

Effet de l'orientation des fibres et de la teneur en eau sur les mesures de température dans le bois

GDR Vernon

Diarra Fatoumata

Equipe feux

Directeurs de thèse

Parent Gilles
Terrei Lucas

2^{ème} année de thèse

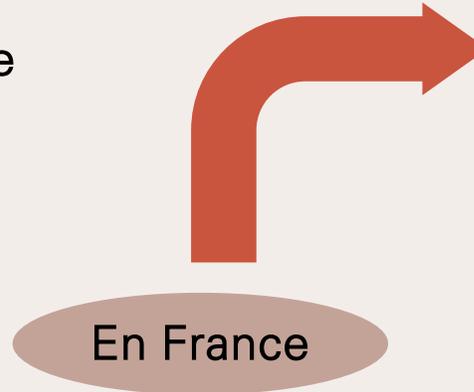
13/09/2024

Étude du comportement mécanique et hydrique d'éléments structurels en bois de construction pendant et post-incendie

Contexte de l'étude



- Ressource naturelle et renouvelable
- Utilisation grandissante dans la construction
- Bonne résistance mécanique
- Facilité d'usinage
- Spécificités du bois
 - Hygroscopique
 - Anisotrope



Loi Climat Résilience

Objectifs

- Réduction des émissions des gaz à effet de serre
- Utilisation de matériaux biosourcés dans les constructions neuves

Contexte de l'étude



En situation d'incendie,
le bois se dégrade et
brûle

➔ Impact sur la résistance
mécanique ?

Contexte de l'étude

Quelques cas
d'incendies récents



Eglise Saint-Omer
Pas-de-Calais

Contexte de l'étude

Quelques cas
d'incendies récents



Eglise Saint-Omer
Pas-de-Calais

Contexte de l'étude

Quelques cas
d'incendies récents



Logement ossature bois
Haute-savoie

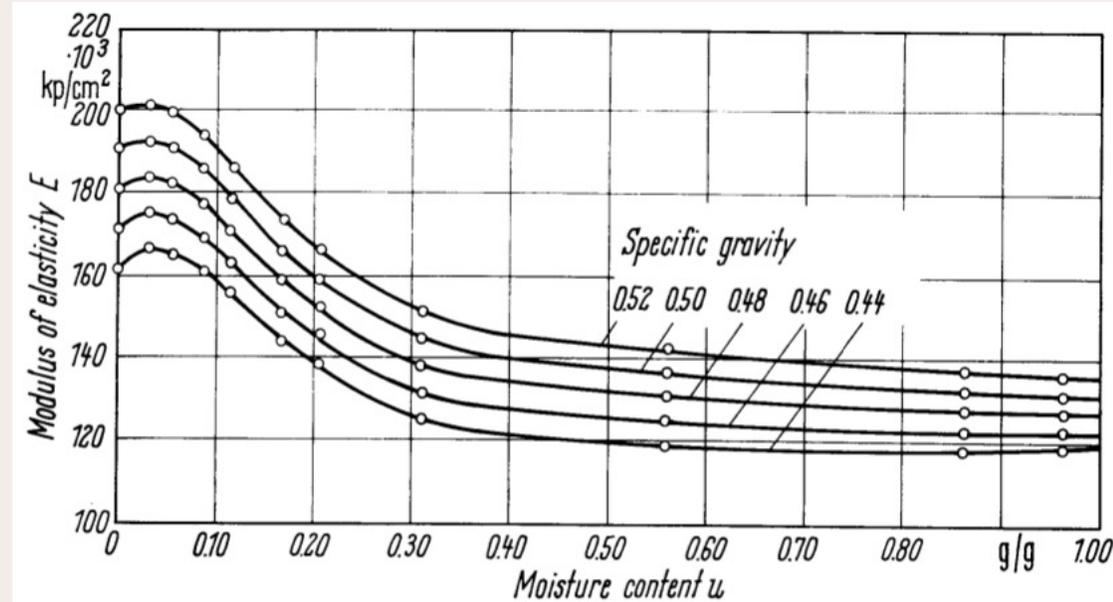
Introduction et contexte



- Prédiction du comportement du bois lors d'un incendie
- Étude de la phase de séchage
- Étude de la pyrolyse, inflammation, extinction
- Détermination des propriétés mécaniques
- Étude de la réaction au feu
- Étude du comportement thermomécanique

Séchage du bois

Les propriétés mécaniques du bois sont affectées par l'humidité



Évolution du module d'élasticité axial en fonction de la teneur en eau de l'épicéa de différentes densités (Kollmann, Côté) [1]

Module de Young diminue de 13 %, pour les humidités entre 12 et 20 % [2]

[1] F. P. P. Kolmann et W. A. Cote, « Principles of wood science and technology », Vol. I. *Solid Wood*. Springer-Verlag, Berlin, Germany, p. 55-78, 1968.

[2] C. C. Gerhards, « Effect of moisture content and temperature on the mechanical properties of wood: an analysis of immediate effects », *Wood and Fiber Science*, p. 4-36, 1982.

Séchage du bois

Études réalisées sur le bois

Incendie

- Essais réalisés à haut flux
- Cinétique de séchage rapide
- Plusieurs phénomènes : pyrolyse, combustion...

Séchage

- Essais réalisés $T < 100^{\circ}\text{C}$
- Cinétique de séchage longue
- Essais réalisés sur une longue durée

Nos études en conditions d'incendie



- $T < 200^{\circ}\text{C}$
- 4 kW/m^2

Matériels et
méthodes

Études et
résultats

Conclusion
et
perspectives

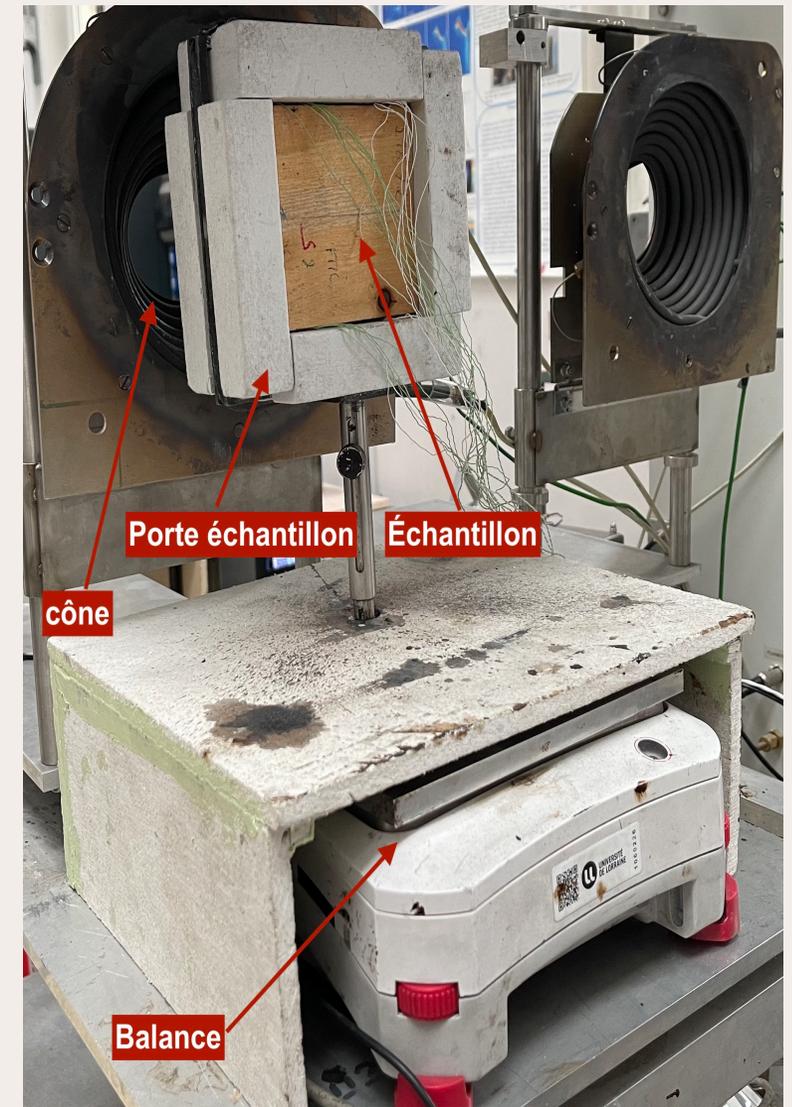
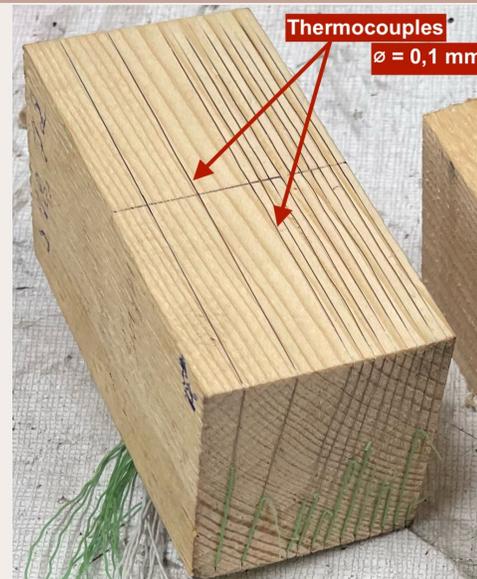
Échantillons et conditions expérimentales

- Étude à l'échelle du cône calorimètre
- Domaine hygroscopique
- Teneur en eau < 30%
- 5 essences de bois
- 10×10×5 cm³
- Orientation des fibres : (//) ou (⊥) au flux
- Flux: 4 kW/m²

Mesures

- Mesures de températures internes [3]
- Mesures de perte en masse (précision 0,01g)

Essences : sapin, épicéa, peuplier, mélèze, chêne

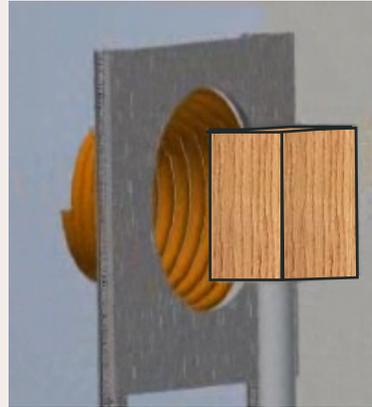


Matériels et
méthodes

Études et
résultats

Conclusion
et
perspectives

Etude thermique en fonction de l'orientation des fibres et l'humidité initiale



- Exposition à 4 kW/m^2 pendant 2h30min
- 1 échantillon de sapin dont les fibres sont ($//$)
- 1 échantillon de sapin dont les fibres sont (\perp)
- Mesures des températures internes
- Essais réalisés à des humidités de 0, 10 et 18%

Températures internes et profil de température

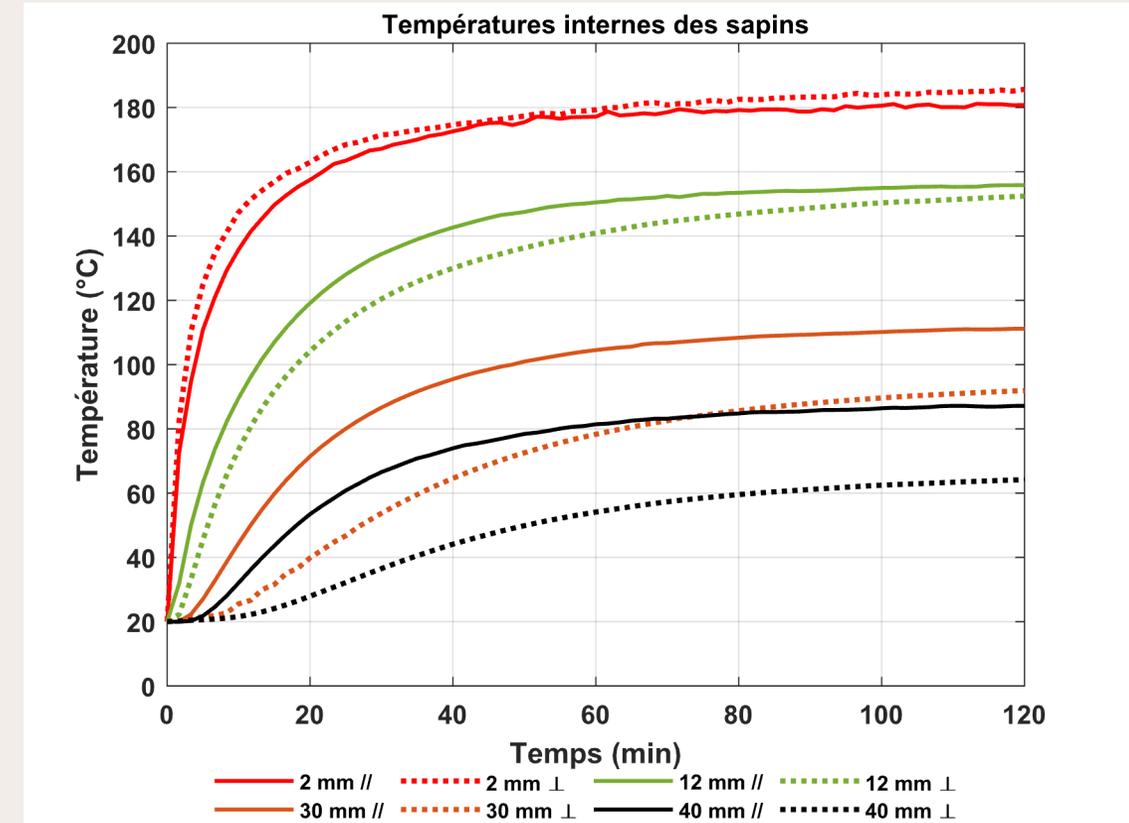
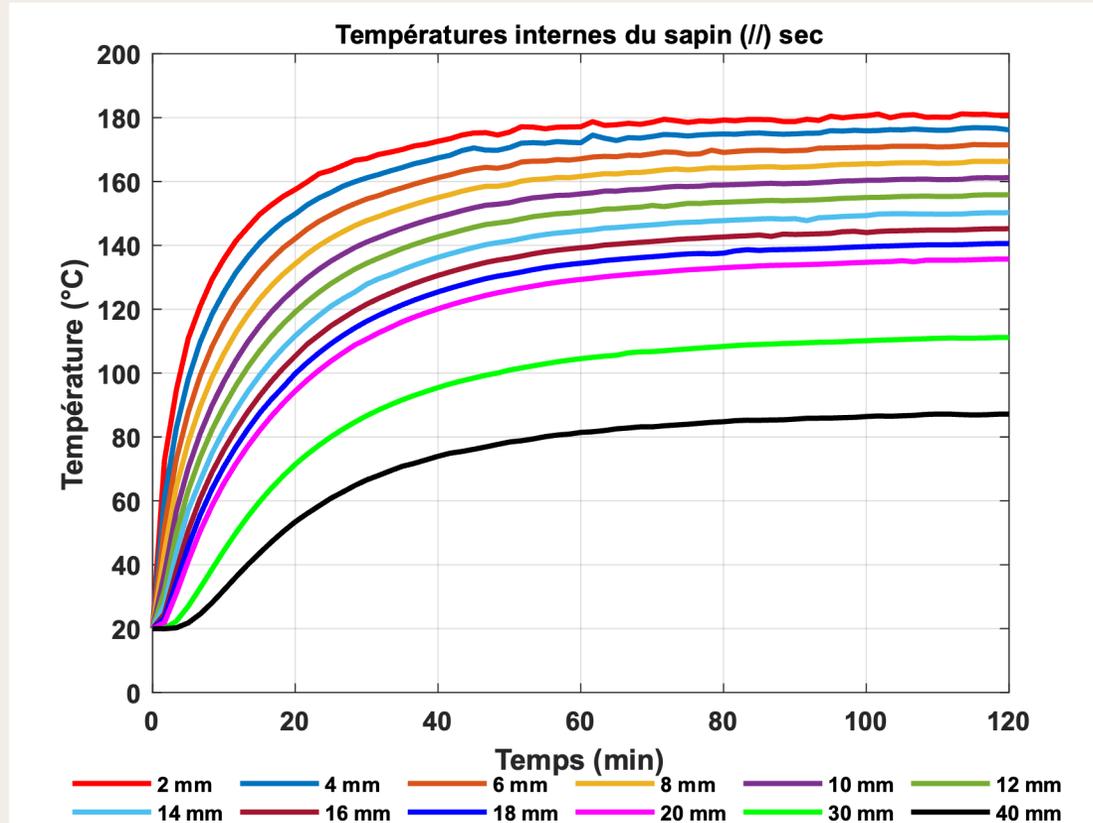
Effet de l'orientation des fibres : échantillons secs



Fibres (//)



Fibres (⊥)



$\lambda_{\parallel} \cong 3$ fois plus élevée par rapport à λ_{\perp} [4]

Températures internes et profil de température

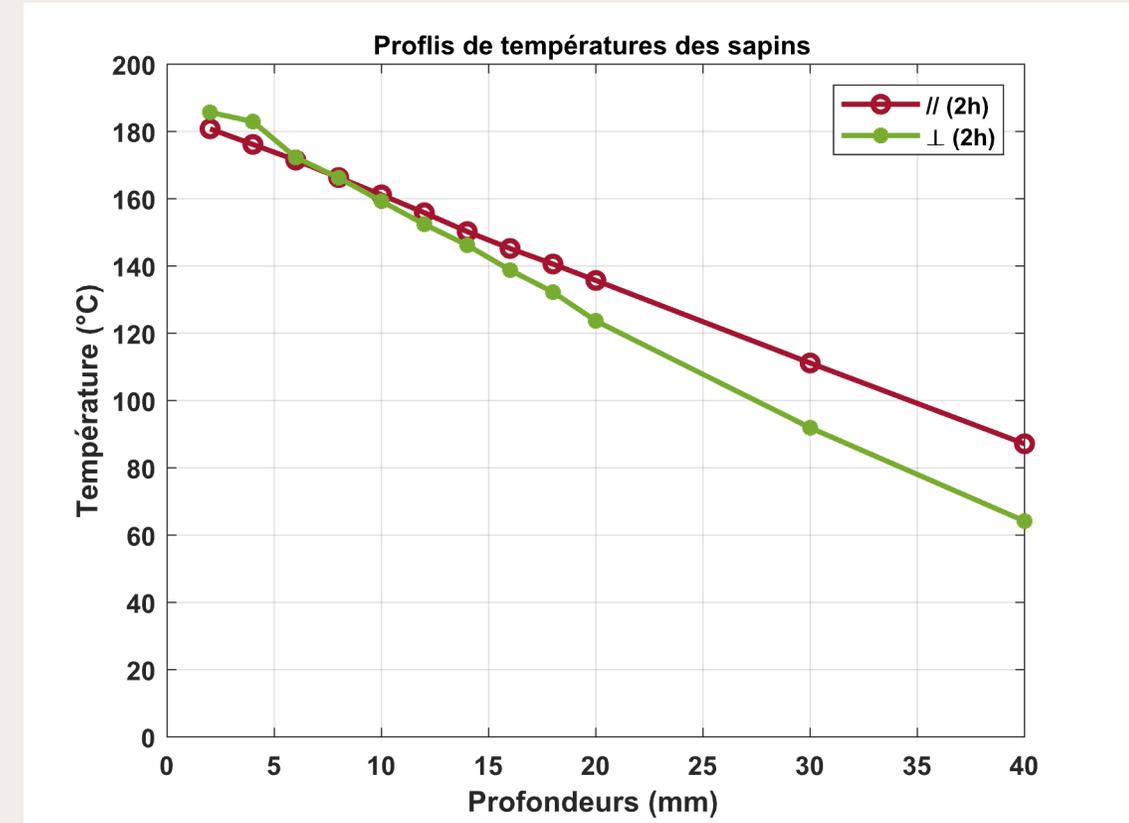
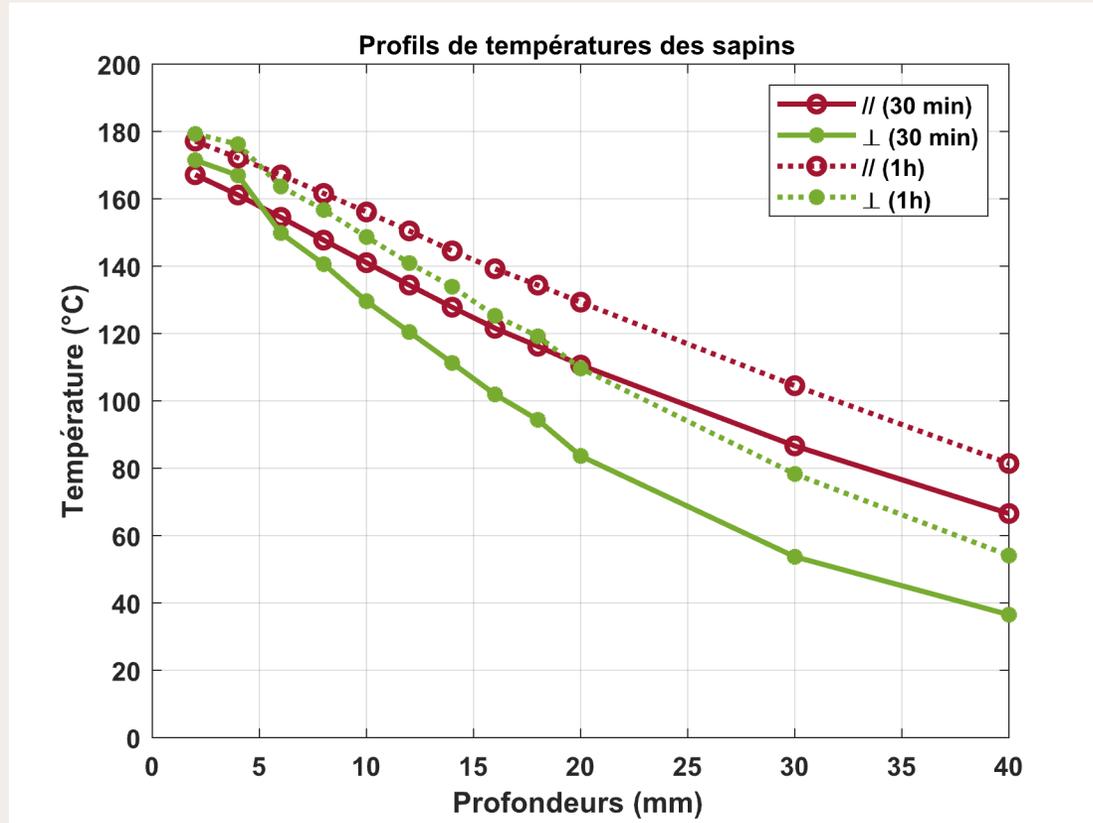
Effet de l'orientation des fibres : échantillons secs



Fibres (//)



Fibres (⊥)



$\lambda_{\parallel} \cong 3$ fois plus élevée par rapport à λ_{\perp} [4]

Températures internes et profil de température

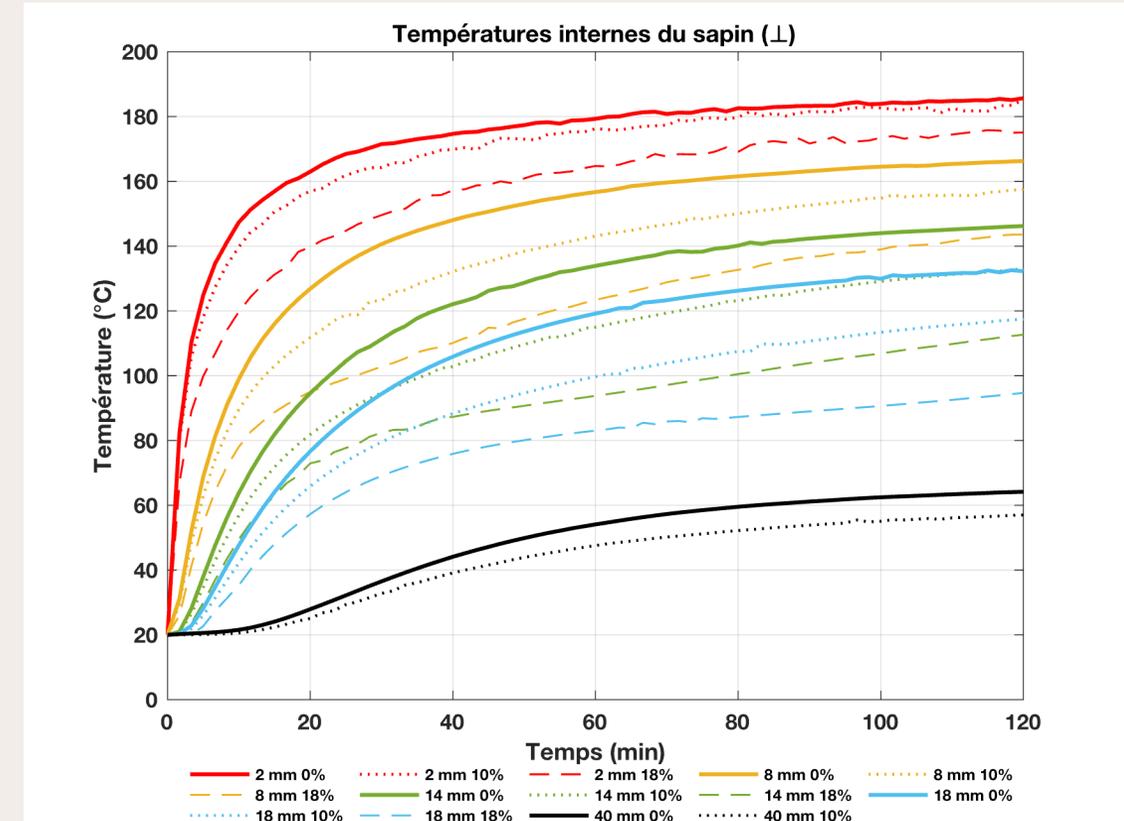
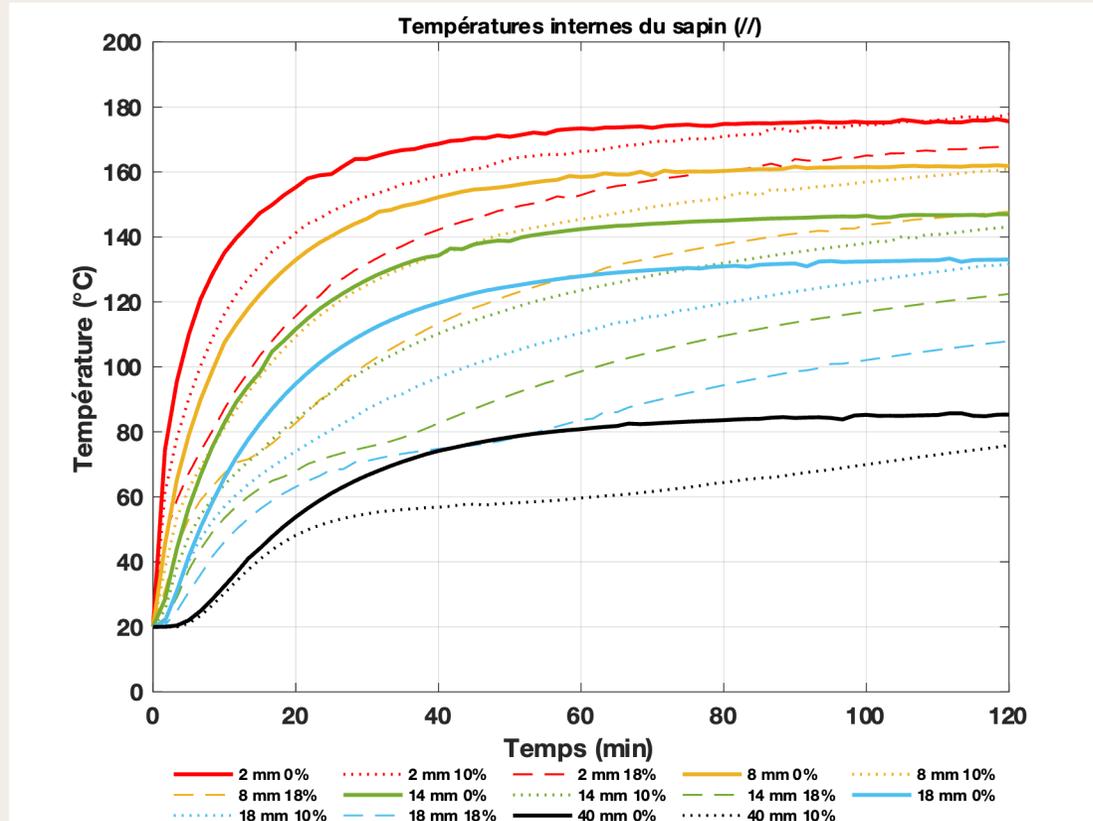
Effet de l'orientation des fibres et de l'humidité



Fibres (//)



Fibres (⊥)



1 essai pour 3 hygrométries différentes (0, 10 et 18 %) avec le même échantillon

Une humidité élevée \Rightarrow ralentit l'évolution de la température

Températures internes et profil de température

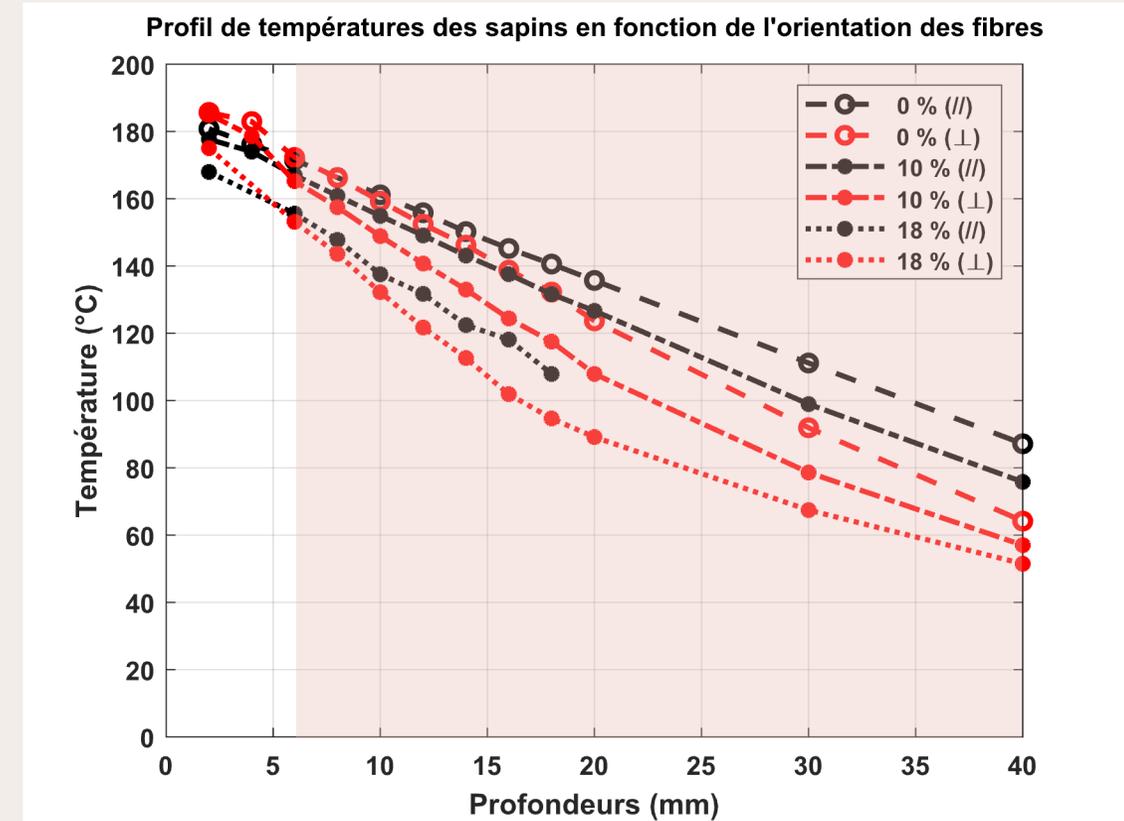
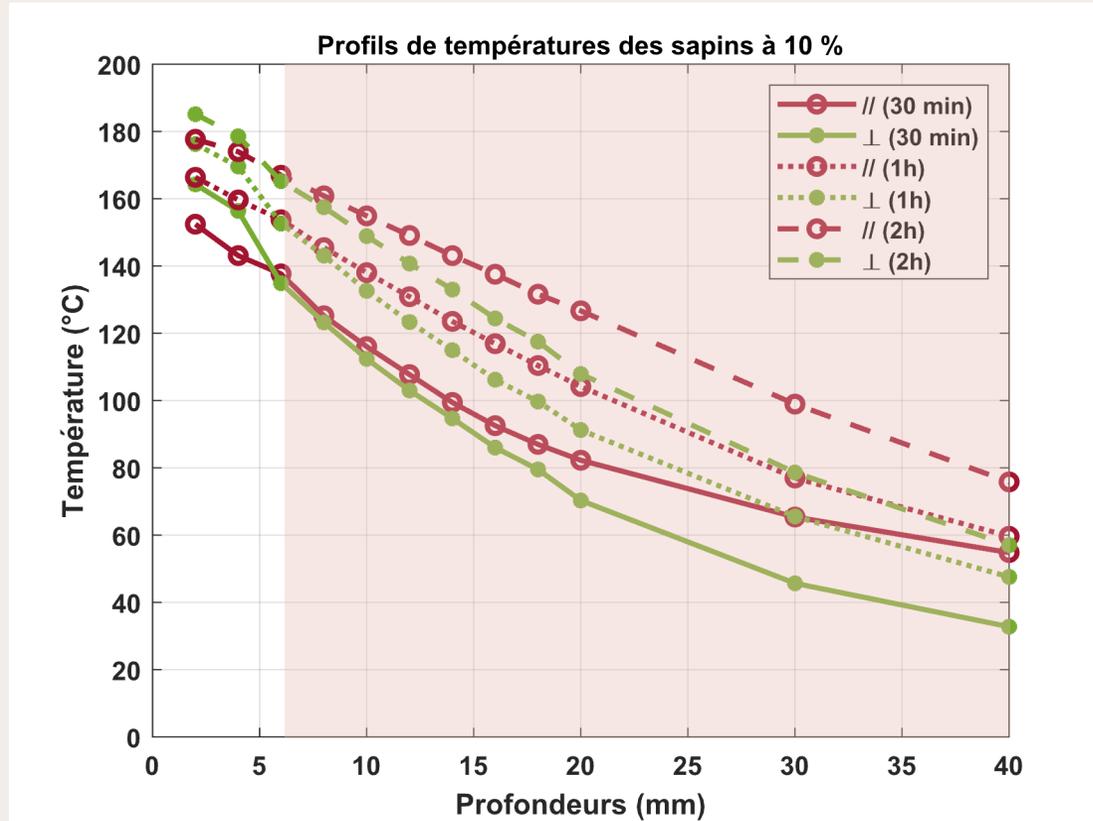
Effet de l'orientation des fibres et de l'humidité



Fibres (//)



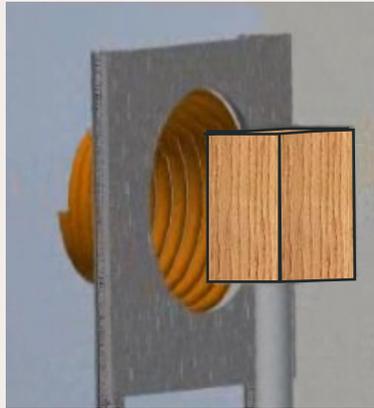
Fibres (⊥)



Bilan d'énergie à la surface

$$\lambda_{\perp} < \lambda_{\parallel} \Rightarrow \phi_{cond_{\perp}} < \phi_{cond_{\parallel}} \Rightarrow T_{surf_{\perp}} > T_{surf_{\parallel}} \text{ et } T_{arrière_{\perp}} < T_{arrière_{\parallel}}$$

Etude thermo-hydrrique avec plusieurs essences de bois



Fibres (//)



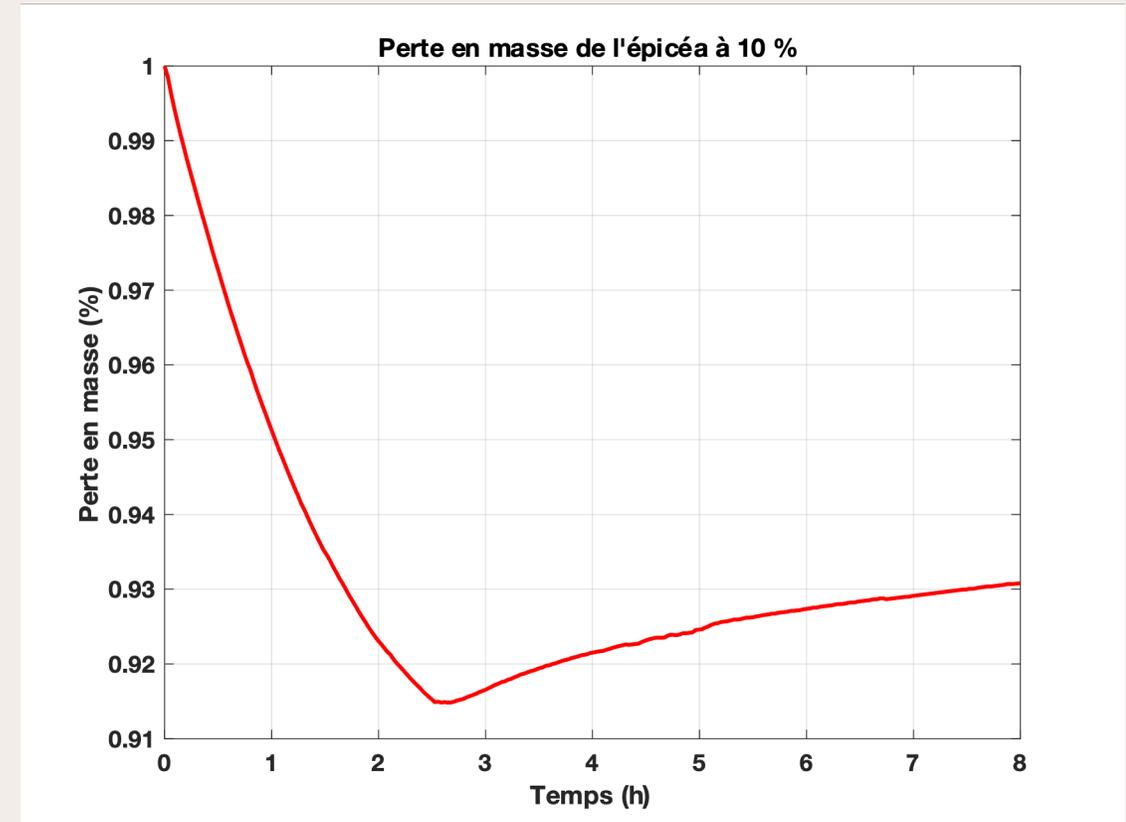
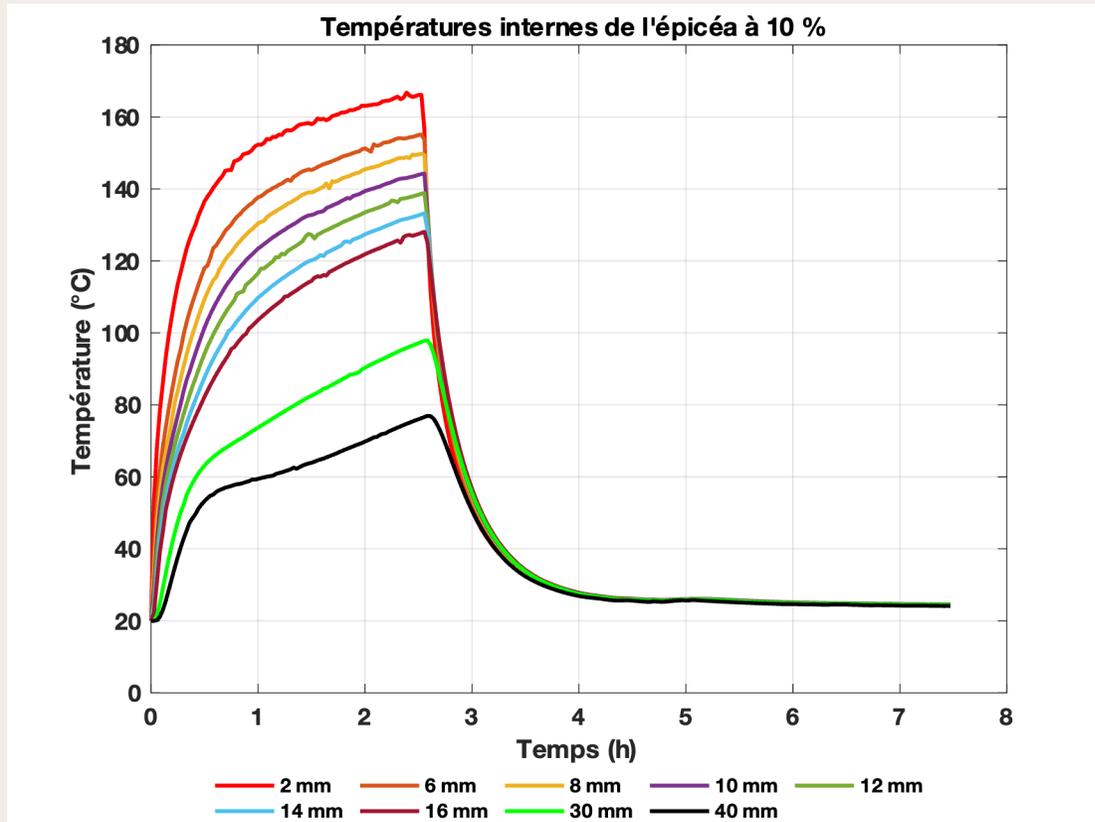
Phase de refroidissement

- Exposition à 4 kW/m²
- Epicéa, mélèze, chêne et peuplier
- Mesure des températures internes
- Mesure de la perte en masse
- Etude à 10 %

- Extinction du cône
- Mesure des températures internes
- Mesure de la perte en masse
- Pendant au moins 5h

Températures internes et perte en masse

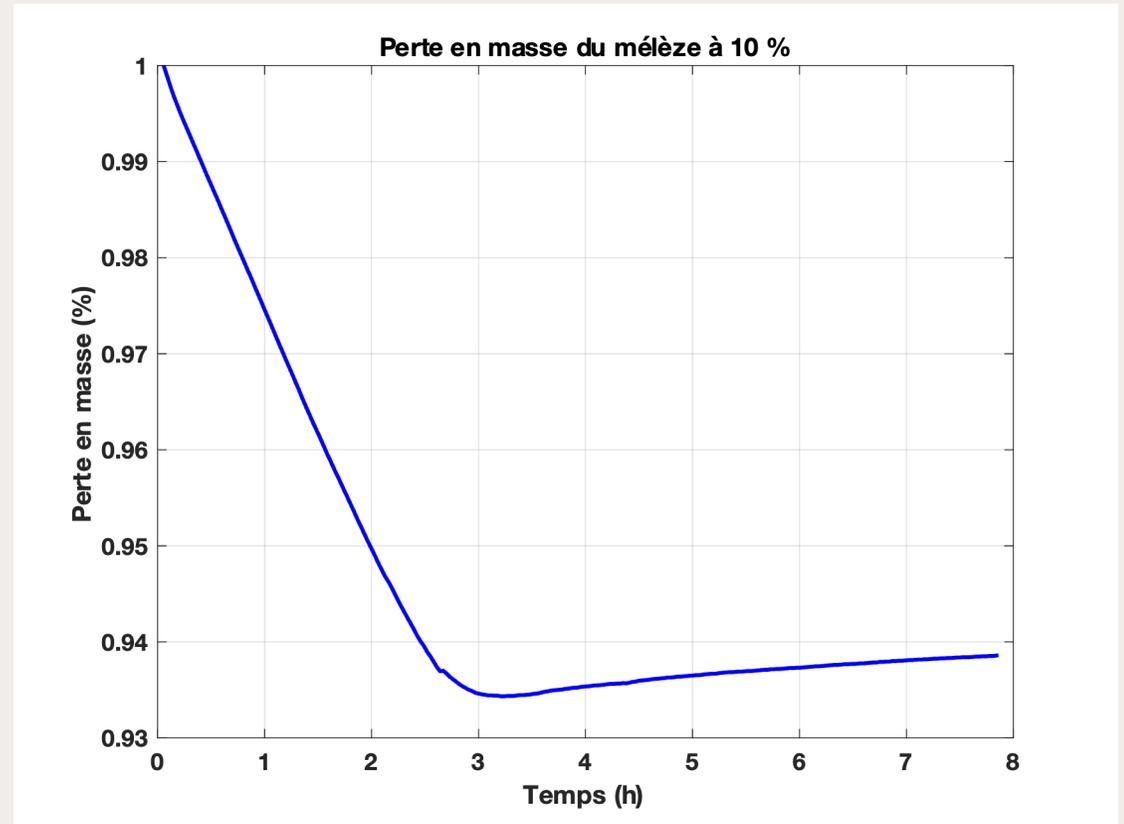
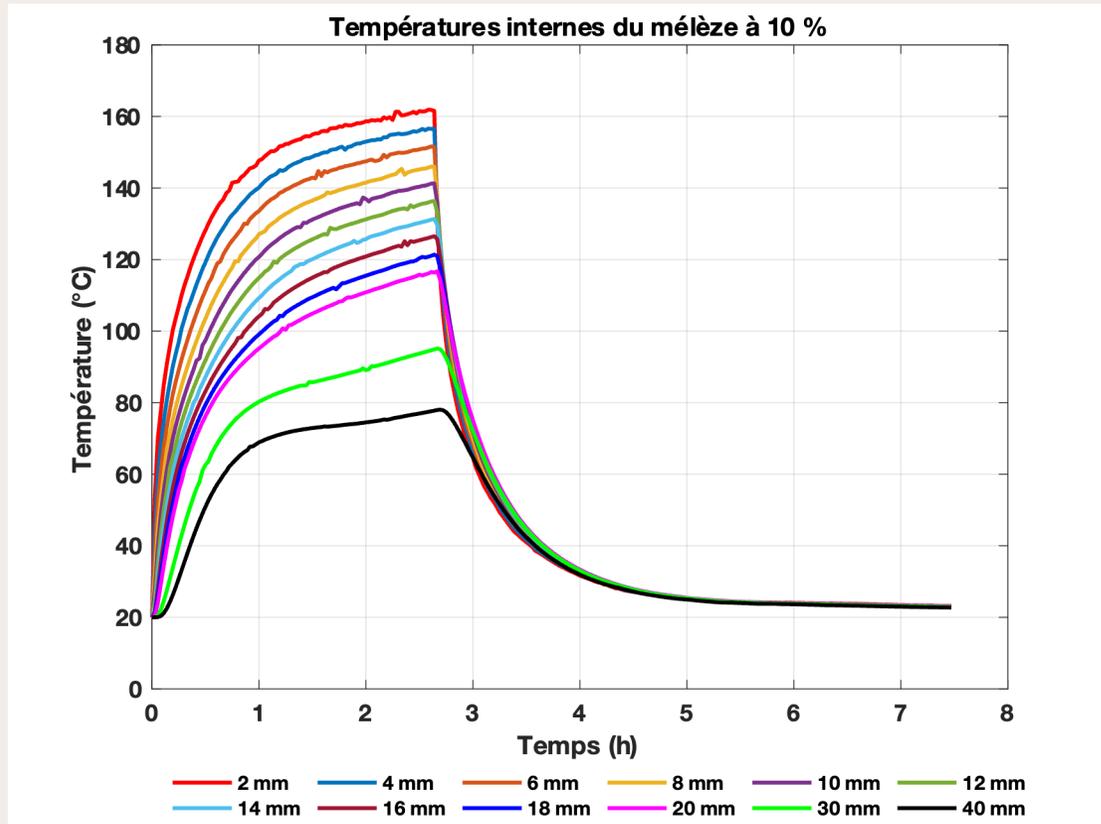
Épicéa et mélèze à 10 %



Reprise ~ 1,5 %

Températures internes et perte en masse

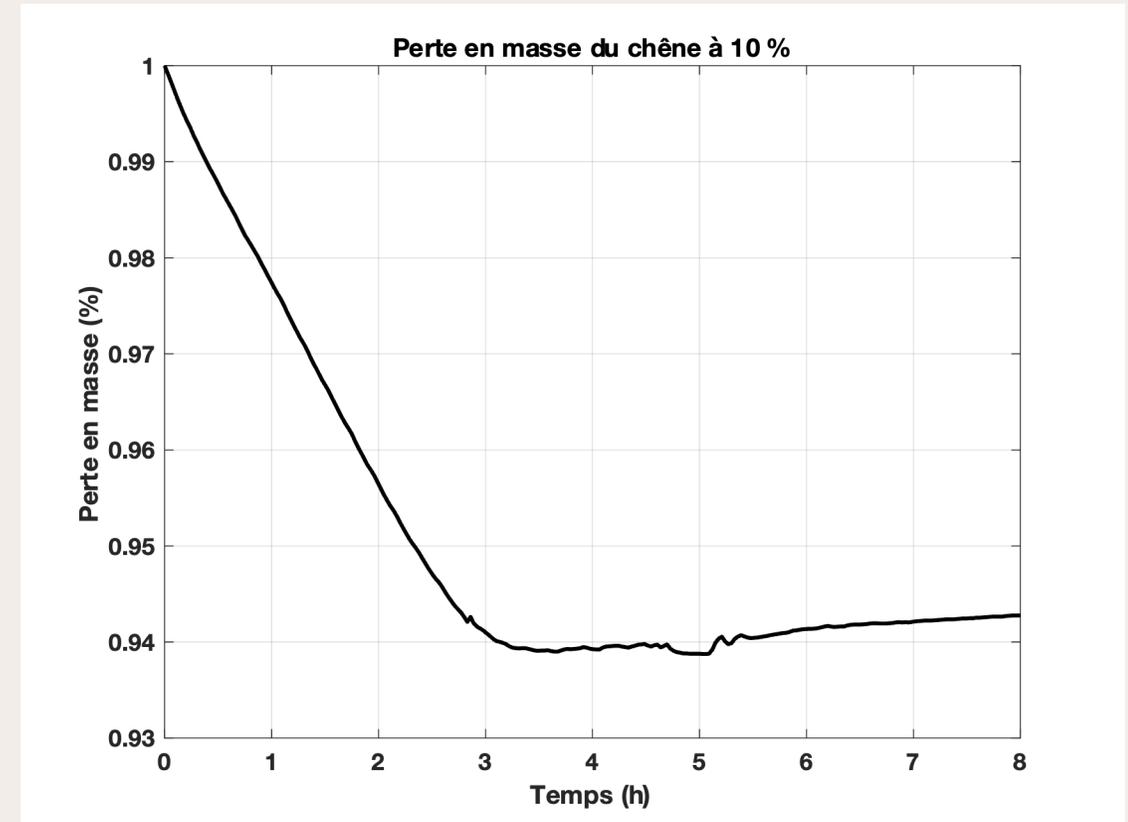
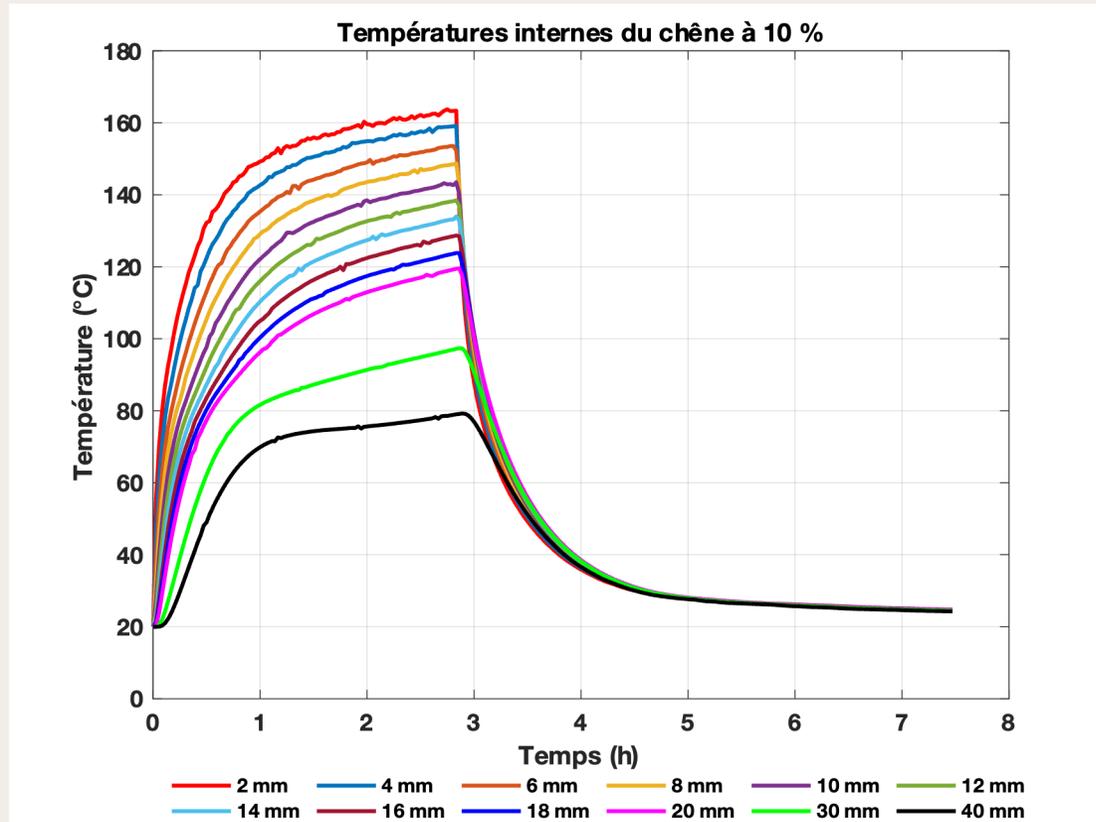
Épicéa et mélèze à 10 %



Faible reprise de masse

Températures internes et perte en masse

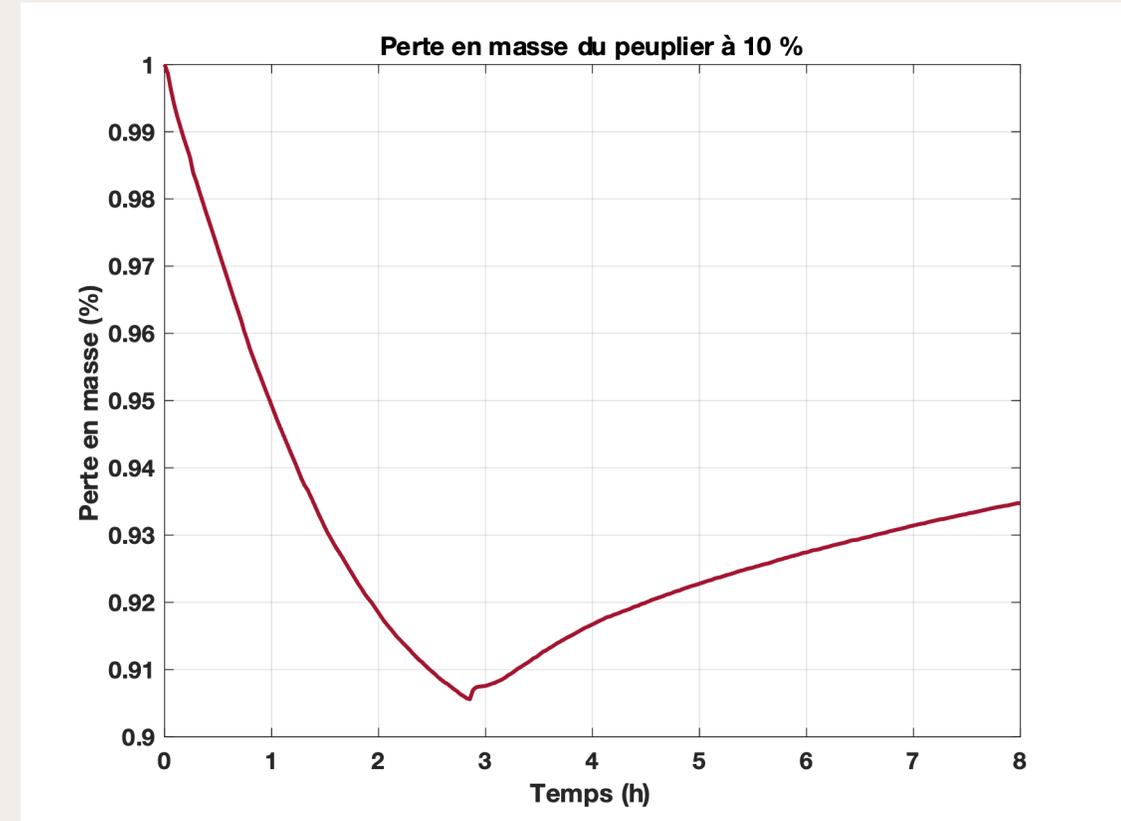
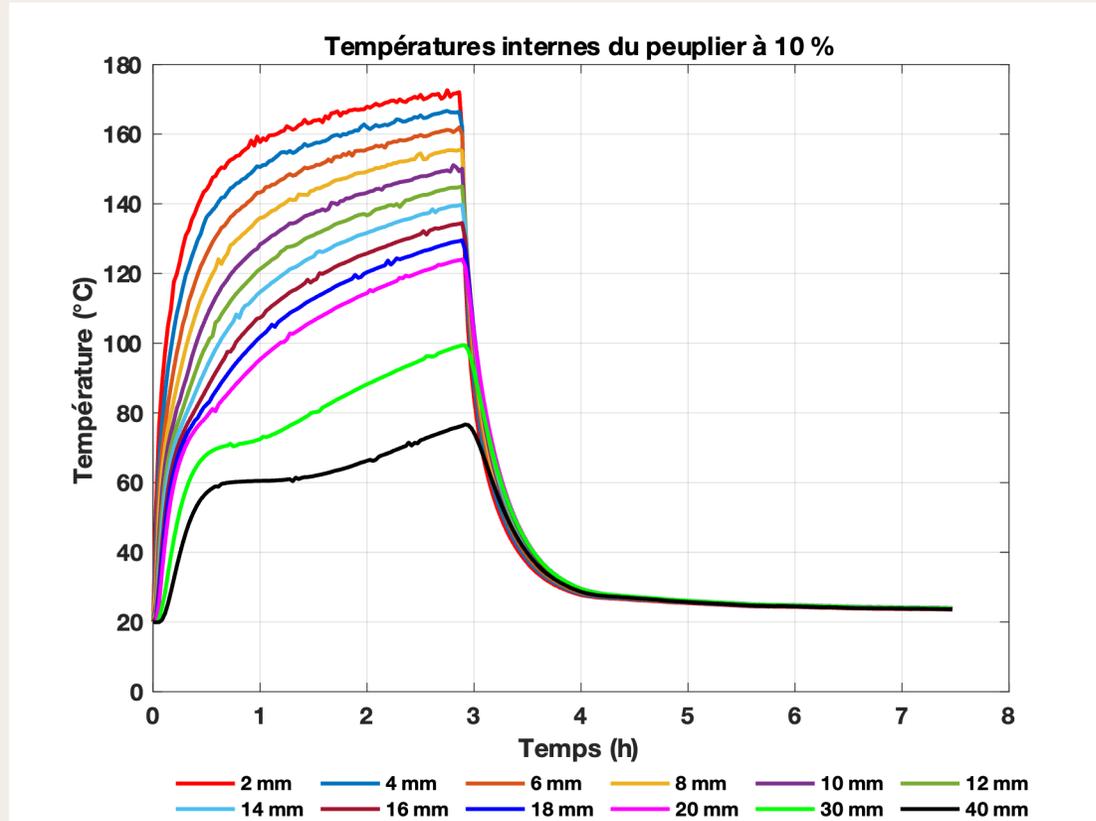
Chêne et peuplier à 10 %



Faible reprise de masse

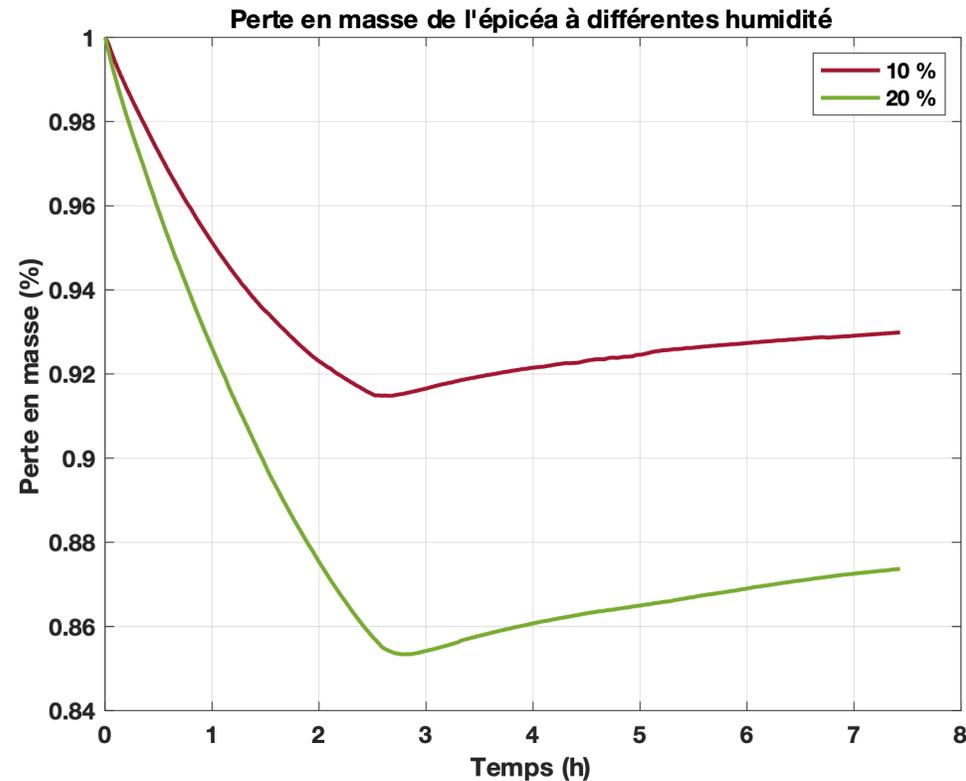
Températures internes et perte en masse

Chêne et peuplier à 10 %

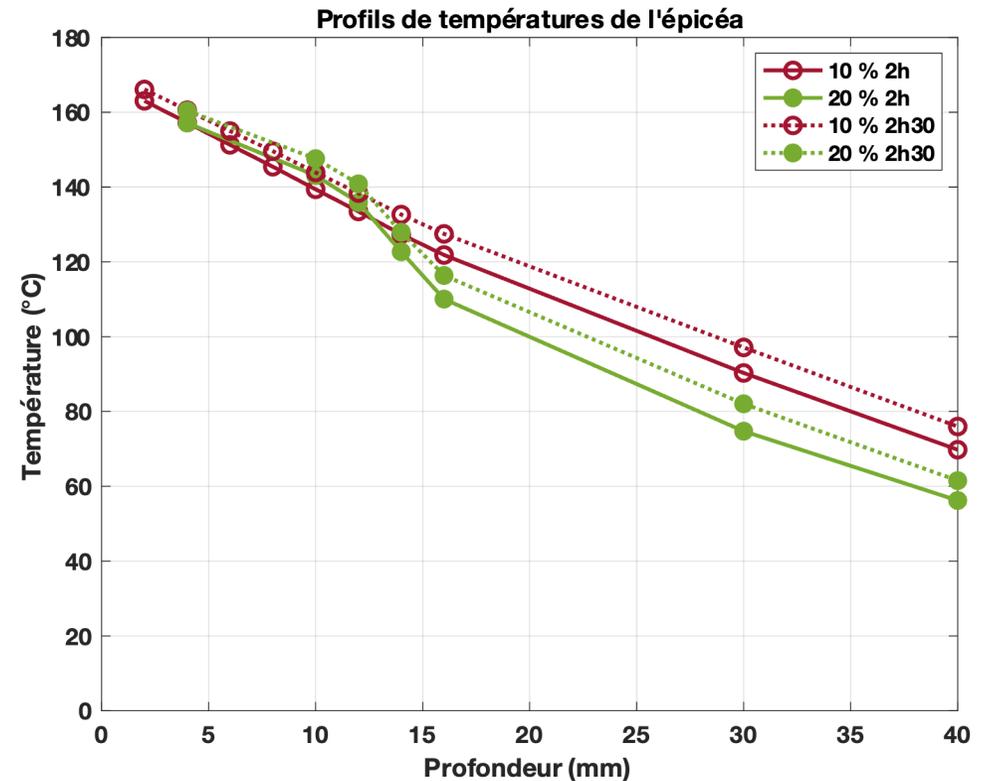


Reprise ~ 3 %

Etude thermo-hydrrique de l'épicéa à différentes hygrométries

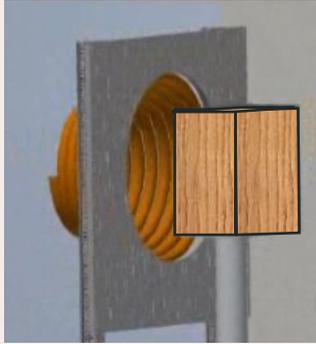


Séchage plus rapide pour une humidité plus élevée ($\sim \propto$ l'humidité initiale)

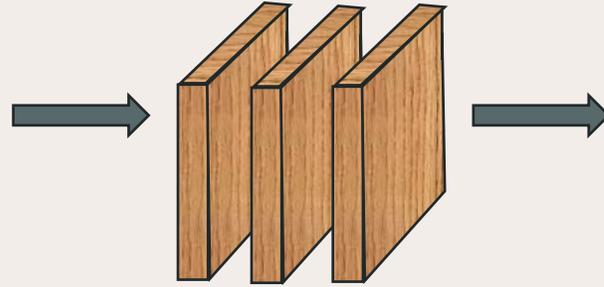


Températures plus basses à 20 % qu'à 10 %

Etude hydrique : profils d'humidité



Exposition à 4 kW/m²
30 min/1h/2h



Découpe en tranche

- Pesée immédiate des tranches après exposition
- Séchage au four
- Pesée des tranches sèches



Flux (//) aux fibres



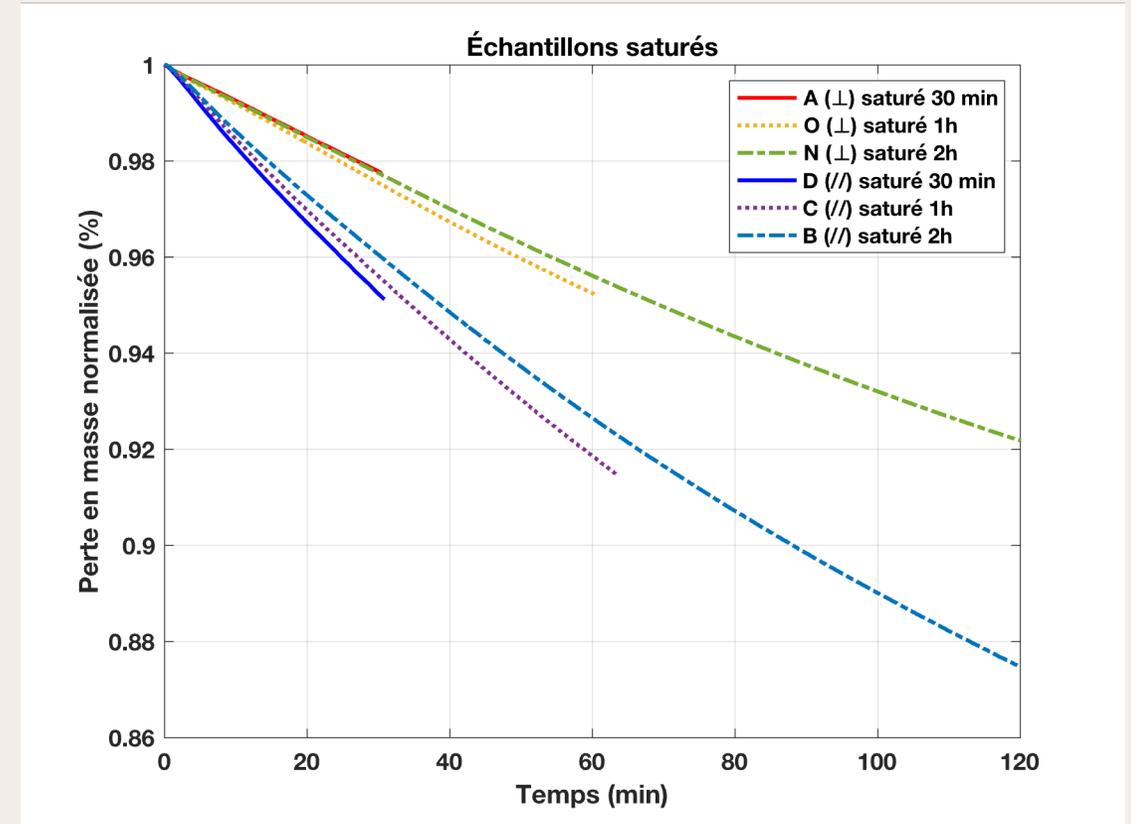
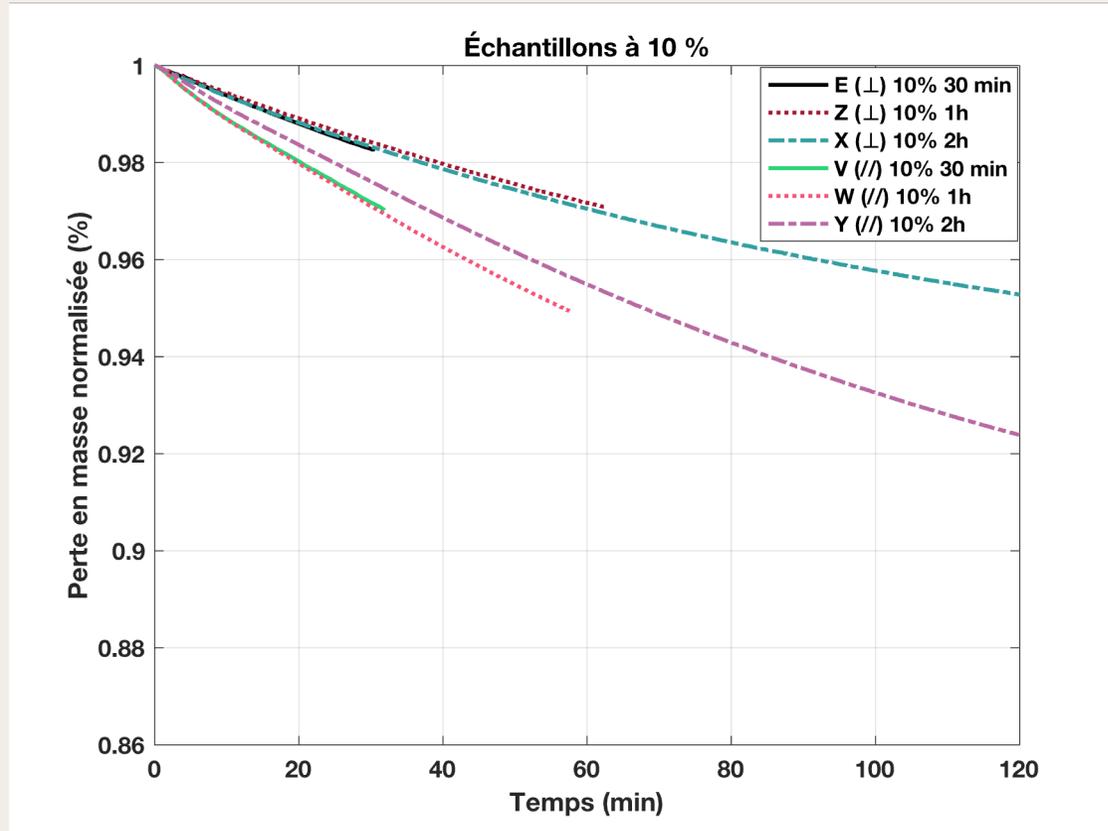
Flux (⊥) aux fibres

- 13 échantillons
- 7 échantillons saturés 30%
- 6 échantillons à 10%

Calcul de la teneur en eau

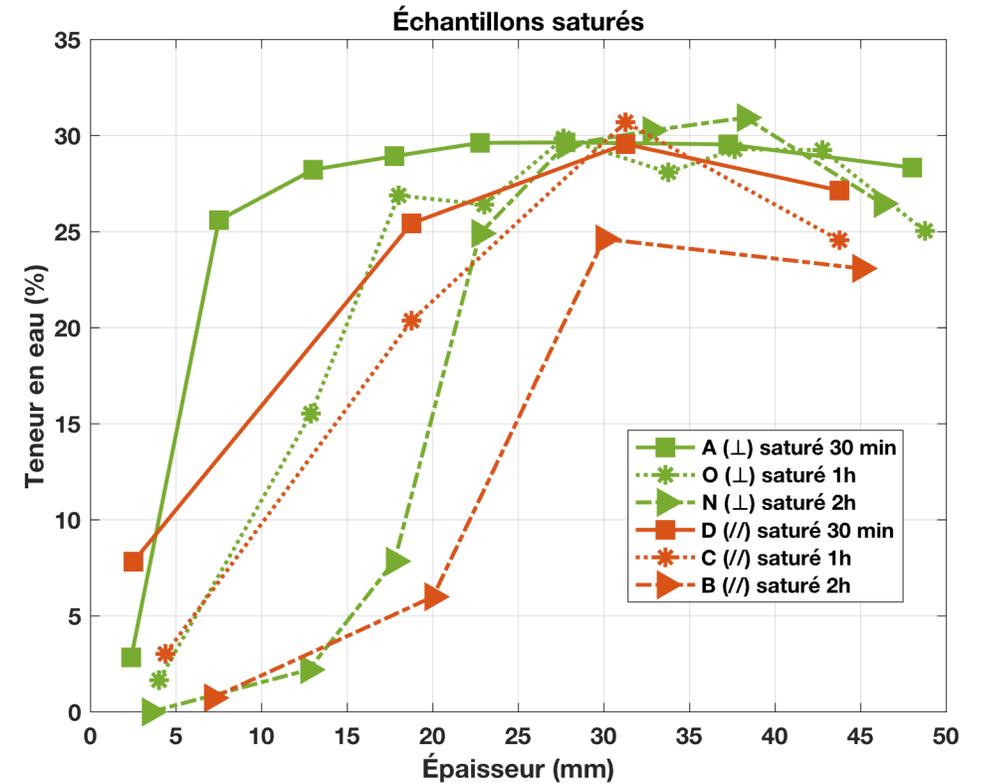
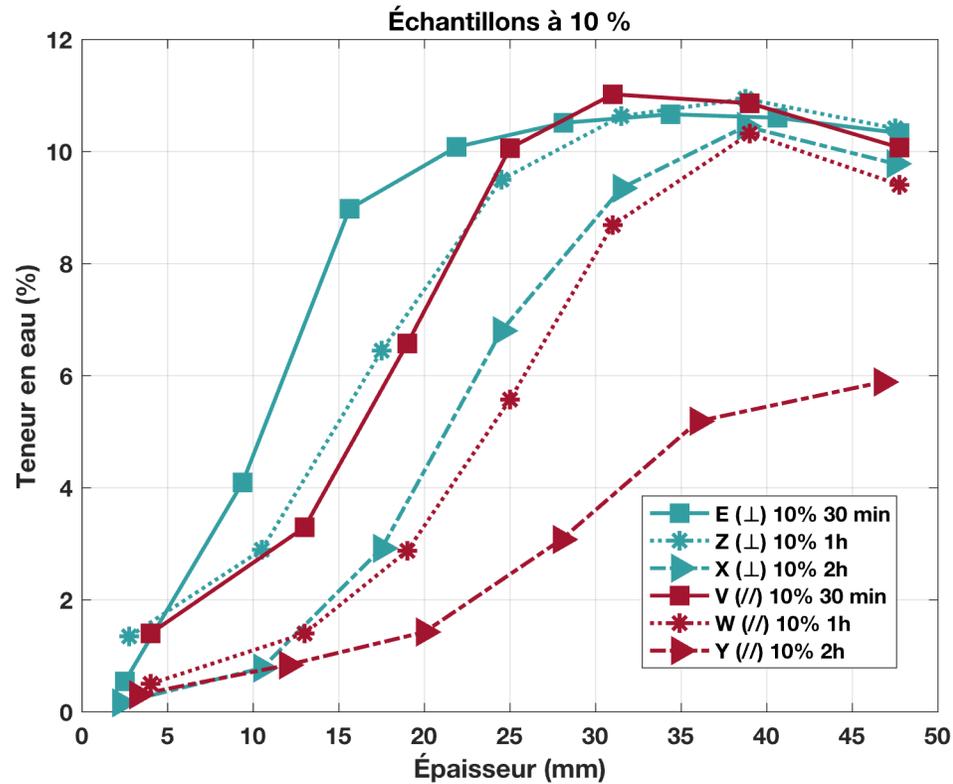
$$U = \frac{m_{eau}}{m_{anhydre}} = \frac{m_{humide} - m_{sec}}{m_{sec}}$$

Perte en masse en fonction de l'orientation des fibres



Séchage ($//$) plus rapide : ratio de 1,7 entre l'échantillon ($//$) et (\perp)
Séchage plus rapide pour une humidité initiale plus élevée

Profil de teneur en eau en fonction de l'orientation des fibres et de l'humidité initiale



Pas d'augmentation locale de la teneur en eau

Matériels et
méthodes

Études et
résultats

Conclusion
et
perspectives

Conclusions et perspectives

Conclusion

- Étude du séchage du sapin au cône calorimètre à 4 kW/m^2 : mesure des températures internes.
- Étude du séchage de 4 essences de bois au cône calorimètre à 4 kW/m^2 : mesure des températures internes et de la perte en masse, phase de refroidissement.
- Transferts de l'eau dans le bois, étude au cône calorimètre : analyse des tranches de bois d'épicéa (profils de teneur en eau).
- A priori pas de transfert hydrique sous forme liquide.

Conclusions et perspectives

Perspectives

- Compléter l'étude pour d'autres couples (humidité, orientation).
- Modélisation du transfert thermo-hydrique (collaboration avec le LRGP).
- Mesure in situ du transfert de masse par IRM, pendant le séchage (collaboration avec l'équipe transverse IRM, LEMTA).

Merci pour votre
attention