

CSTB
le futur en construction

GDR Feux

La contribution du bois en incendie

06 juillet 2023 – Alain COIMBRA, Paul LARDET

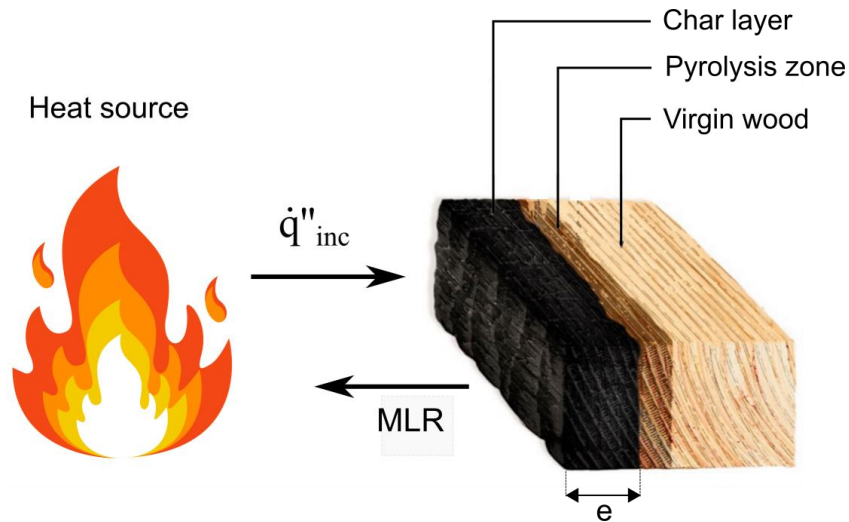




- Augmentation de la construction d'immeubles valorisant le bois en structure et en aménagement intérieur
- Son inflammabilité constitue un inconvénient majeur pour ces applications
- Leur comportement de pyrolyse lors d'une exposition à la chaleur doit être prédit

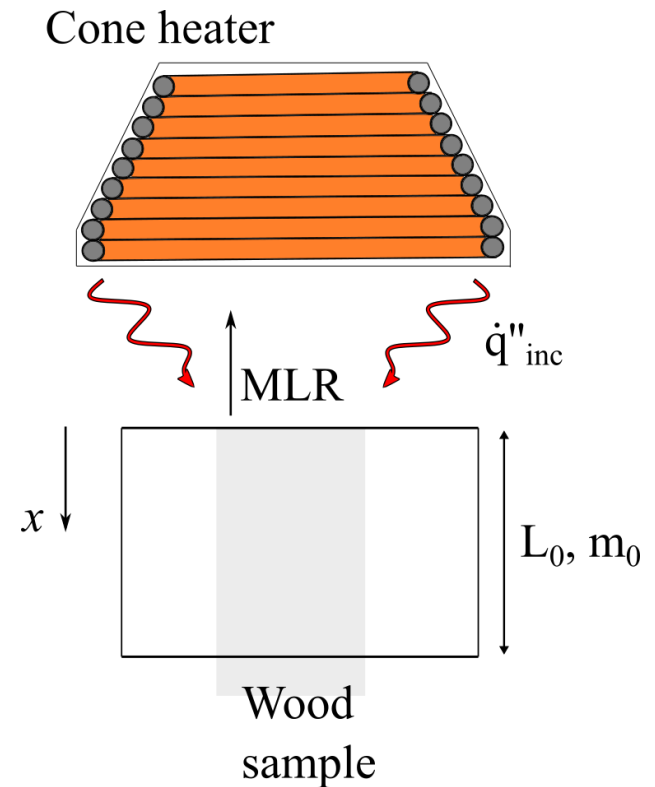
Dégradation thermique :

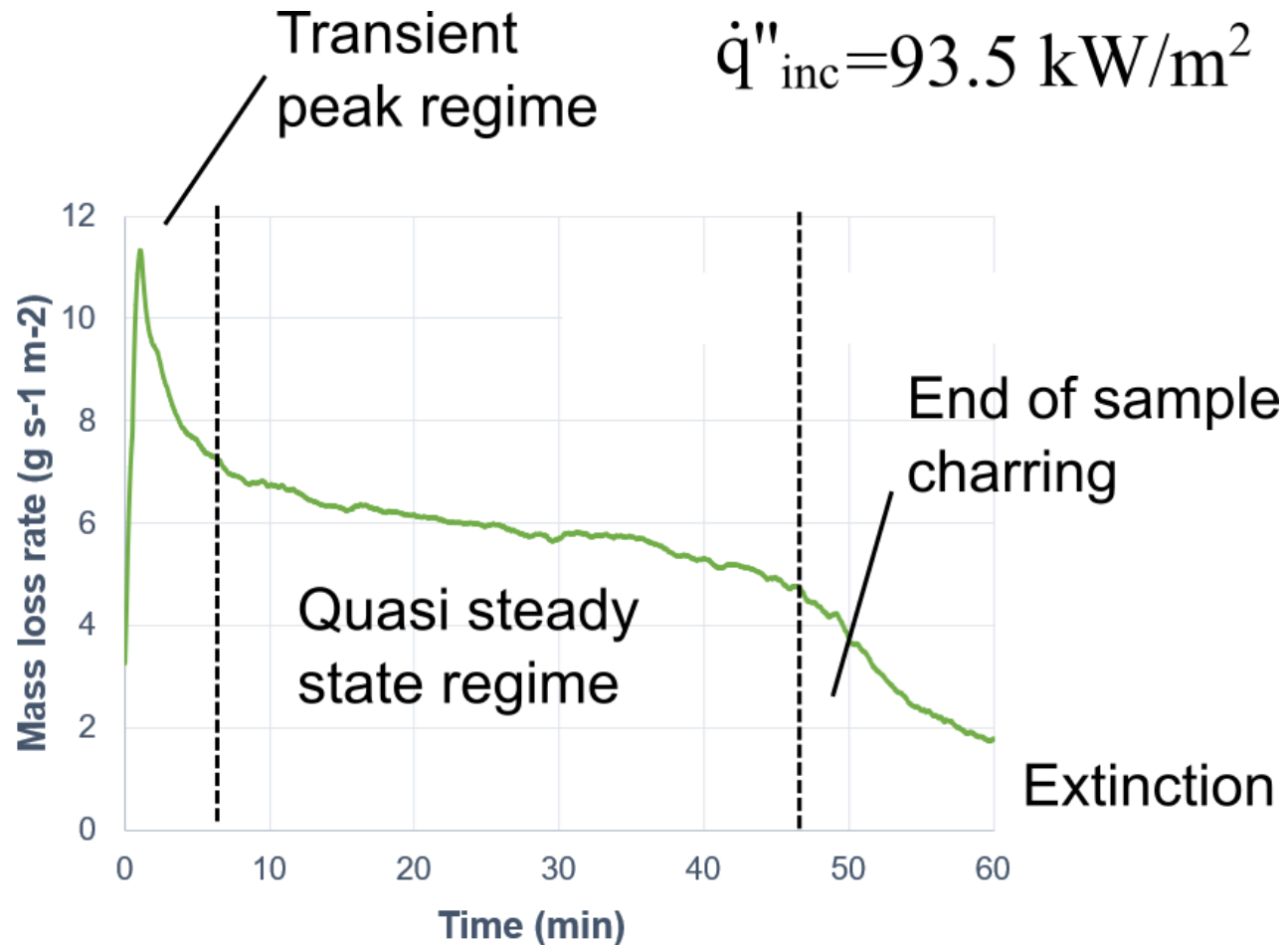
Bois vierge \longrightarrow charbon + matières volatiles

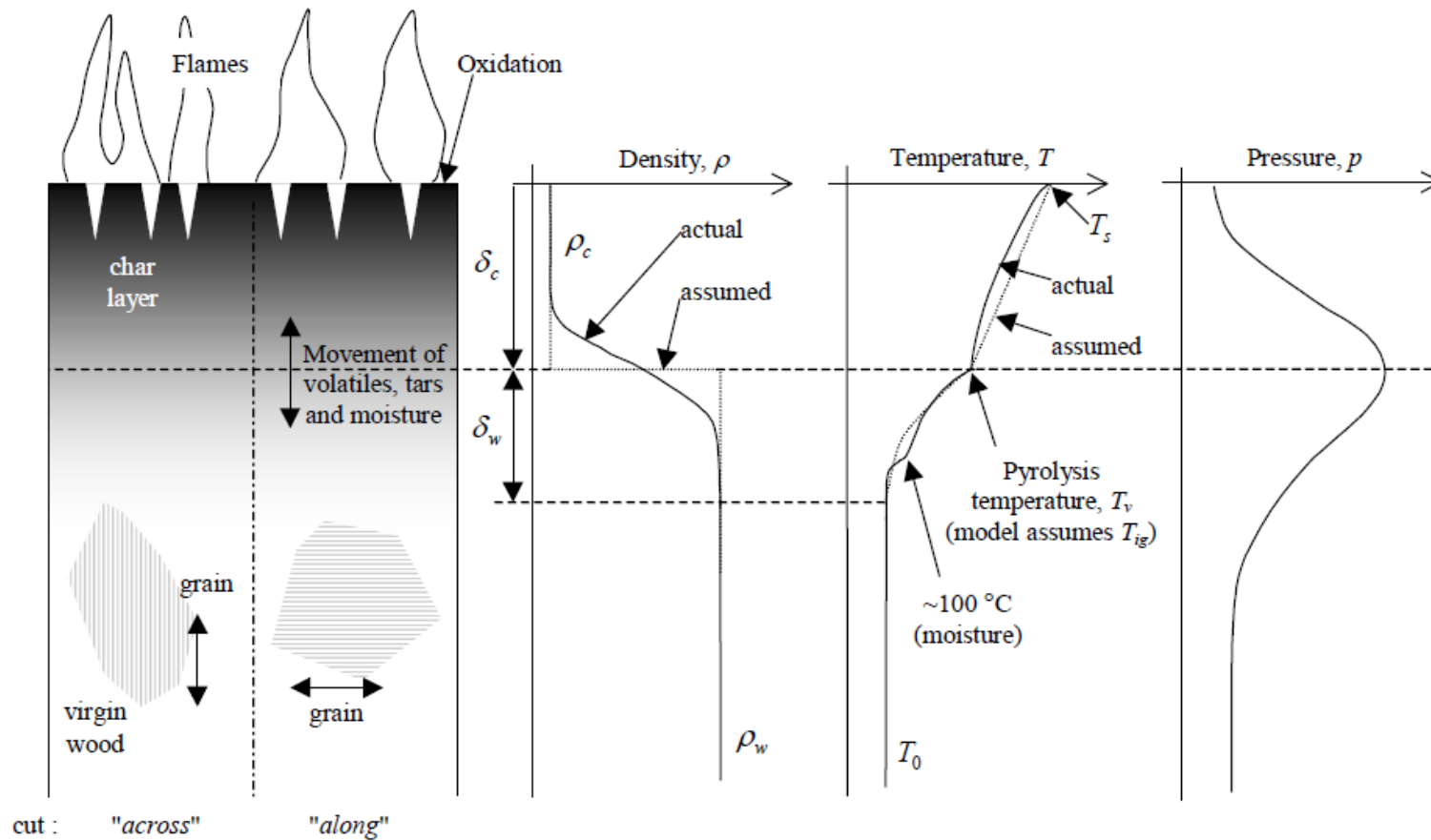


Cône calorimètre :

- Mass loss rate (MLR)
- Épaisseur de charbon (e)
- Vitesse de carbonization (\dot{e})







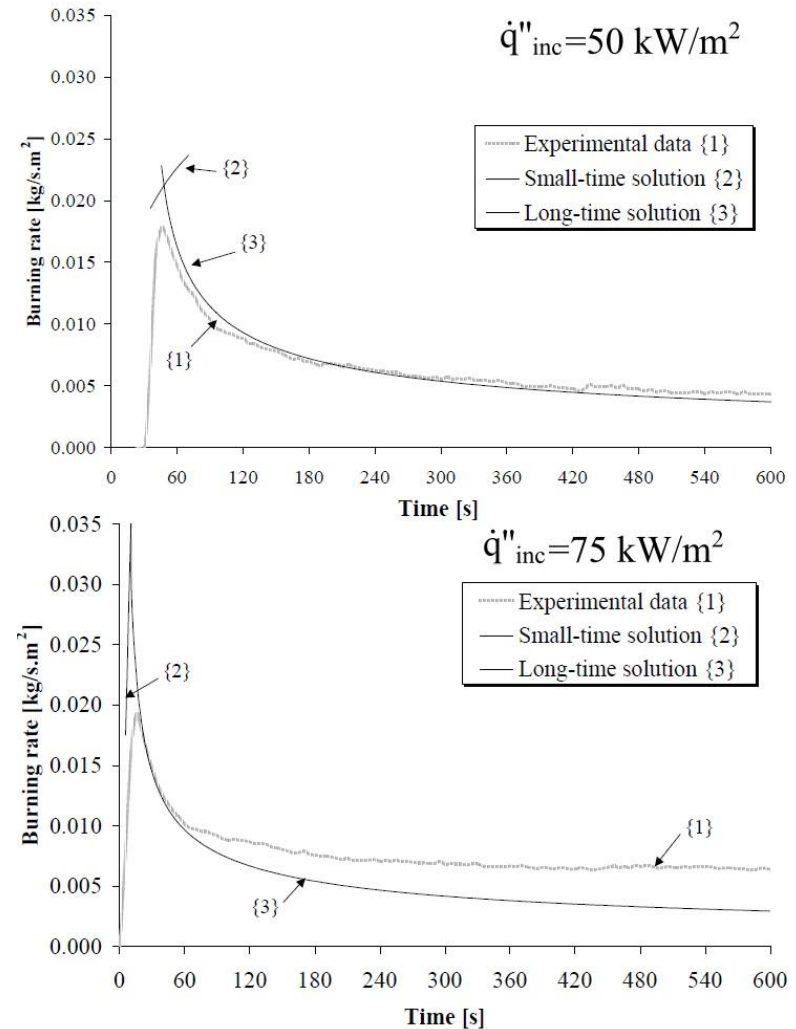
Source : Spearpoint et al. 2000

Expressions analytiques pour le MLR et l'épaisseur de charbon :

$$M \approx \sqrt{\frac{\left(\frac{c_w T_v}{\Delta H_v}\right) \left(\frac{k_\phi}{k_w}\right) (\theta_s - 1)}{8(\tau - \tau_{ig})}}$$

$$\Delta_\phi \approx \sqrt{2 \left(\frac{c_w T_v}{\Delta H_v}\right) \left(\frac{k_\phi}{k_w}\right) (\theta_s - 1) (\tau - \tau_{ig})}$$

Source : Spearpoint et al. 2000



Équations de conservation :

1. Masse, phase solide
2. Espèces chimiques, phase solide
3. Masse, phase gazeuse
4. Espèces chimiques, phase gazeuse
5. Énergie, phase solide
6. Énergie, phase gazeuse
7. Quantité de mouvement, phase gazeuse (suppose un écoulement darcien)

$$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} = -\dot{\omega}_{fg}''' \quad (1)$$

$$\frac{\partial (\bar{\rho} Y_i)}{\partial t} = \dot{\omega}_{fi}''' - \dot{\omega}_{di}''' \quad (2)$$

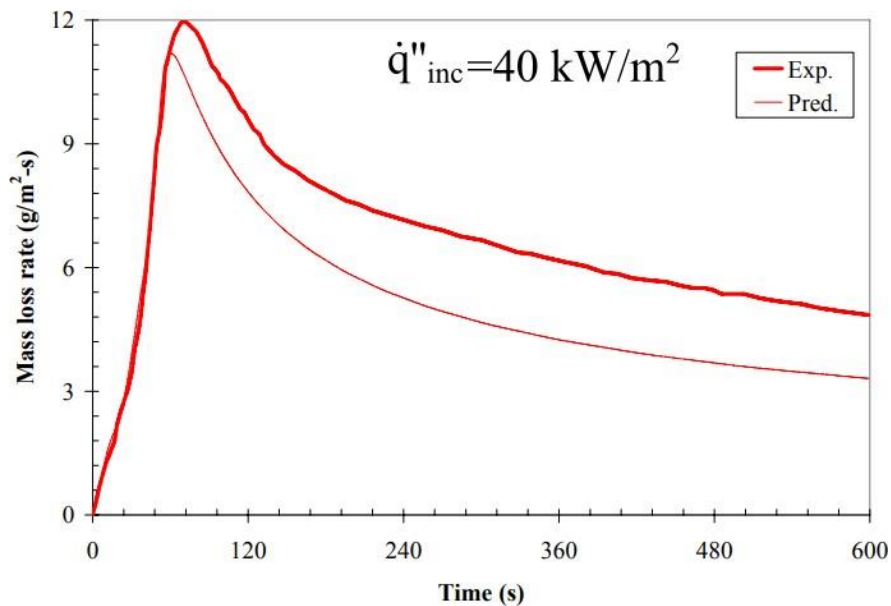
$$\frac{\partial (\rho_g \bar{\psi})}{\partial t} + \frac{\partial \dot{m}''}{\partial z} = \dot{\omega}_{fg}''' \quad (3)$$

$$\frac{\partial (\rho_g \bar{\psi} Y_j)}{\partial t} + \frac{\partial (\dot{m}'' Y_j)}{\partial z} = -\frac{\partial \dot{j}_j''}{\partial z} + \dot{\omega}_{fj}''' - \dot{\omega}_{dj}''' \quad (4)$$

$$\frac{\partial (\bar{\rho} \bar{h})}{\partial t} = -\frac{\partial \dot{q}''}{\partial z} - \dot{Q}_{s-g}''' + \sum_{k=1}^K \dot{Q}_{s,k}''' + \sum_{i=1}^M (\dot{\omega}_{fi}''' - \dot{\omega}_{di}''') h_i \quad (5)$$

$$T_g = T \quad (\text{thermal equilibrium}) \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{P \bar{M}}{R T_g} \bar{\psi} \right) = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\bar{K}}{\nu} \frac{\partial P}{\partial z} \right) + \dot{\omega}_{fg}''' \quad (7)$$



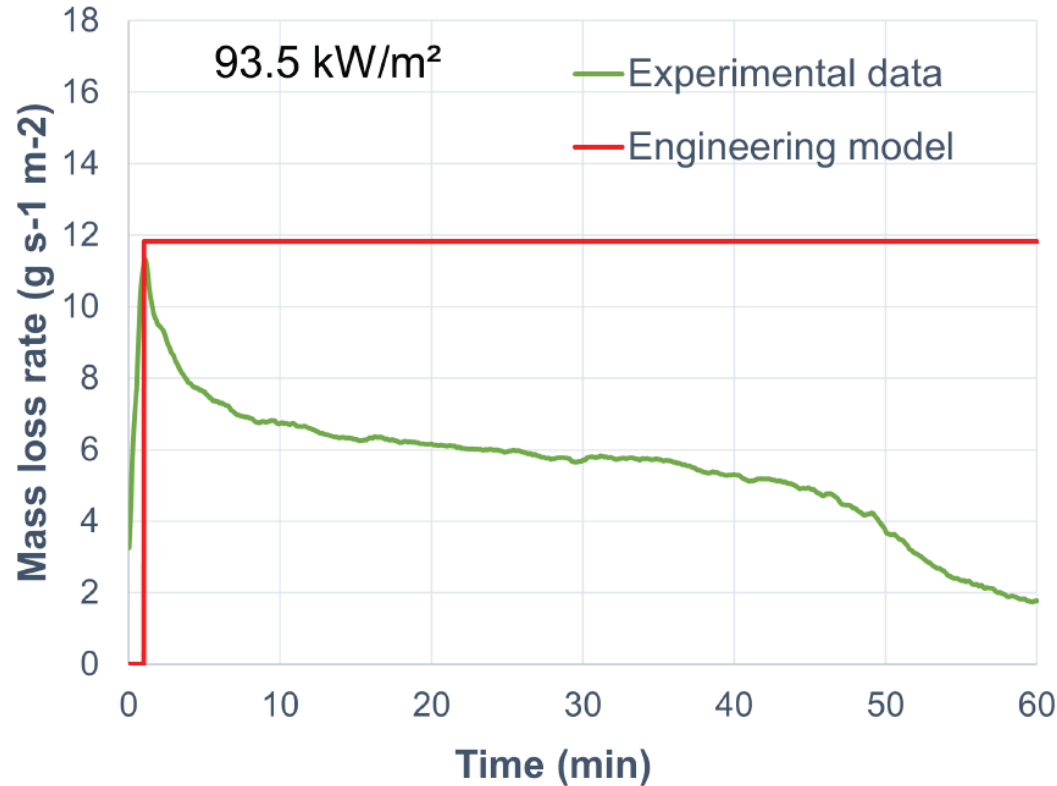
Source : Lautenberger et al. 2009

Paramètres à déterminer :

1. Modèle de réactions chimiques
 2. Cinétique de dégradation
 3. Masse volumique
 4. Conductivité thermique
 5. Chaleur spécifique
 6. Porosité du charbon
- Etc...

$$MLR \propto \dot{q}_{inc}'' \longrightarrow MLR = f(\dot{q}_{inc}'')$$

$$MLR = \frac{1}{\Delta H_c} (44.1 + 1.31 \times \dot{q}_{inc}'')$$



Source : Girardin et al. 2019

Nous avons besoin d'une meilleure solution pour les applications d'ingénierie !

On cherche une formulation pour le MLR dans la forme :

$$MLR = \dot{q}_{inc}'' \times f(e), \quad (1)$$

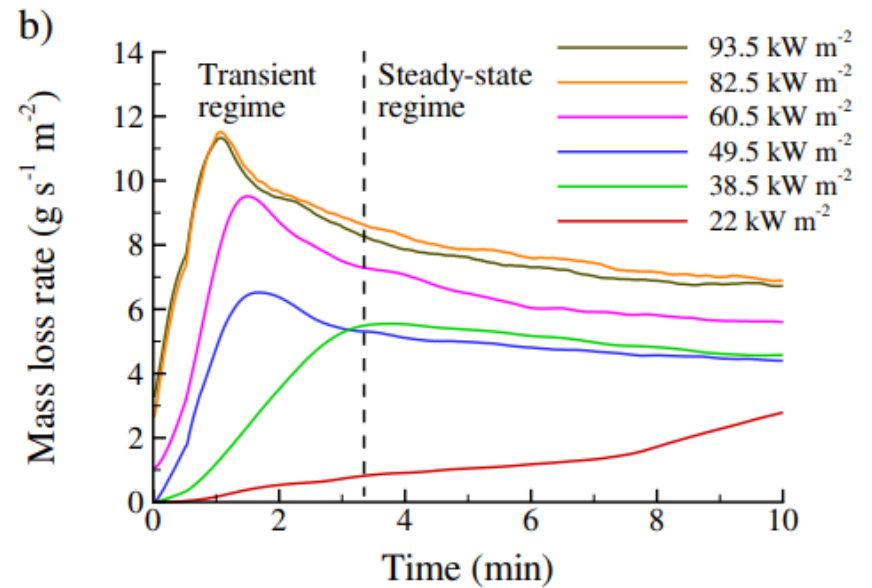
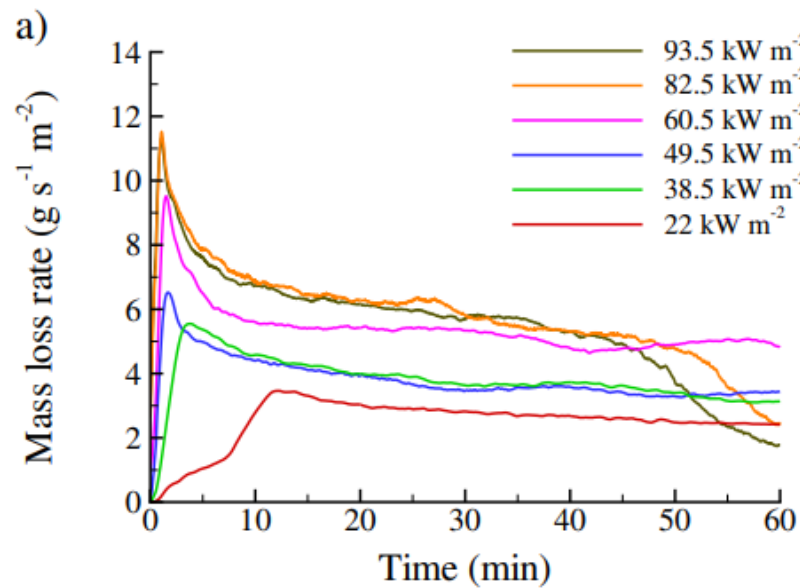
à partir du traitement des données expérimentaux.

Matériau : épicéa sous forme d'échantillons en lamellé collé.

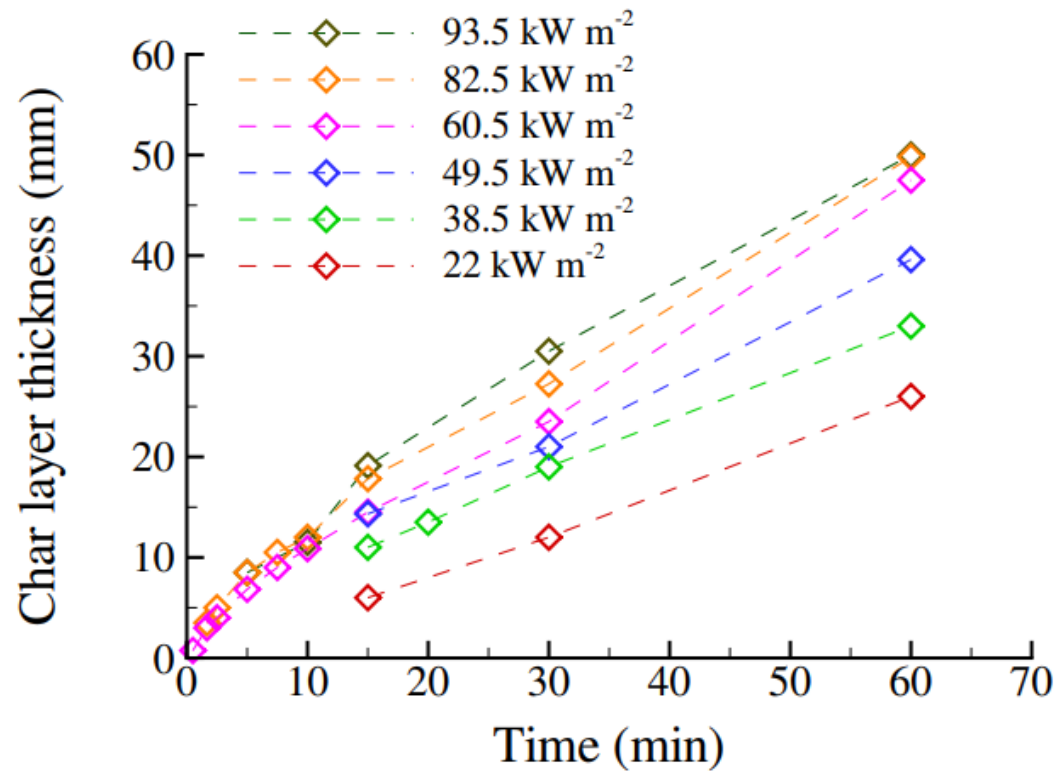
Cône calorimètre : $\dot{q}_{cône}'' = 22, 38.5, 49.5, 60, 82.5$ et 93.5 kW m^{-2} .

Mesures de **MLR** et **épaisseur de charbon** e .

MLR



Épaisseur de charbon



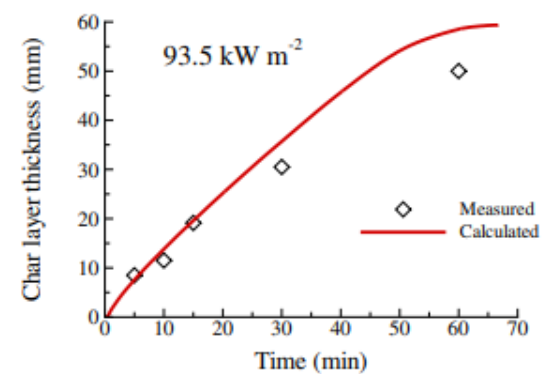
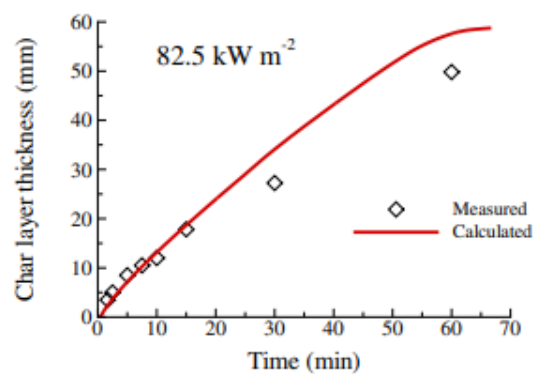
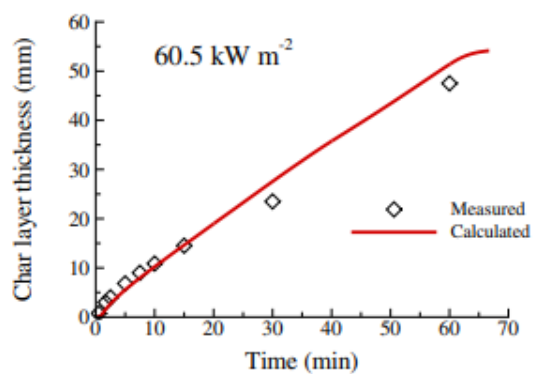
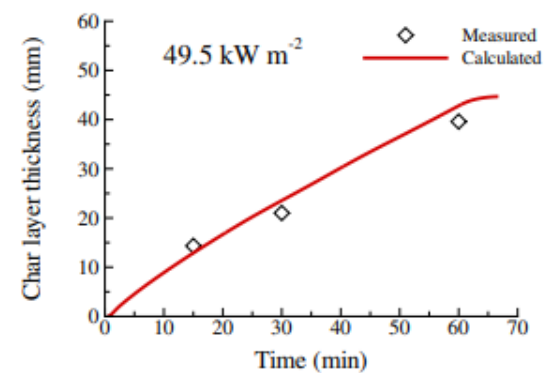
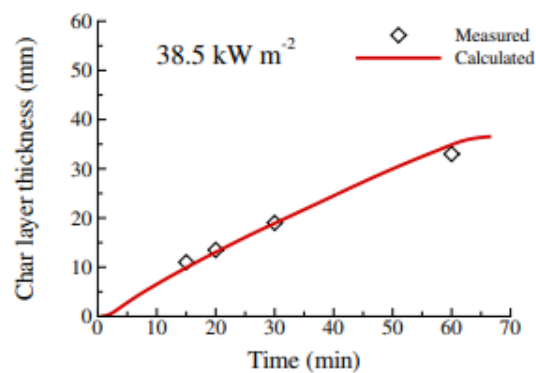
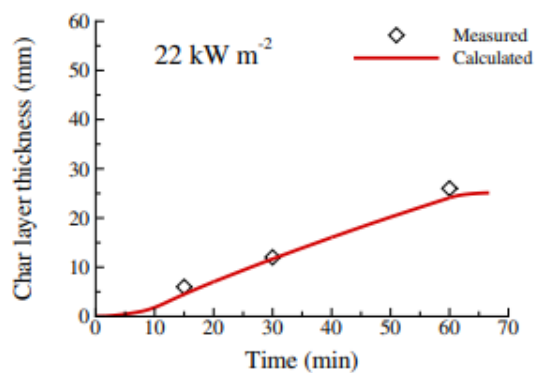
Calculs de la vitesse de carbonization et épaisseur de charbon.

Si on considère que la zone de pyrolyse est infiniment mince :

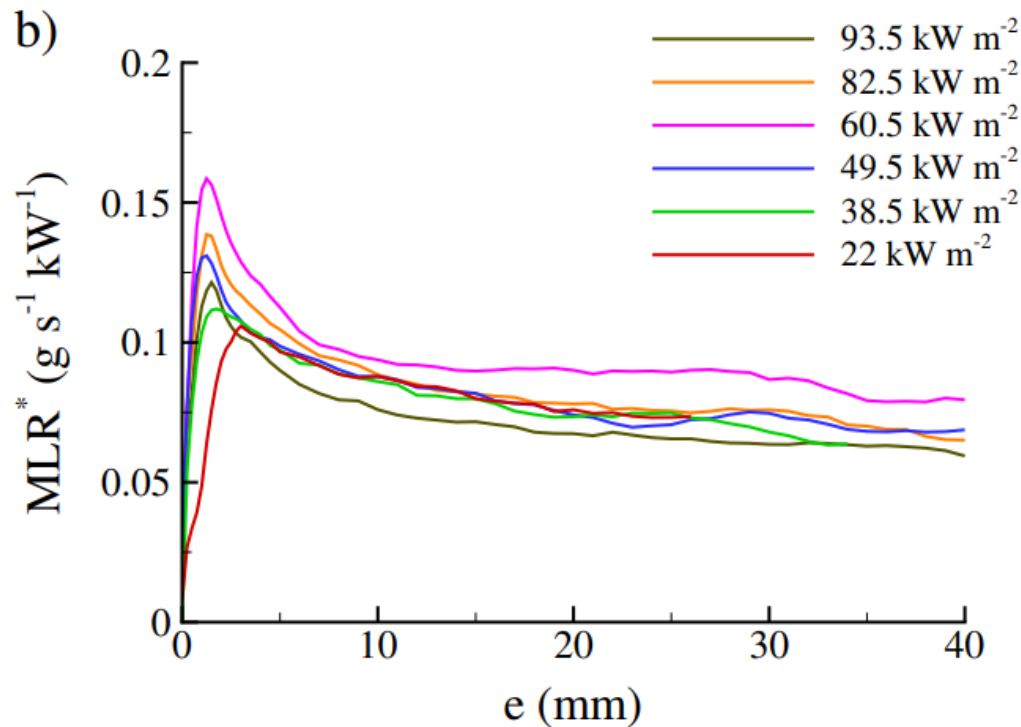
$$MLR = \dot{e} \cdot \rho_v = \dot{e} \cdot \rho_0 \cdot (1 - \tau_c). \quad (2)$$

L'épaisseur est obtenue en intégrant la vitesse avec le temps.

$$e_{n+1} = e_n + \int_n^{n+1} \dot{e}_n dt. \quad (3)$$

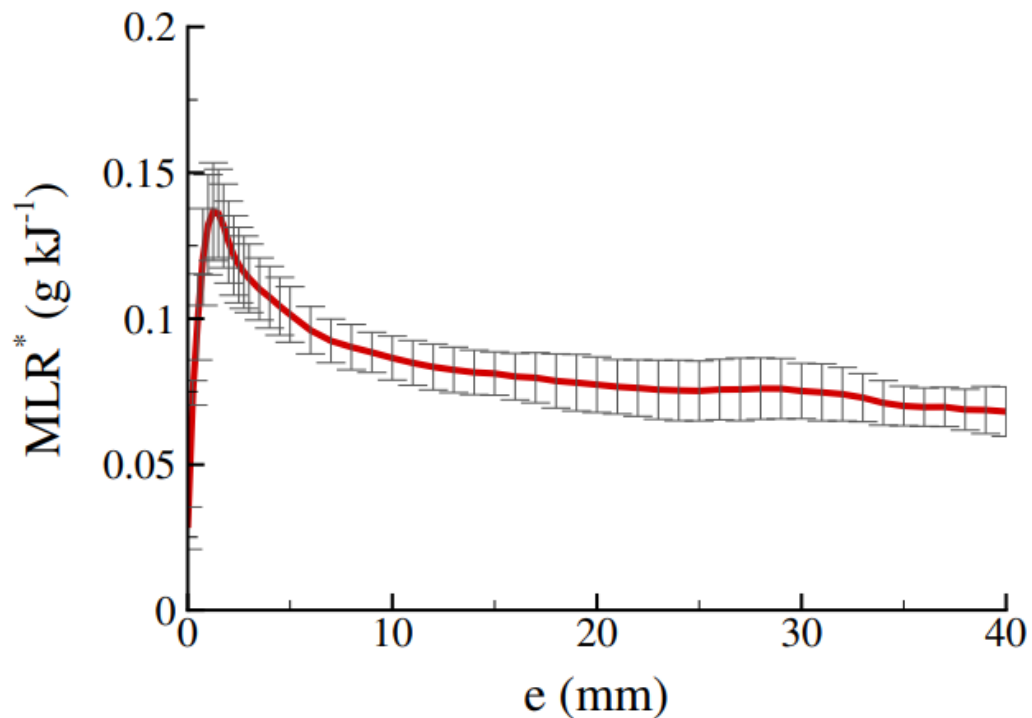


Pour obtenir une corrélation du type $MLR = \dot{q}_{inc}'' \times f(e)$ on représente $\frac{MLR}{\dot{q}_{inc}''}$ en fonction de l'épaisseur :

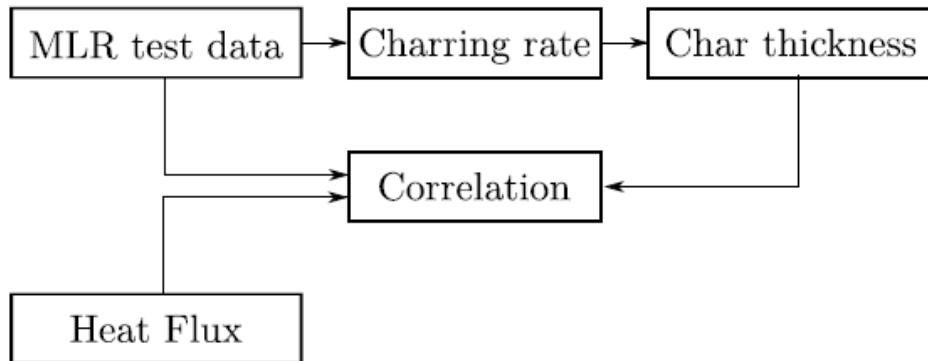


Les courbes normalisées sont très proches les unes des autres pour différents flux !

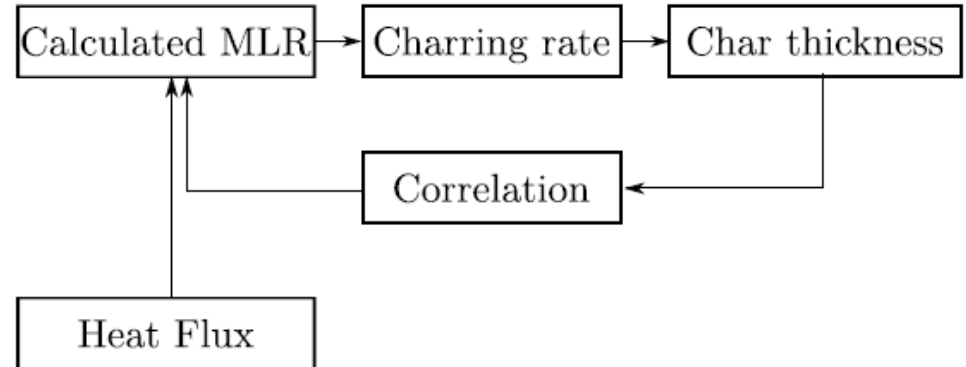
Une moyenne des résultats nous permet de traiter les courbes d'une façon découplée :

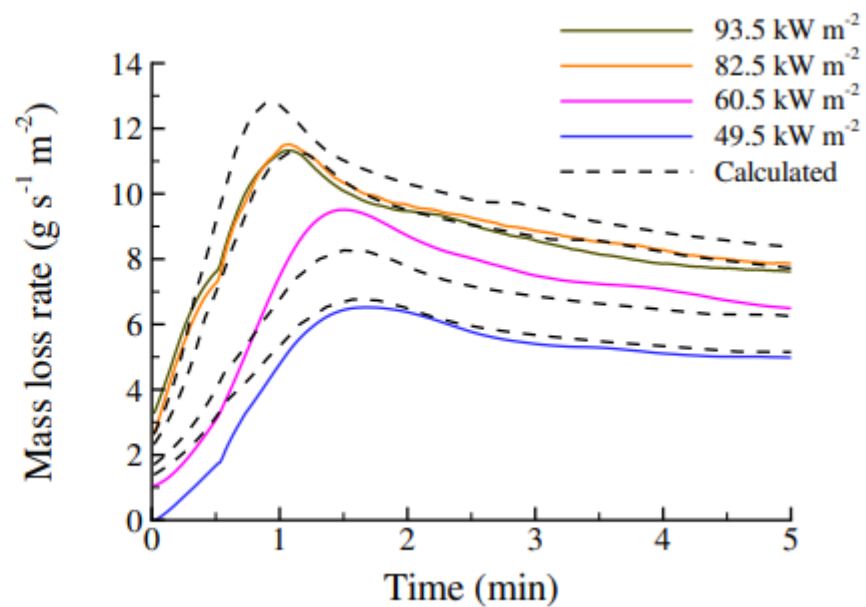
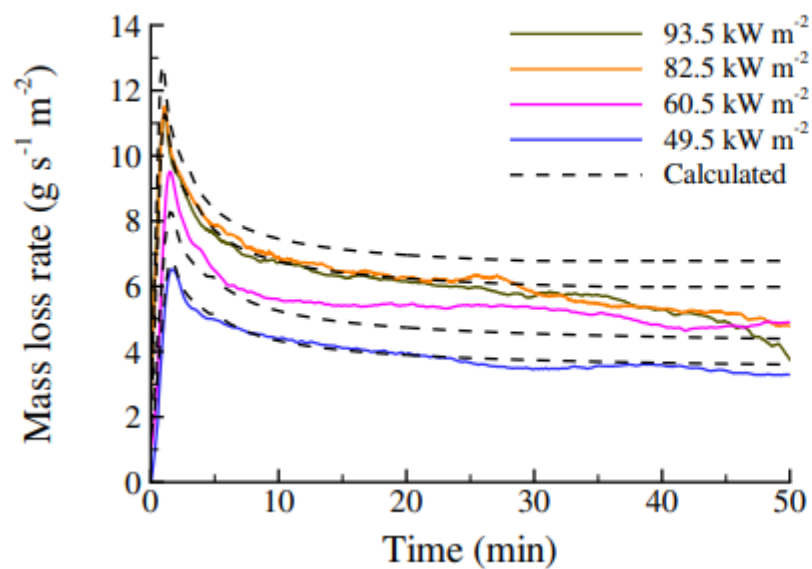


Développement de la corrélation :



Calcul du MLR à partir de la corrélation :





Conclusions

- Étude bibliographique des modèles de pyrolyse du bois :
 1. Modèles analytiques
 2. Modèles complets
 3. Solutions pour l'ingénierie
- Traitement des données du cône calorimètre
- Développement d'une corrélation entre le MLR, le flux incident et l'épaisseur de charbon

Perspectives

- Analyse de l'impact de la combustion solide du charbon pour les bas flux
- Modélisation des expériences à plus grande échelle, pour d'autres types de bois et flux non-constant

Merci pour votre attention