



IMT Mines Alès  
École Mines-Télécom



1

# Conférence Cast3m

CONFIGURATION D'UNE LOI DE COMPORTEMENT POUR LA  
MODÉLISATION PAR ÉLÉMENTS FINIS DE POUTRES BOIS LAMELLÉ COLLÉ

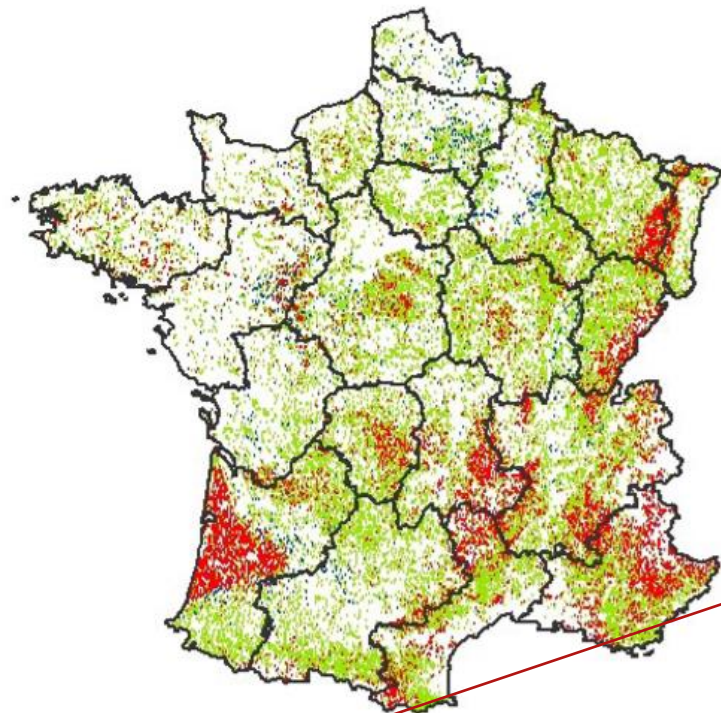


# Préambule

- ▶ De mars à juillet 2021, sujet de projet de fin d'étude : modélisation de poutres BLC de feuillus en flexion
- ▶ FCBA : Centre technique industriel pour le développement de la filière bois en France (certifications, normalisation, recherche privée et recherche collective)



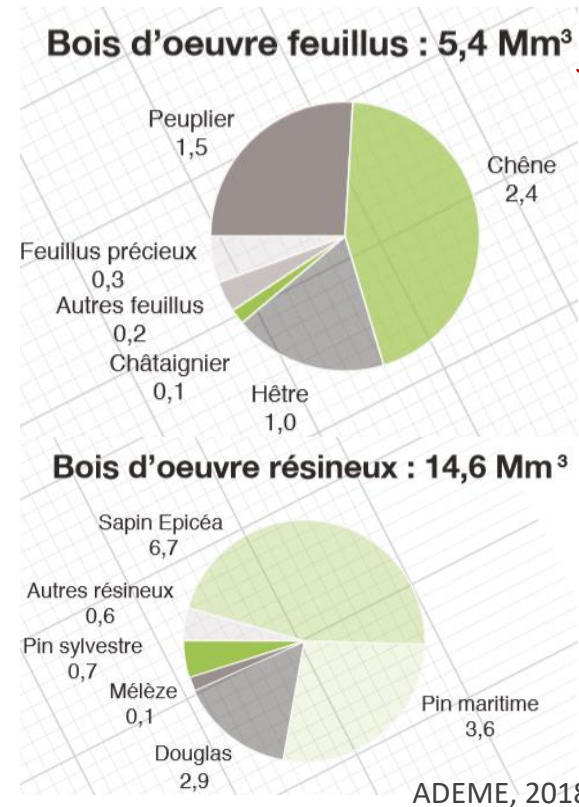
# I/ i. Contexte



$\frac{3}{4}$  de la surface boisée

- Essences feuillues dominantes
- Essences résineuses dominantes
- Peuplier

ADEME, 2018



$\frac{1}{4}$  du bois utilisé en construction

# I/ ii. Objectifs

Basé sur la méthode des éléments finis et des résultats d'essais réalisés par le FCBA :

Objectif scientifique : Prédire les performances d'une poutre BLC de feuillus

Besoin du FCBA : éviter de casser 30 poutres, économies



*Avant rupture*



*Après rupture*



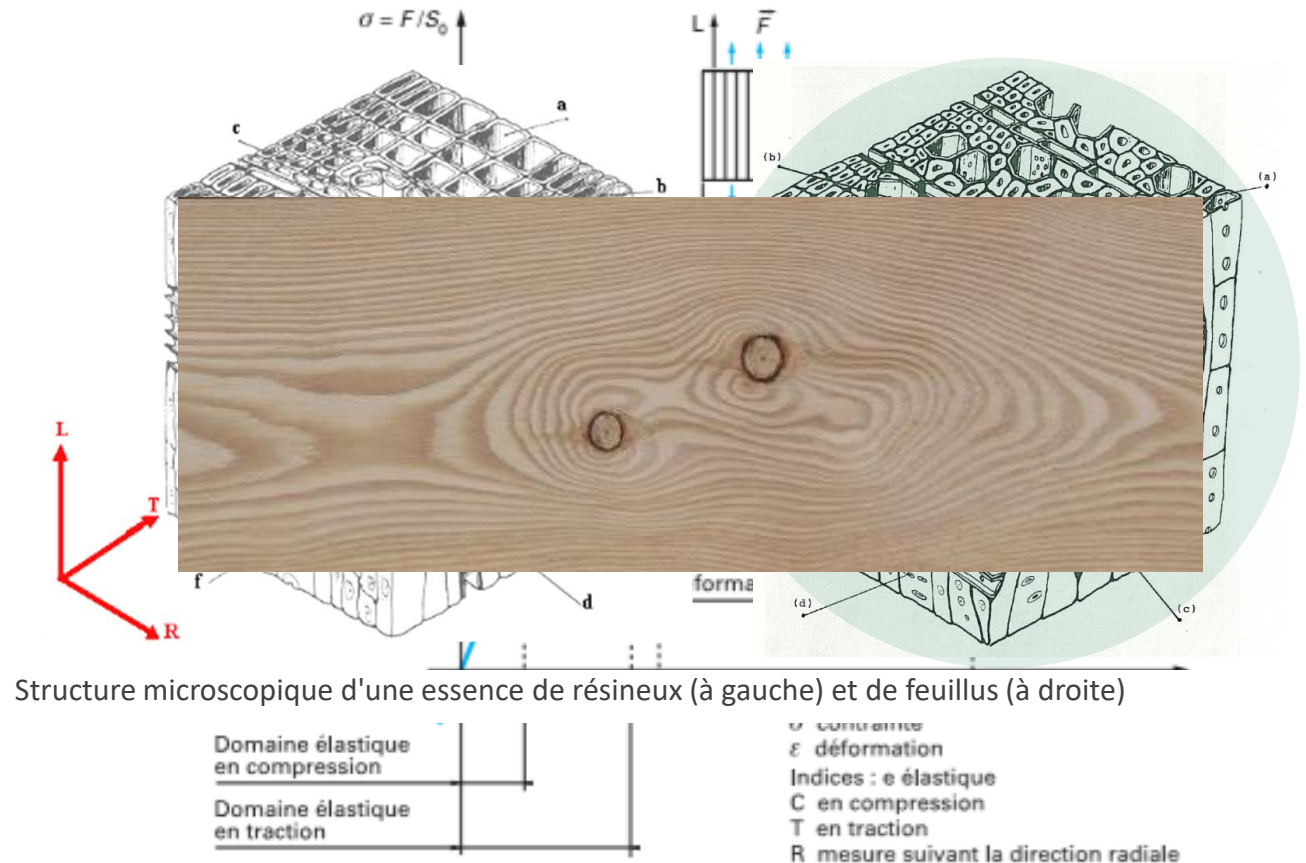
# I/ iii. Comportements mécaniques

Chez les feuillus :

- ▶ Fibres plus courtes et parois plus épaisses
- ▶ Densité importante
- ▶ Grande variabilité des propriétés

A noter :

- \* Existence de défauts
- \* Différence de comportement en traction et en compression



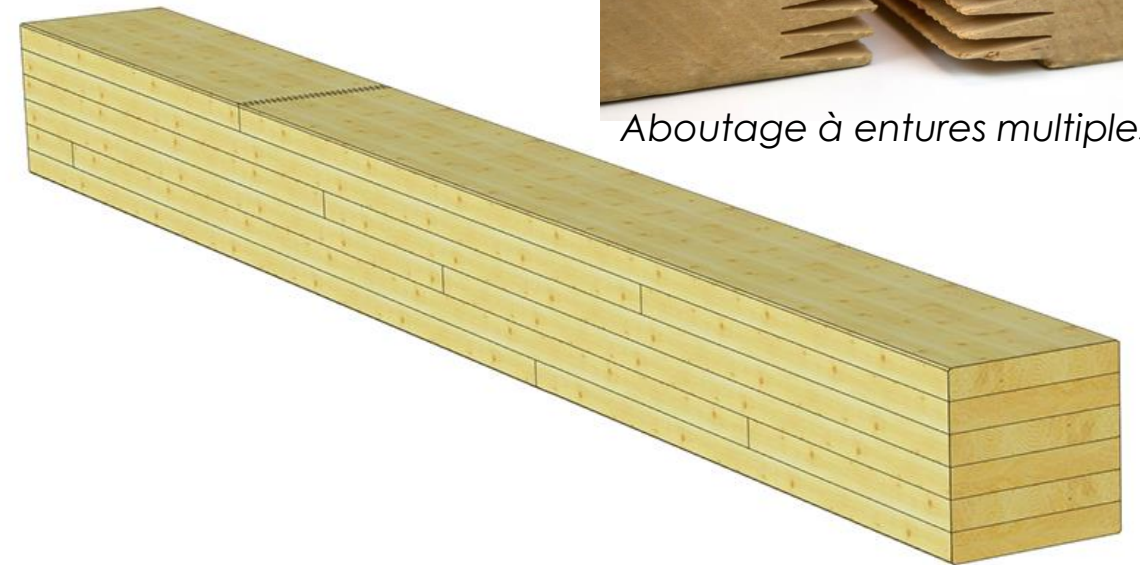
Courbe de contraintes - déformations singulière du bois parfait dans le sens longitudinal

# I/ iv. Les poutres de bois lamellé collé

- ▶ Assemblage de plusieurs lamelles de bois sur la longueur et la hauteur
- ▶ Intérêt : permettre de réduire la variabilité pour augmenter la performance globale
  - Le coefficient de variation calculé diminue jusqu'à 80% pour le module d'élasticité et entre 20% et 40% pour la résistance en flexion



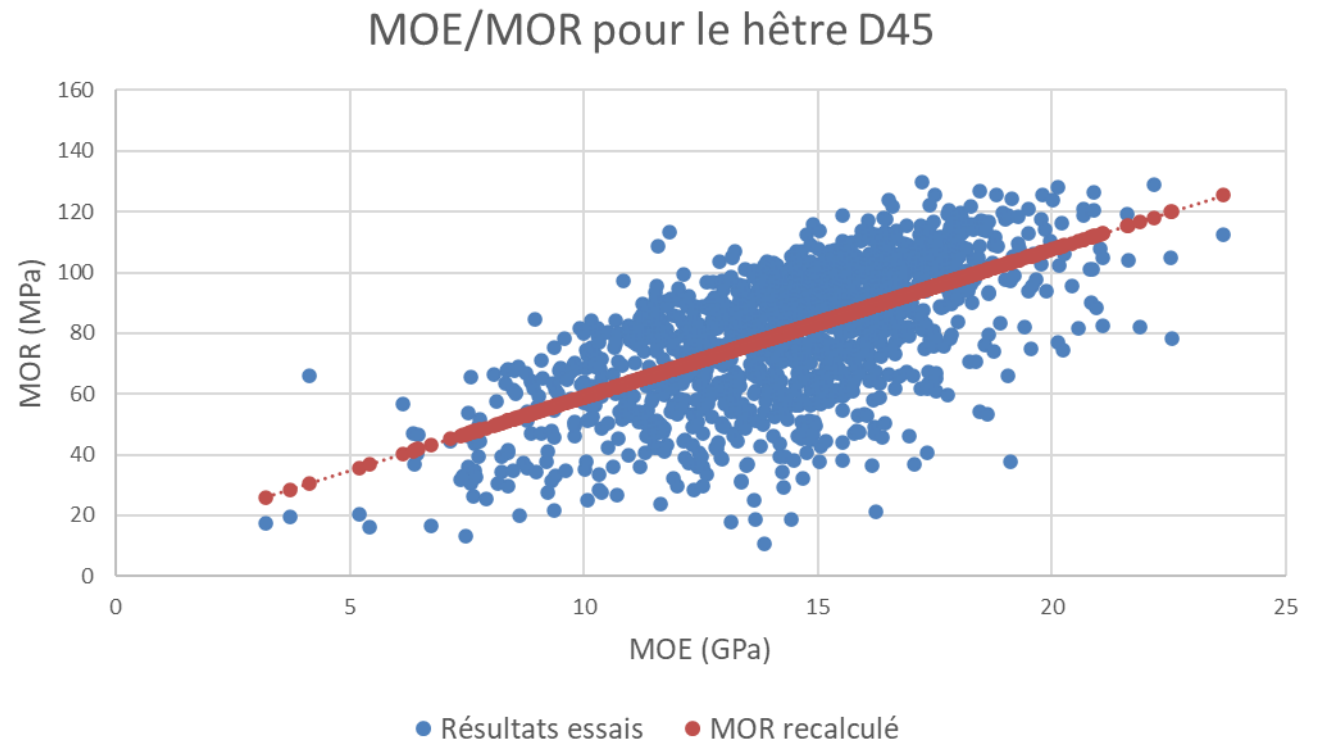
*Aboutage à entures multiples*



*Poutre en bois lamellé collé*

## II/ i. Intégration de la variabilité

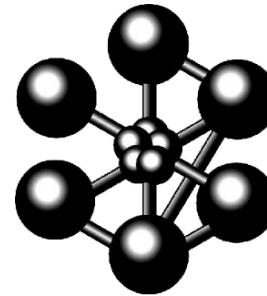
- ▶ Tirée d'essais expérimentaux pour 4 essences de feuillus
- ▶ Dépendance MOE/MOR à partir d'une relation établie



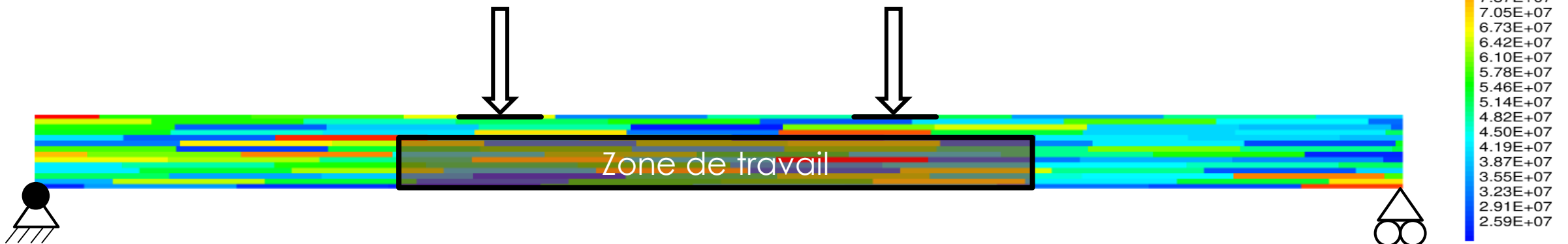
MOE : Module d'élasticité longitudinale - MOR : Module de rupture en flexion

## III/ i. Modèle éléments finis

- ▶ Utilisation du logiciel Cast3m
- ▶ 2 dimensions : problème axisymétrique
- ▶ Éléments quadrangles
- ▶ Petites déformations



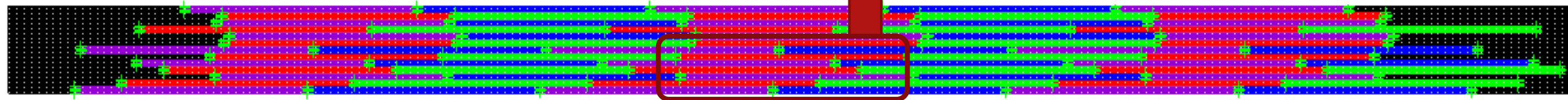
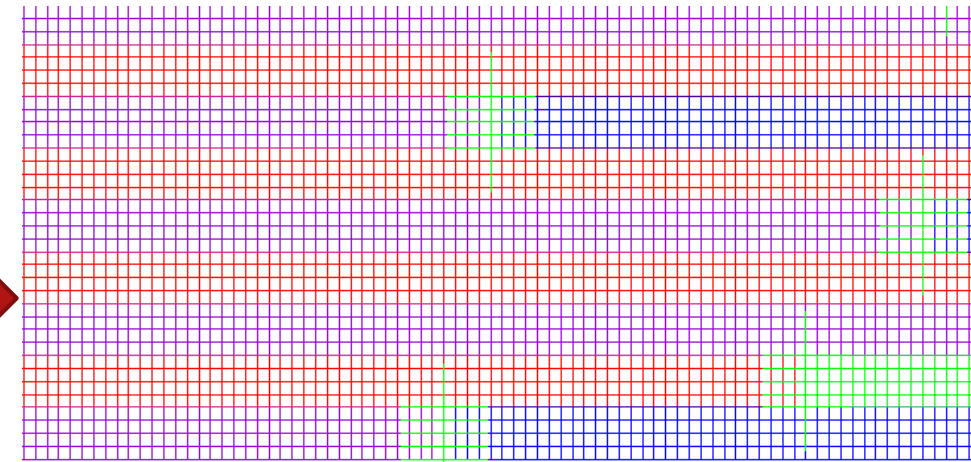
Modélisation du dispositif d'essai de la norme EN 408 – Flexion 4 points





## III/ i. Modèle éléments finis

- ▶ Aboutages distribués aléatoirement, poutres modélisées uniques
- ▶ 3 à 4 éléments dans l'épaisseur d'une lamelle  
Pour une poutre de 5m avec 13 lamelles dans la hauteur : 54 000 éléments (55 000 nœuds) de 5mm d'épaisseur



## III/ ii. Hypothèses matériau

Hypothèses retenues :

- Matériau isotrope élastique
- Modélisation des aboutages
- Rupture lorsque l'endommagement dépasse un seuil sur toute la hauteur d'une lamelle

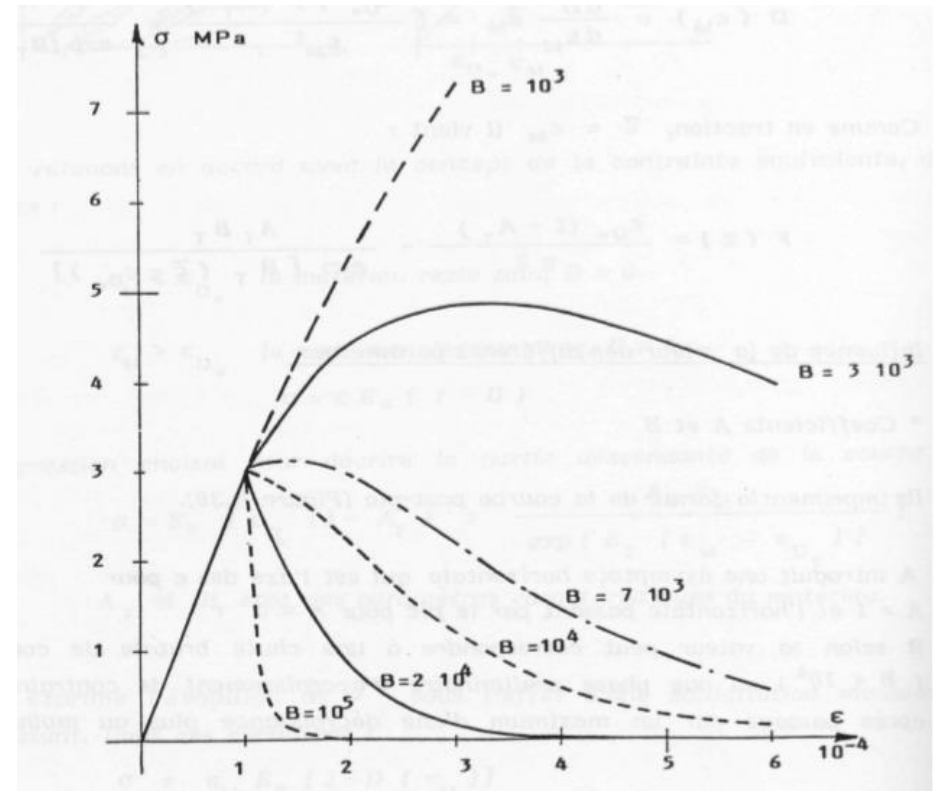
## III/ iii. Endommagement

Intégration d'un endommagement de Mazars

$$\sigma = (1 - D)E\varepsilon$$

Rupture quand  $D > 0,9$

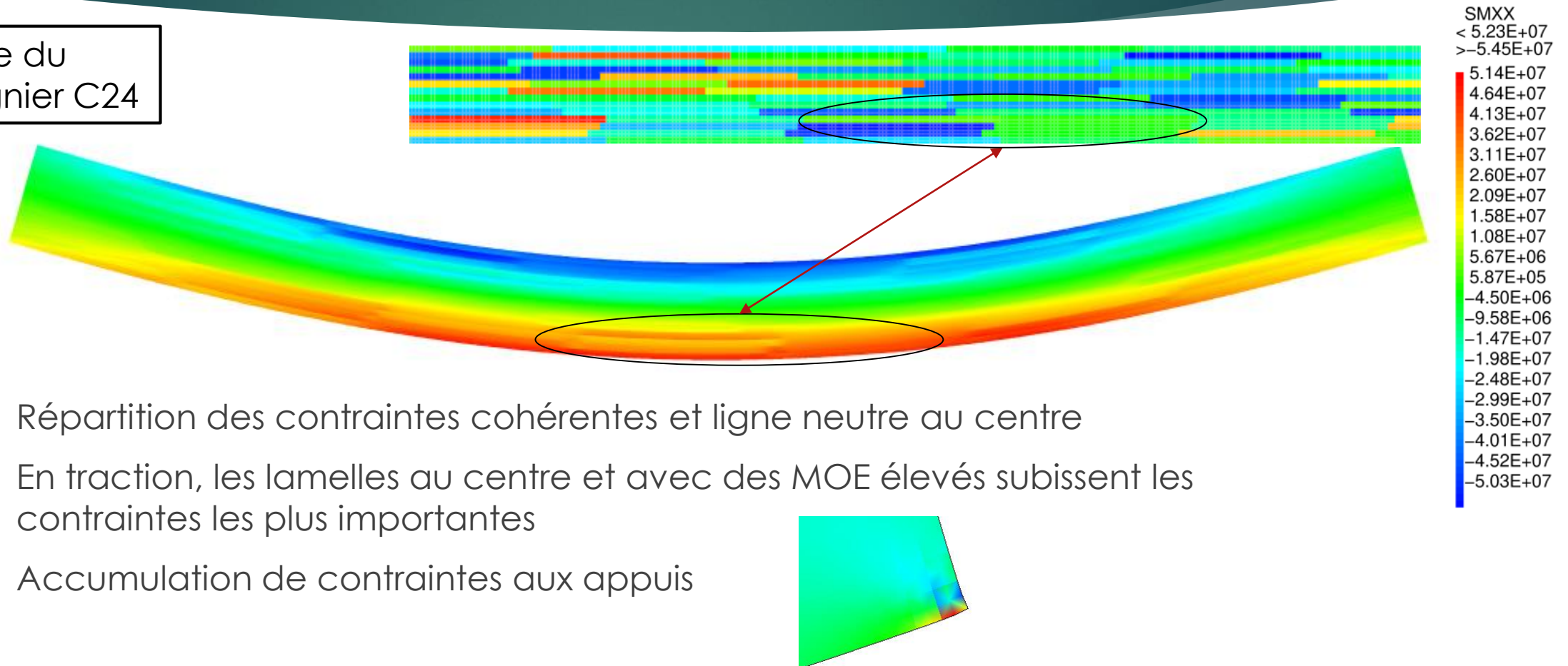
Paramètres de l'endommagement de Mazars :  
la contrainte résiduelle et un indice de fragilité



*Influence de l'indice de fragilité*

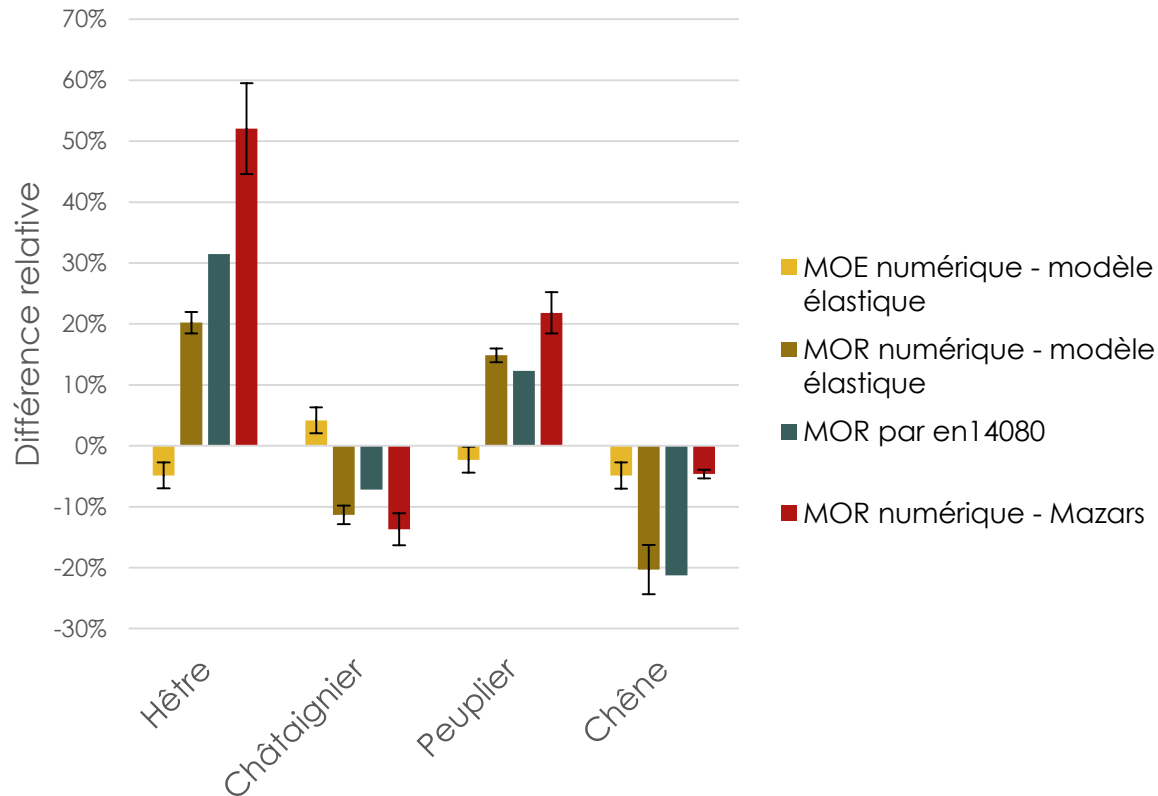
# IV/ i. Résultats obtenus

Exemple du châtaignier C24



## IV/ ii. Résultats obtenus

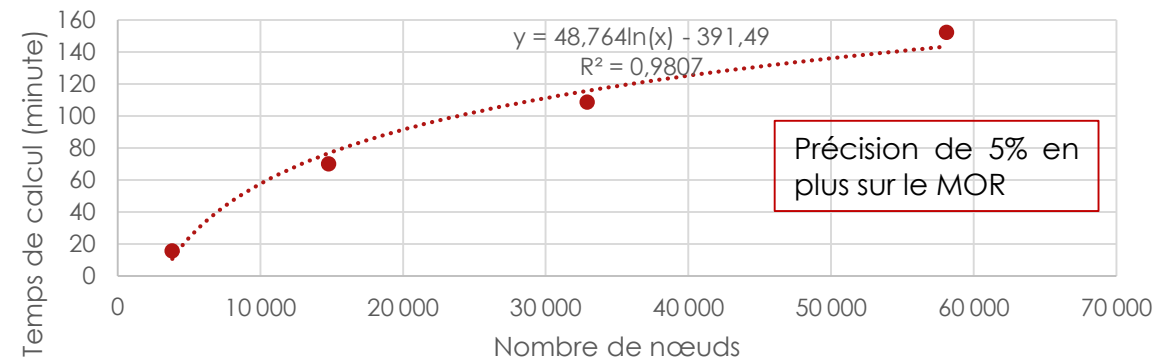
Différence relative entre expérimental et numérique



Comparaison de la résistance à rupture des poutres de châtaignier

	Expérimental	Elastique	Sans nœuds	Avec nœuds
<b>Moyenne</b>	36,89	29,79	29,63	25,45
<b>Coefficient de variation</b>	16,88%	13,46%	13,69%	17,90%
<b>Caractéristique</b>	25,00	22,13	22,08	16,97

Temps de calcul modèle complet



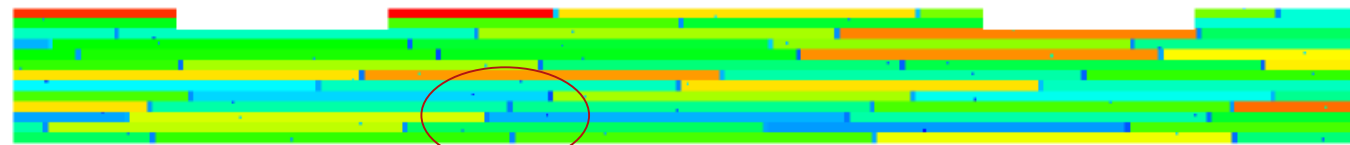
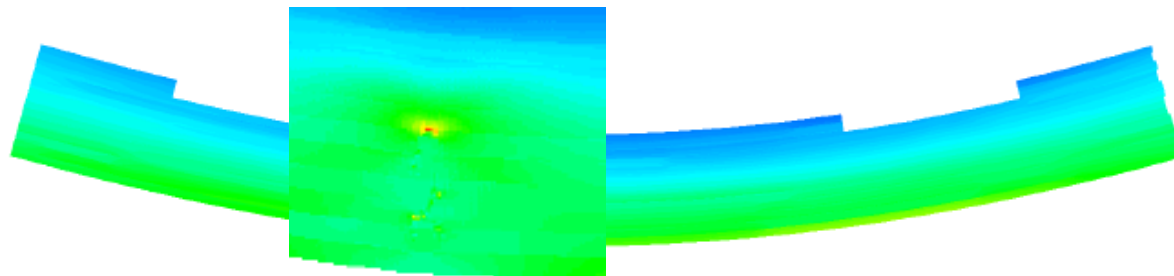


# IV/ iii. Faciès de rupture

Faciès de rupture obtenu avec le **hêtre** et la prise en compte **d'aboutages** et de **nœuds**

SMXX  
 $\wedge$  1.38E+08  
 $\gamma$  -7.25E+07

1.36E+08  
 1.26E+08  
 1.16E+08  
 1.06E+08  
 9.61E+07  
 8.60E+07  
 7.60E+07  
 6.60E+07  
 5.60E+07  
 4.60E+07  
 3.60E+07  
 2.60E+07  
 1.60E+07  
 5.96E+06  
 -4.05E+06  
 -1.41E+07  
 -2.41E+07  
 -3.41E+07  
 -4.41E+07  
 -5.41E+07  
 -6.41E+07



SCAL  
 $<$  1.31E+08  
 $>$  2.94E+07

1.30E+08  
 1.25E+08  
 1.20E+08  
 1.15E+08  
 1.11E+08  
 1.06E+08  
 1.01E+08  
 9.61E+07  
 9.13E+07  
 8.65E+07  
 8.16E+07  
 7.68E+07  
 7.20E+07  
 6.72E+07  
 6.23E+07  
 5.75E+07  
 5.27E+07  
 4.79E+07  
 4.30E+07  
 3.82E+07  
 3.34E+07



D  
 $<$  1.24E+00  
 $>$  -3.42E-01

1.2  
 1.2  
 1.1  
 1.0  
 0.93  
 0.78  
 0.70  
 0.63  
 0.55  
 0.48  
 0.40  
 0.32  
 0.25  
 0.17  
 9.86E-02  
 2.32E-02  
 -5.23E-02  
 -0.13  
 -0.20  
 -0.28



# Conclusion

## ▶ Obtenus

- ❖ Création aléatoire d'une poutre
- ❖ Prise en compte de la variabilité
- ❖ Intégration de l'endommagement
- ❖ Discussion sur les résultats

## ▶ A faire

- ❖ Amélioration de l'endommagement
- ❖ Prendre en compte les résistances des lamelles sur la résistance de l'aboutage
- ❖ Variabilité intra-lamelles
- ❖ Travail sur la représentation des nœuds
- ❖ Ajout de joints dans la hauteur entre les lamelles
- ❖ Autres paramètres à prendre en compte (densité par exemple)

# Merci pour votre attention !

AVEZ-VOUS DES QUESTIONS OU DES REMARQUES ?



Hub créativité d'IMT Mines  
Alès terminé en 2021