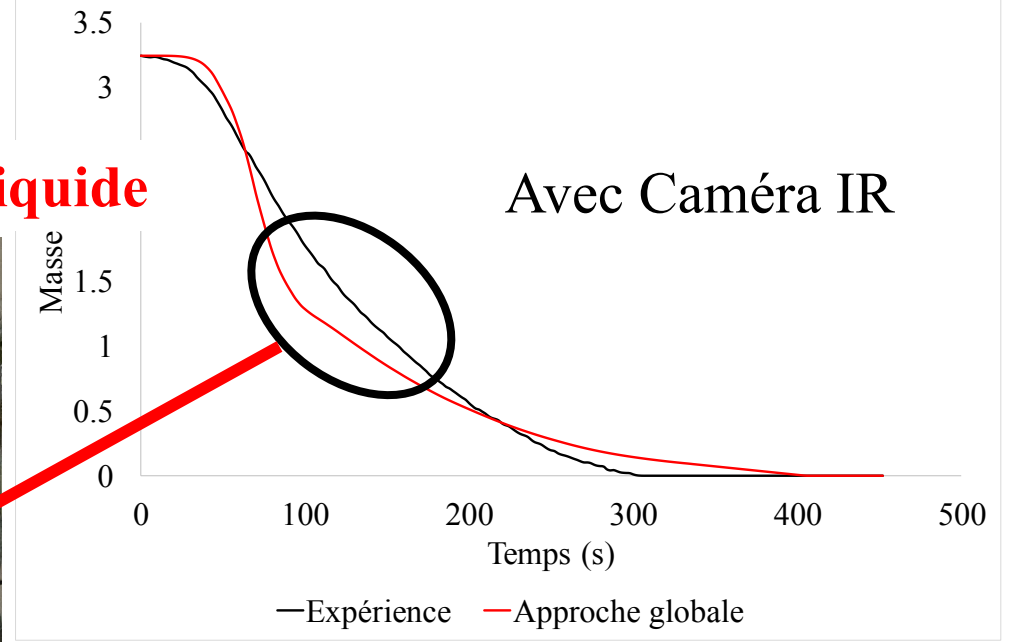
Méthode de mesure	Asymptote de la moyenne	Valeurs maximales
16 thermocouples	554°C	703°C
Caméra IR	625°C	642°C



Test de la cinétique du chêne à 18 kW/m²



Apparition de goudrons sous forme liquide



enter efficacement l'oxydation du charbon
calage masse expérimentale – simulée





Sommaire

1. Combustibles utilisés
2. Résultats à l'échelle matière
3. Résultats à l'échelle matériau
4. Conclusion et perspectives



Conclusion et perspectives

Echelle matière et échelle matériau :



- 3 Modèles cinétiques représentant la dégradation thermique des matériaux étudiés.
- Approche globale donnant la meilleure représentation.
- Modélisation expérimentale avec condition adiabatique sous la face inférieure permettant de représenter la perte de masse des 2 bois.
- Précision de la mesure expérimentale de température primordiale pour une bonne représentation de la perte de masse.



- Décalage entre 50 et 150 s dû à l'emprisonnement des goudrons par la laine en céramique.



Utilisation d'une condition aux limites avec pertes convectives sous la face inférieure pour éliminer les goudrons formés (en cours d'étude).

Merci de votre attention

Contact : gerandi_g@universita.corsica