

---

# Caractérisation non destructive de la proportion de carie et du module d'élasticité du bois d'érable à sucre par tomographie acoustique

---

**Présenté par :** Achraf Ammar

**Directeur :** Ahmed Koubaa (UQAT)

**Co-directeurs :** Yves Bergeron (UQAT/UQAM)

Dorra Gassara (ENIS)

**En collaboration avec :** Pierre Grondin (DRF)

Le 22 février 2022



# PLAN DE L'EXPOSÉE

**1**

**COTEXTE ET PROBLÉMATIQUE**

**2**

**MATÉRIELS ET MÉTHODES**

**3**

**RÉSULTATS ET DISCUSSION**

**4**

**CONCLUSION**

# 1. COTEXTE ET PROBLÉMATIQUE

---

## L'érable à sucre (*ACER SACCHARUM MARSH.*)

- Poids économique, écologique (L'état des forêts au Canada, Rapport annuel 2020):
  - 347 million hectares sur les forêts canadiennes ;
  - Revenus des biens fabriqués 65,23 Milliards de dollars.
- Bois lourd, solide, rigide, dur et résistant aux chocs (Ross 2010)
- Bois très prisé pour son apparence et ses qualités esthétiques
- Utilisé pour des applications d'apparence (meubles, plancher) et structurales (LVL)



# 1. COTEXTE ET PROBLÉMATIQUE

---

Les érables à sucre sont exposés à divers agents pathogènes en provoquant habituellement des pertes du bois sain inférieures à 40%, causés principalement par les champignons de carie blanche.



# 1. COTEXTE ET PROBLÉMATIQUE

---

➤ **L'existence de la carie dans les érables provoque :**

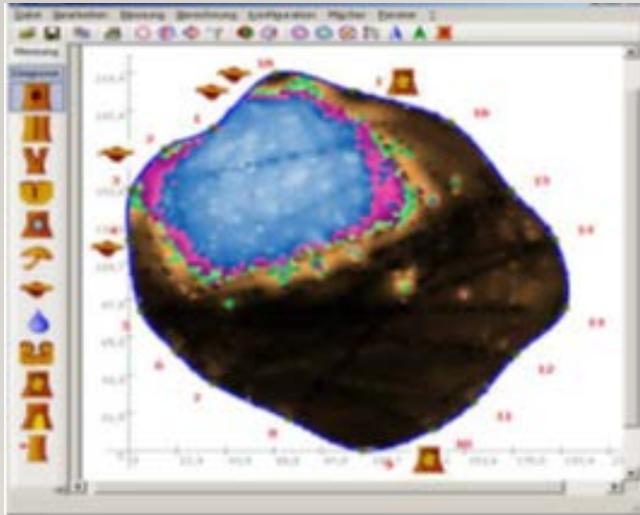
- Une diminution considérable de la qualité des peuplements de seconde venue ;
- Un développement des défauts de dégradation et l'affaiblissement structurelle des arbres ;
- Une variation des propriétés mécaniques et physiques du bois.

➔ Les utilisateurs du bois sont confrontés à des difficultés au niveau de la variation de la qualité du bois qui provoque à son tour une complexité lors de la transformation du bois en produit de qualité.

# 1. COTEXTE ET PROBLÉMATIQUE

## Tomographie acoustique

- Cette technique consiste à monter un certain nombre de capteurs (selon le diamètre) sur le pourtour d'une section transversale du tronc de l'arbre
- Permet de mesurer les vitesses de propagation des ondes sonores dans le bois



- Les ondes sonores traversant le bois pourri se déplacent plus lentement que les ondes traversant le bois massif



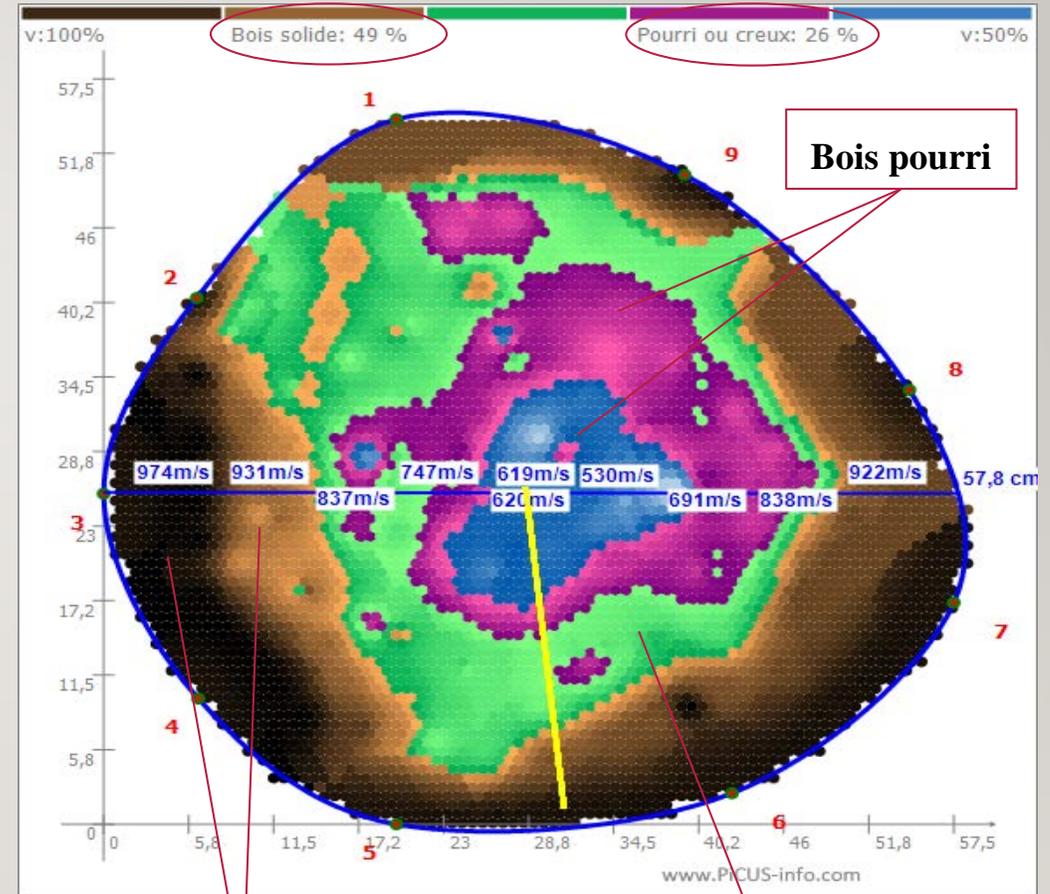
Permet de détecter les foyers de pourriture et des cavités dans les arbres **avant abattage**

# 1. COTEXTE ET PROBLÉMATIQUE

- Permet de fournir un tomogramme avec un maillage de différente couleur indiquant la présence ou non des cavités ou des foyers de pourriture à l'intérieur de l'arbre:
- Permet de quantifier la proportion de la carie

**Peu d'études ont examiné le potentiel de cette méthode pour :**

- Mesurer les différentes propriétés mécaniques du bois comme **le module d'élasticité dynamique (MOED)**
- Évaluer l'effet de la carie détectée sur ces propriétés



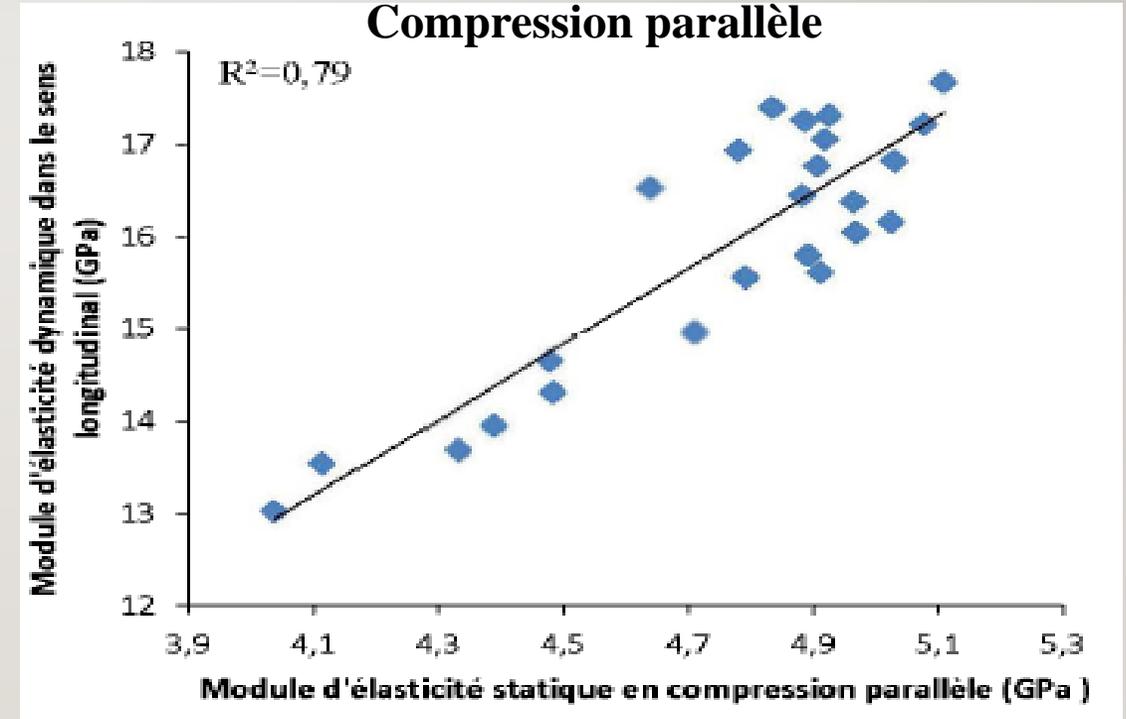
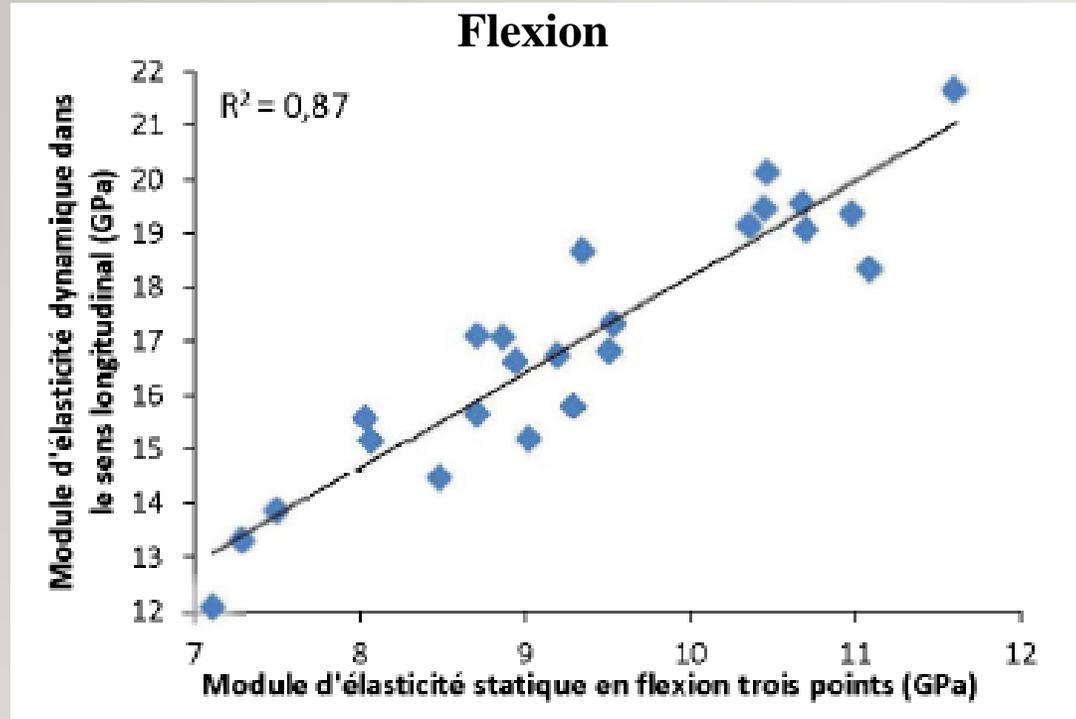
Bois sain

Bois de transition

# 1. COTEXTE ET PROBLÉMATIQUE

## Module d'élasticité dynamique

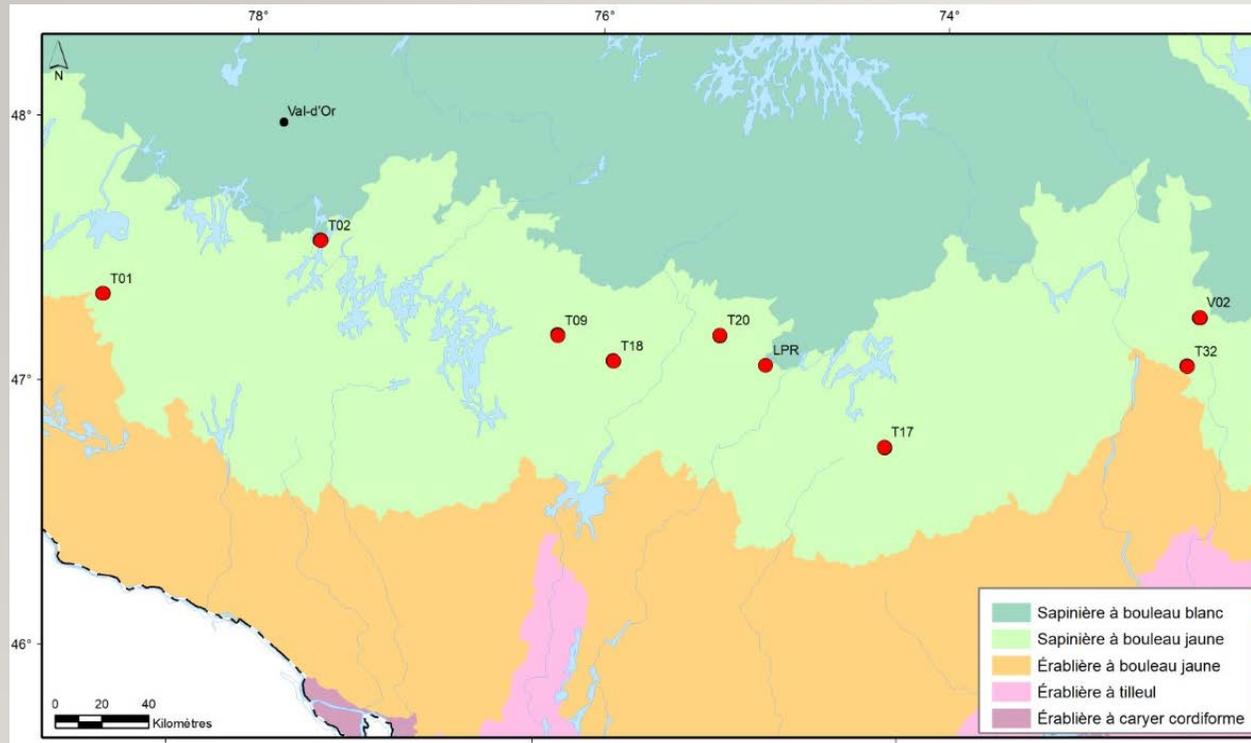
$$\text{MOED} = \rho \times V^2$$



Épinette noire (Bouhajja 2015)

## 2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

### ➤ Sites d'études



Deux types d'échantillonnage :

- 1) **Échantillonnage non-destructif** : 53 arbres debout.
- 2) **Échantillonnage destructif** : 18 billes.

## 2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

### ➤ Caractérisation des arbres debout



Tomographie  
acoustique

➔ La proportion de la carie

➔ Les vitesses de propagation  
des ondes sonores (V)

➔ La masse volumique ( $\rho$ )

Module d'élasticité  
dynamique  
 $MOED = \rho \times V^2$

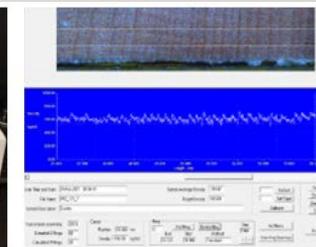
Prélèvement de deux  
carottes

Préparation des  
carottes

Densitomètre à  
rayon X



- Réduire leur épaisseur à 1,57 mm
- Enlever les substances extractibles



## 2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

### ➤ Caractérisation des billes

Évaluation non destructive

Tomographie acoustique

Méthode d'ultrason

Module d'élasticité dynamique  
MOED

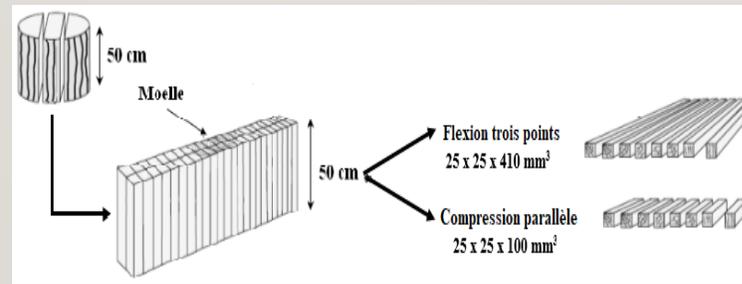
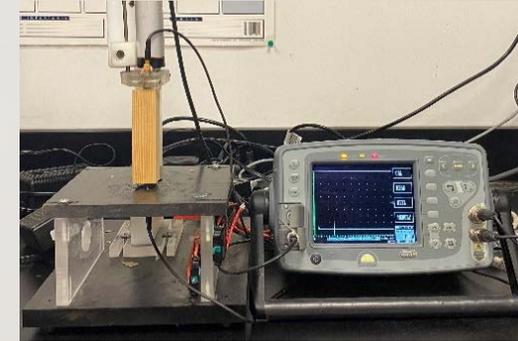
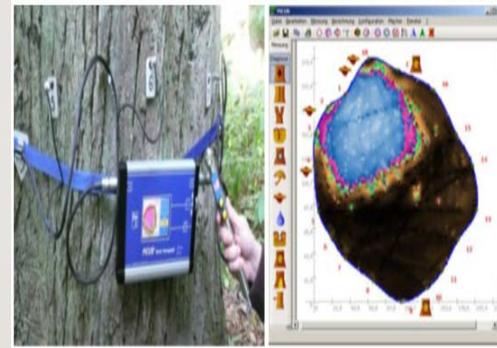
Évaluation destructive

-Préparation des éprouvettes  
-Mesure de leurs masse volumique

Appareil d'essais universel de marque Zwick

Module d'élasticité statique

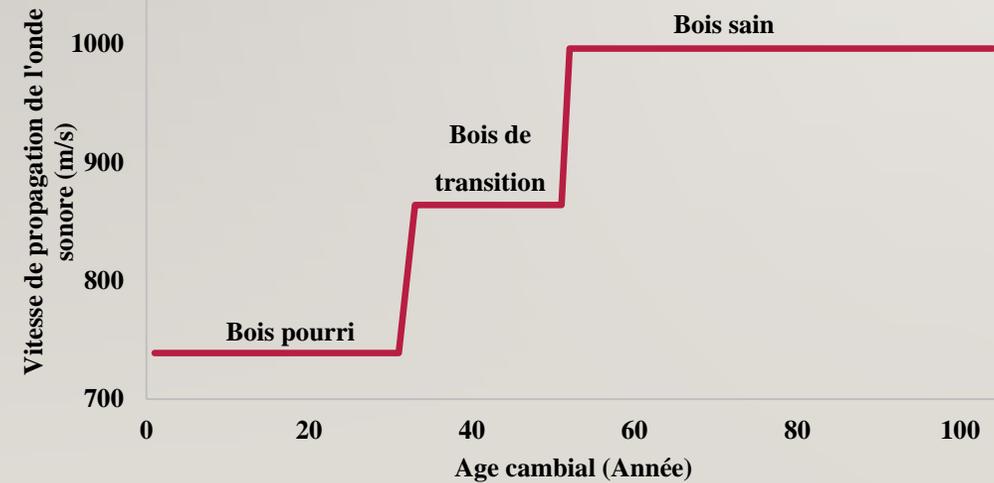
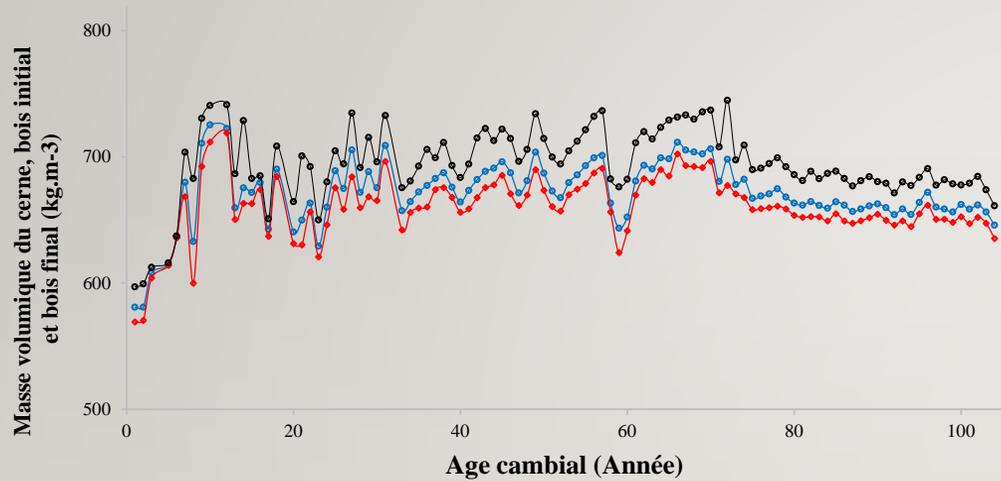
- Compression parallèle ( $E_L$ )
- Flexion trois points (MOE)



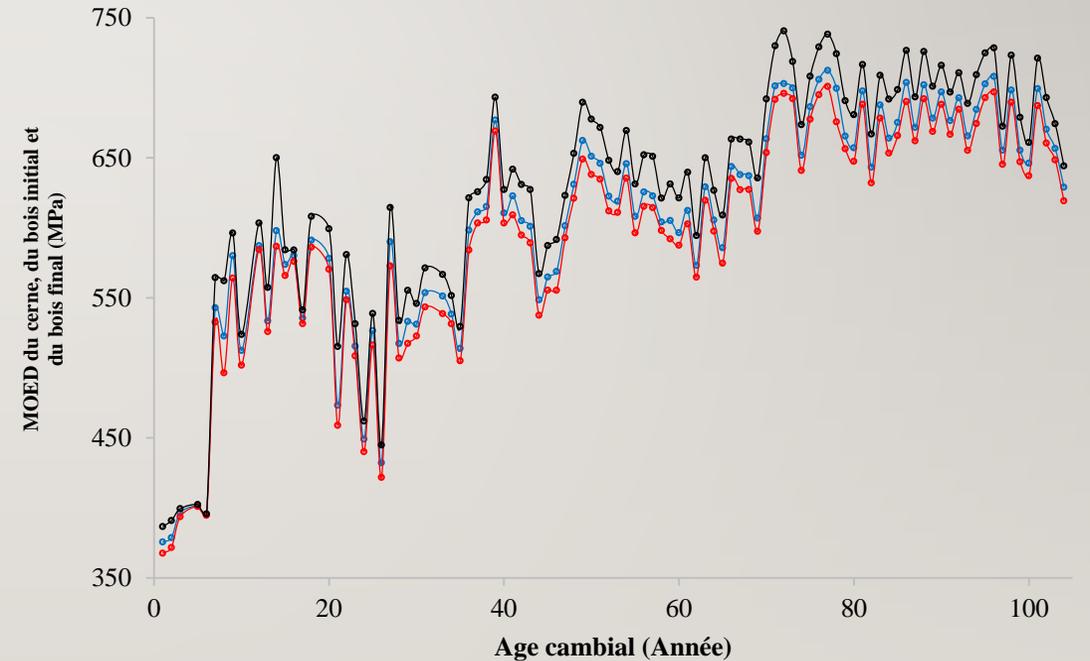
# 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

## ➤ Variation radiale de la masse volumique et du MOED du cerne, du bois initial et du bois final

—●— Densité du cerne    —●— Densité du bois initial    —●— Densité du bois final



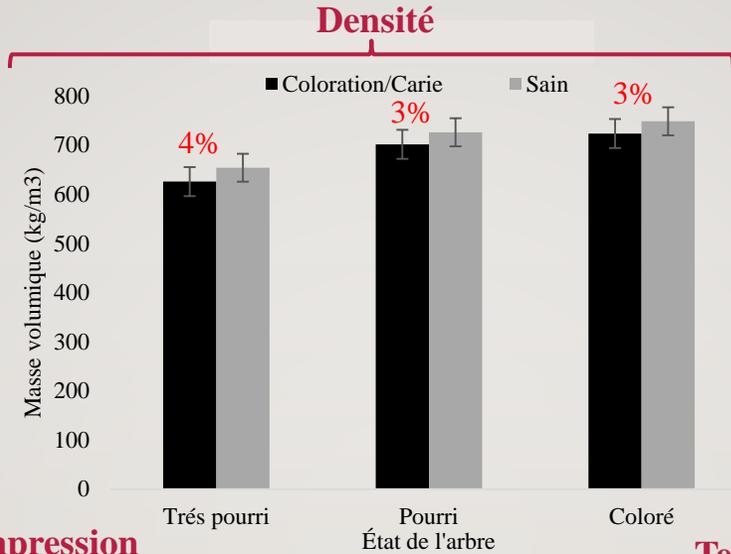
—●— MOED du cerne    —●— MOED du bois initial    —●— MOED du bois final



# 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

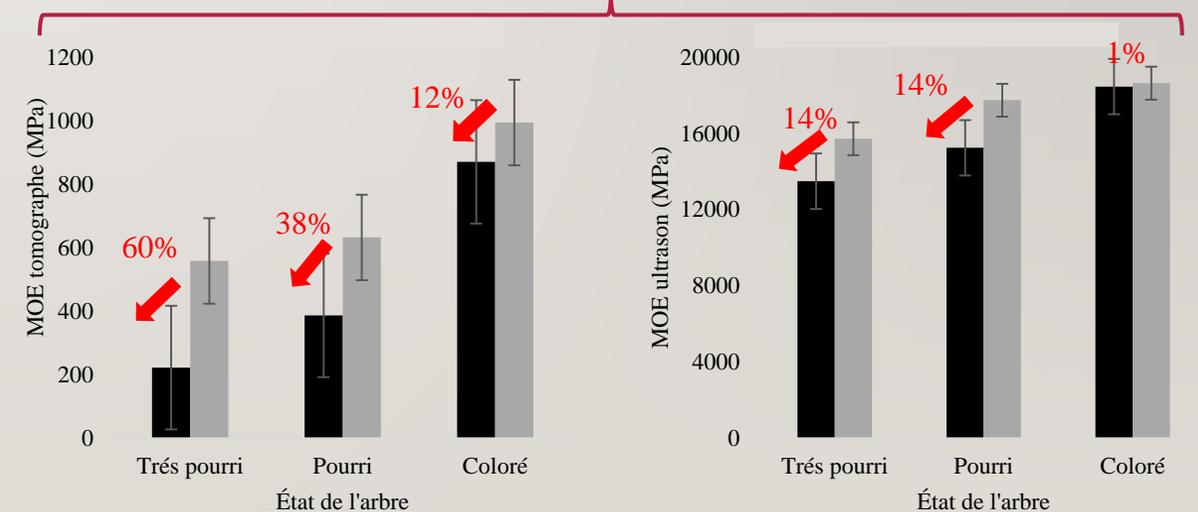
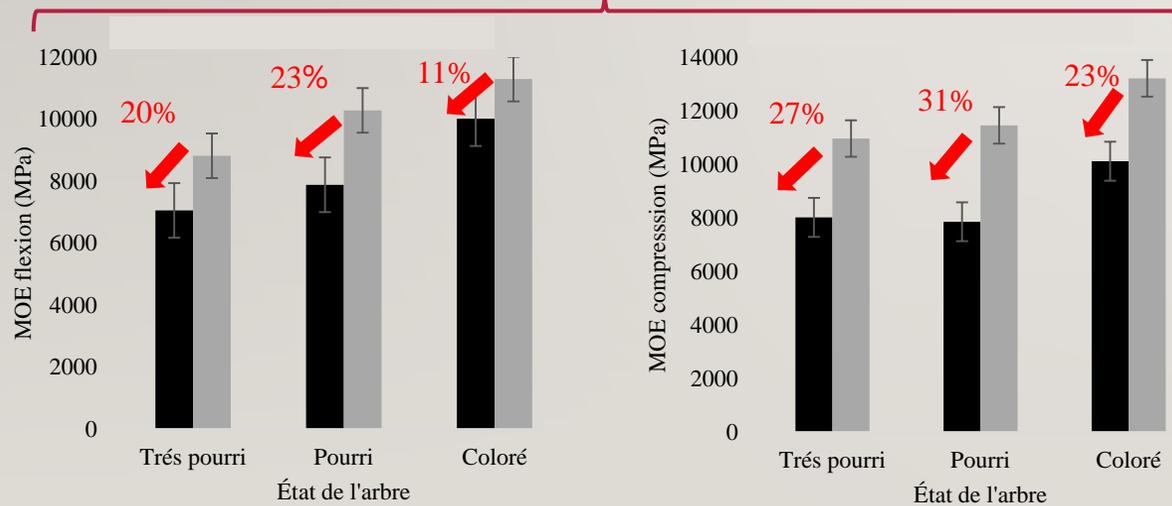
➤ Effet de la carie/coloration sur la variation de la densité et des comportements statique et dynamique **au niveau des arbres**

■ Coloration/carie  
■ Sain



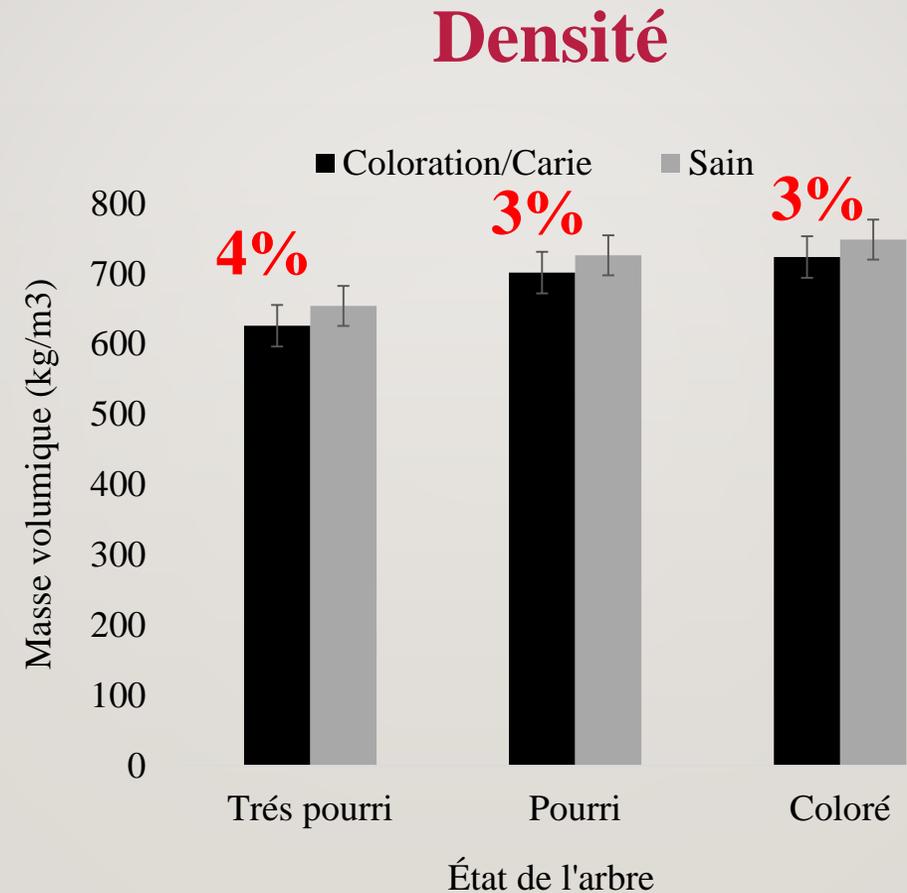
### Tests destructifs : flexion et compression

### Tests non destructifs : tomographe et ultrason



### 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

- Effet de la carie/coloration sur la variation de la densité et des comportements statique et dynamique au niveau des arbres

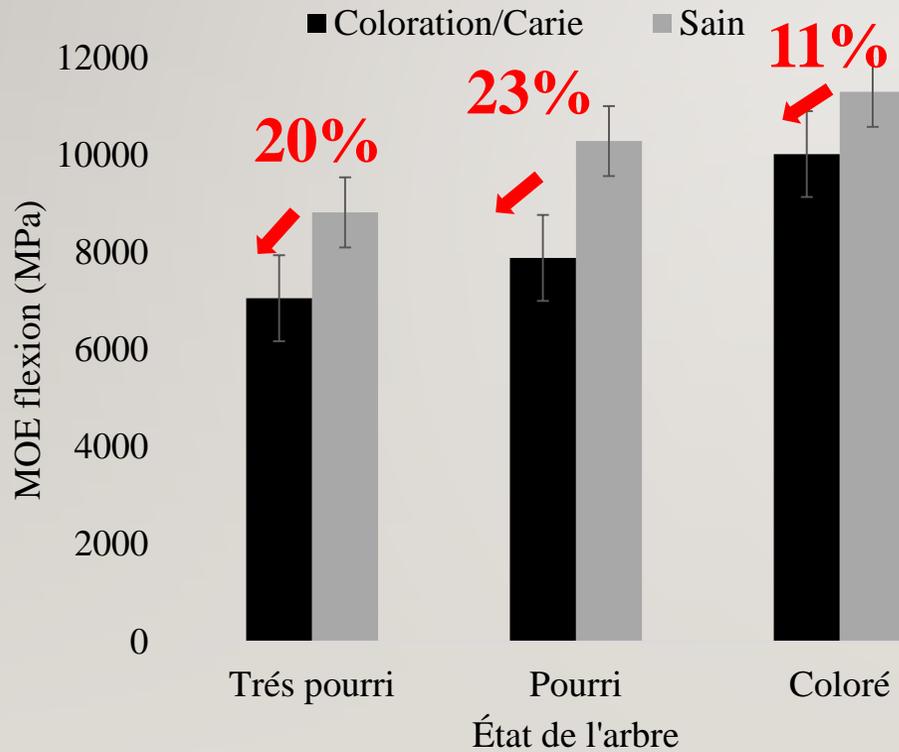


### 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

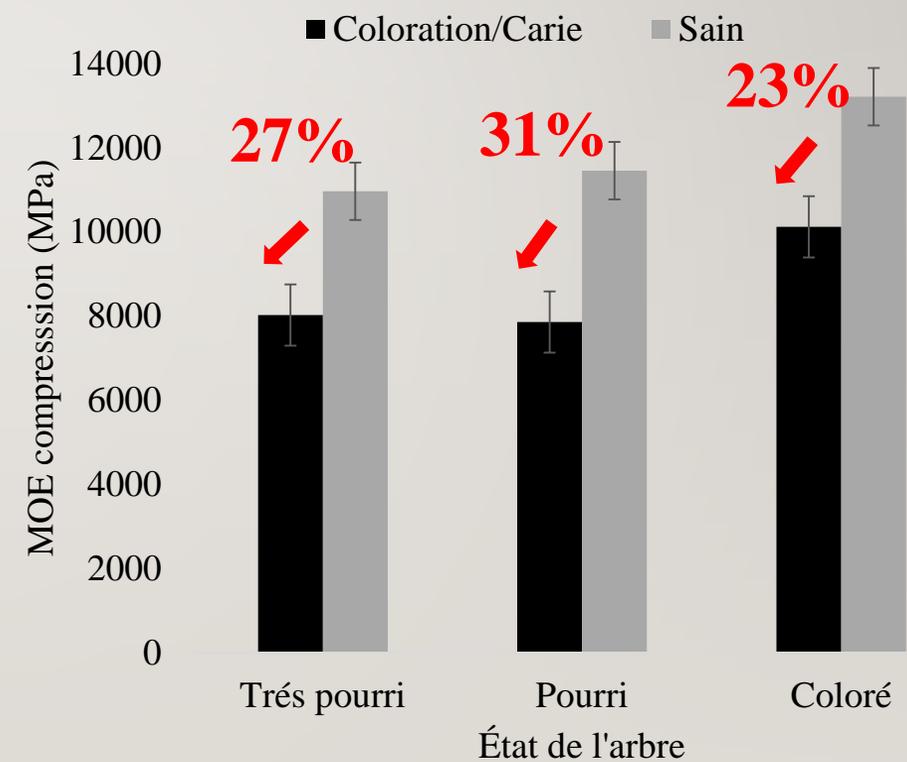
- Effet de la carie/coloration sur la variation de la densité et des comportements statique et dynamique au niveau des arbres

#### Tests destructifs

##### Flexion



##### Compression



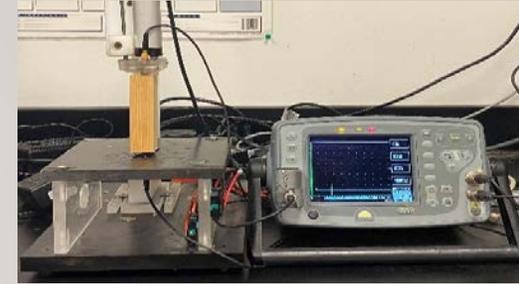
### 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

- Effet de la carie/coloration sur la variation de la densité et des comportements statique et dynamique au niveau des arbres

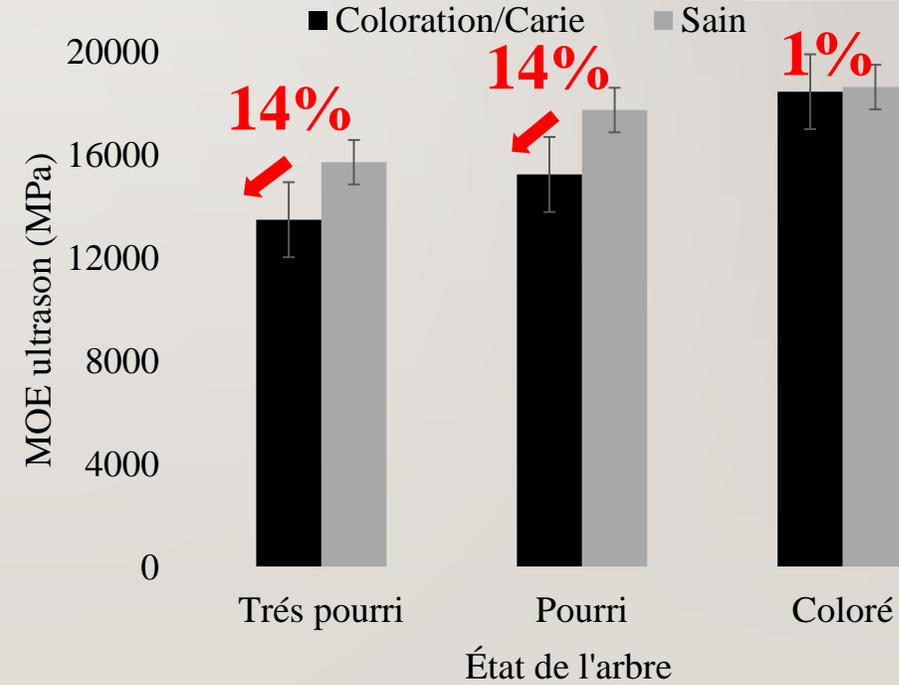
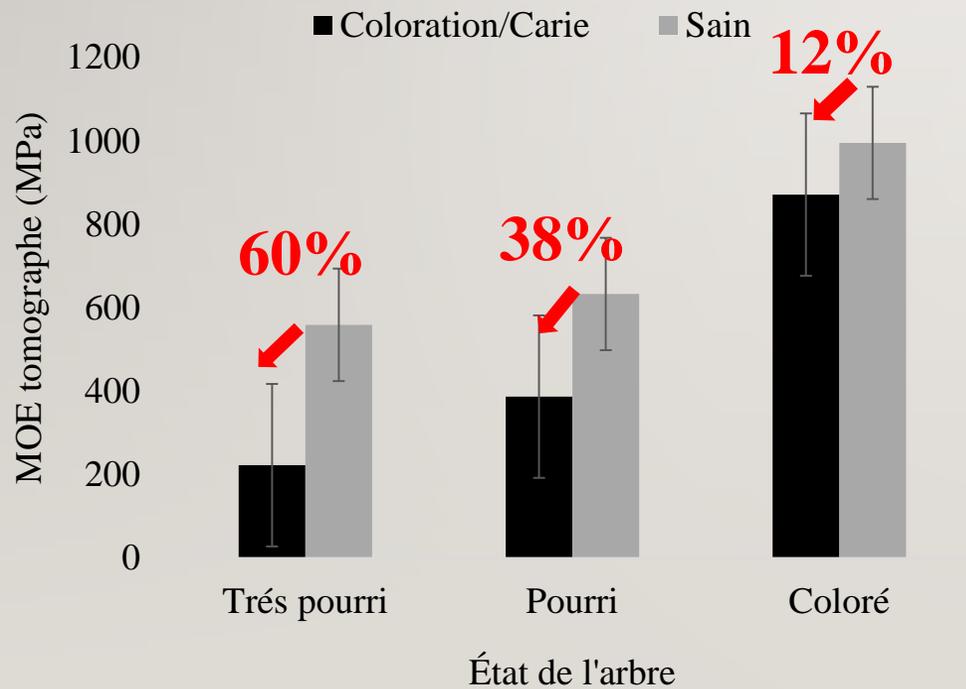


Tomographe

#### Tests non destructifs

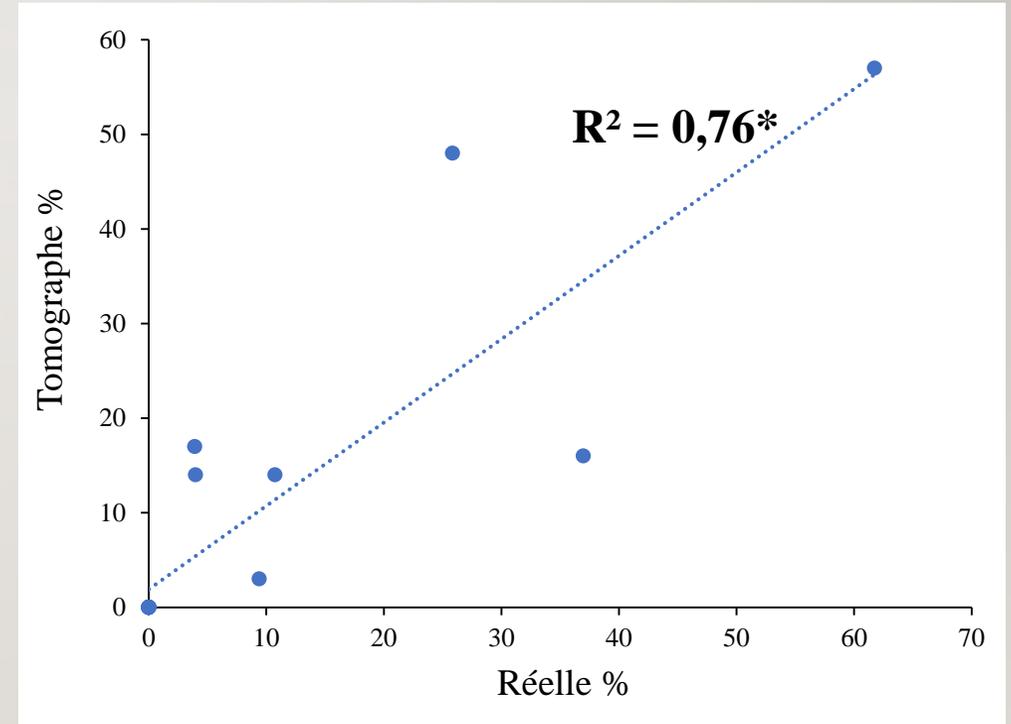
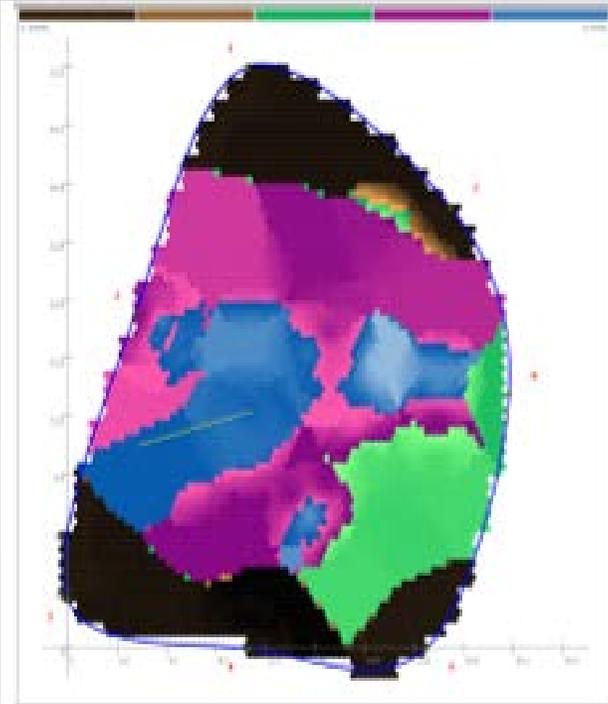


Ultrason



### 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

- Étude de corrélation entre la proportion de la carie mesurée par le tomographe et la proportion réelle de la carie en utilisant le logiciel Image J

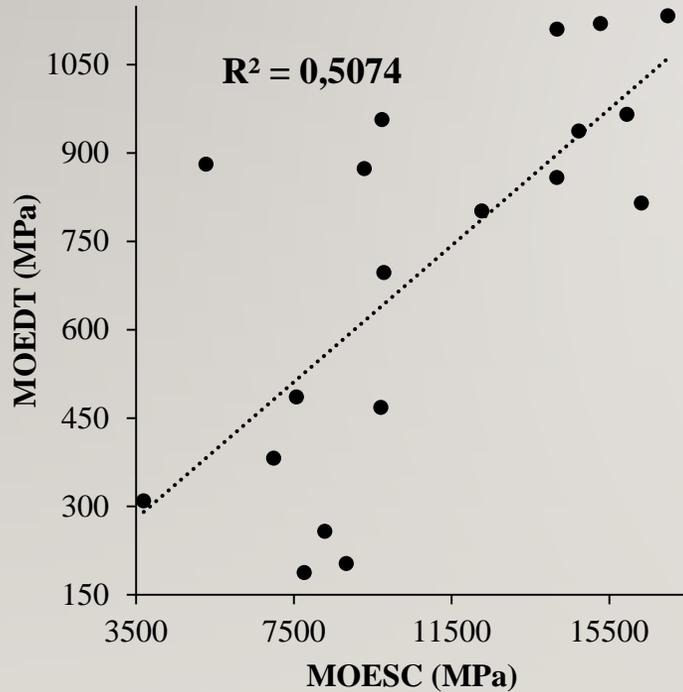


\* : Significatif à 5% ( $p < 0,05$ )

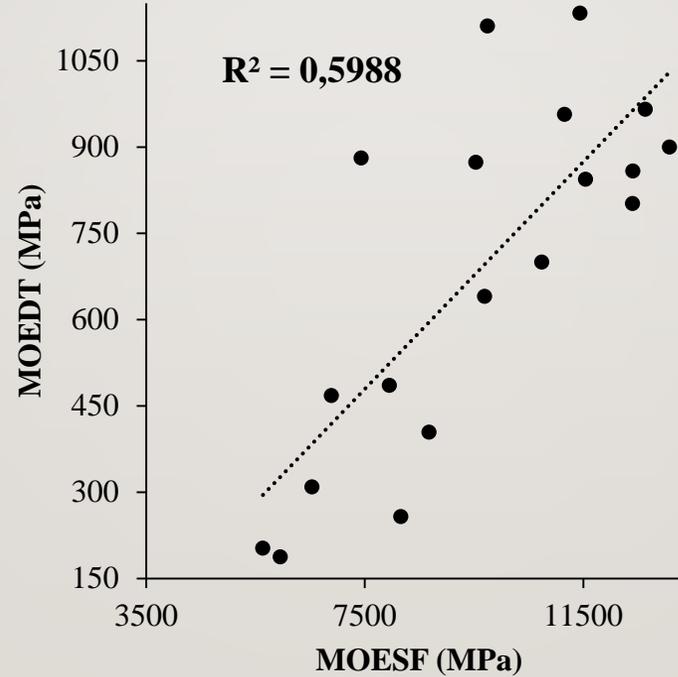
# 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

➤ Étude de corrélation entre les modules du tomographe et les autres modules étudiés

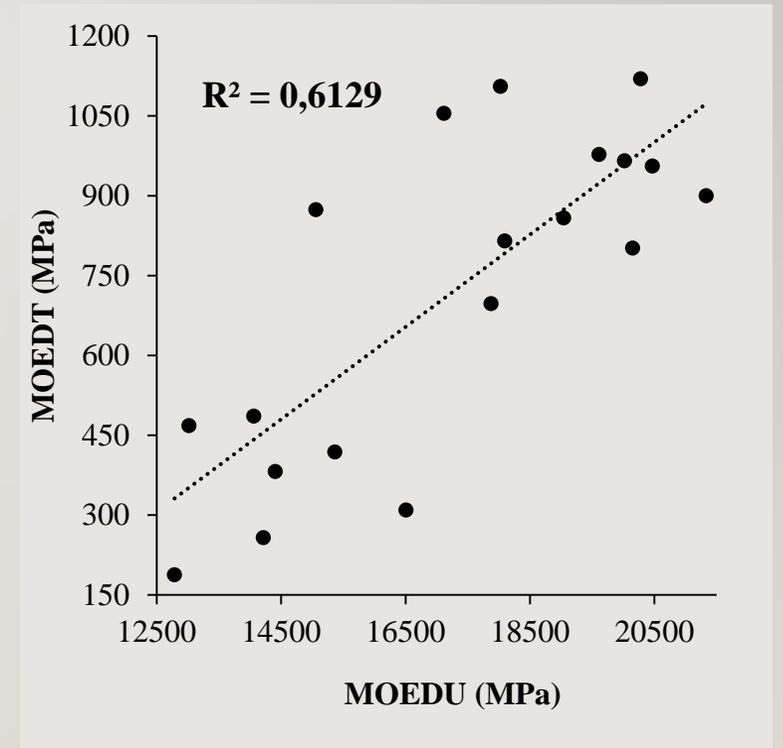
### Tomographe Vs Compression



### Tomographe Vs Flexion



### Tomographe Vs Ultrason



## 4. CONCLUSION

---

- La détermination de la vitesse de l'onde sonore en utilisant le tomographe acoustique et de la masse volumique en utilisant le densitomètre à rayon X permet d'évaluer le module d'élasticité dynamique (MOED) de l'érable à sucre ;
- Le tomographe permet de prédire les propriétés élastiques du bois ainsi que la proportion de la carie chez les arbres ;
- Les modules d'élasticité statiques et dynamiques diminuent du bois sain vers le bois carié ou coloré dans l'arbre alors que la masse volumique subisse une légère variation.

# Merci pour votre attention !

