

Pérennité des systèmes de fondations par pieux en bois

Mécanique

Jean-François BOCQUET (MdC)

Laurent BLERON (Prof)

Transfert de masse

Romain Rémond (MdC)

Chimie, Anatomie

Arnaud BESSERER (MdC)

Marie Christine TROUY (MdC)

Elève ingénieur ENSTIB recruté pour le projet

Quentin KLEINDIENST

Plan

- I. Contexte
- II. Objectifs généraux
- III. Plan d'expérimentation et protocoles
- IV. Procédés mis en œuvre
- V. Etat d'avancement

Plan

- I. Contexte
- II. Objectifs généraux
- III. Plan d'expérimentation et protocoles
- IV. Procédés mis en œuvre
- V. Etat d'avancement

LES FONDATIONS EN BOIS



Vestige de pont Romain



Pont Wilson (Tours)



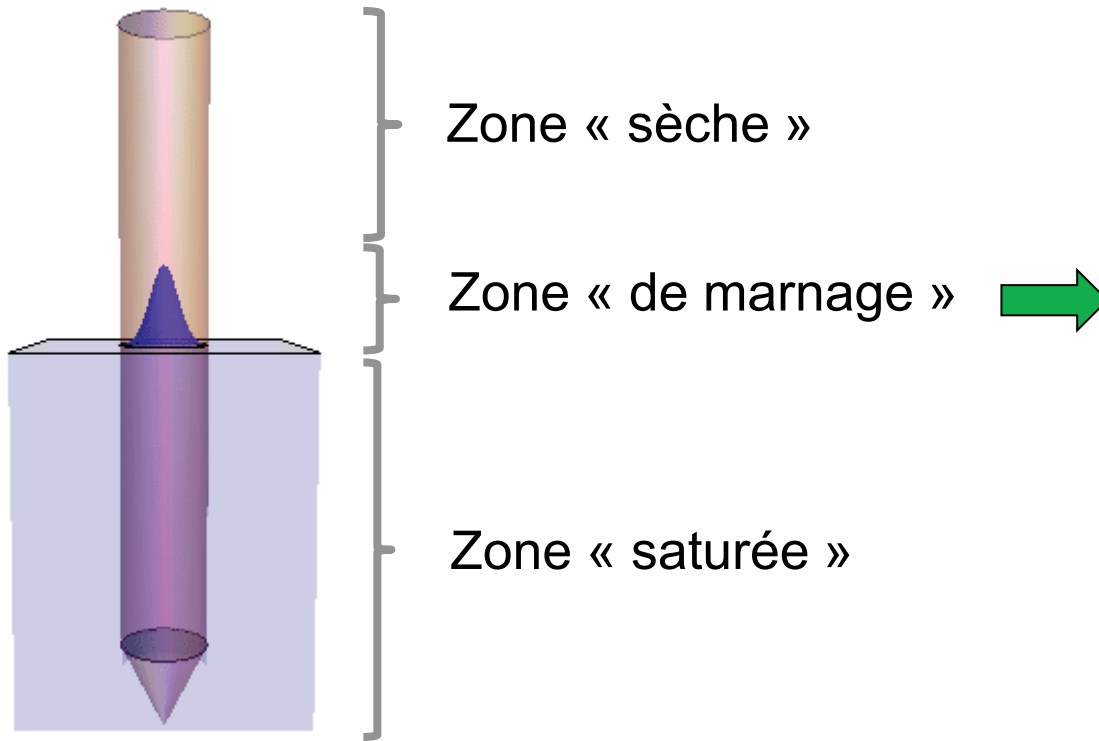
Passerelle (Sanchey)



Passerelle Joal-Fadiouth (Sénégal)

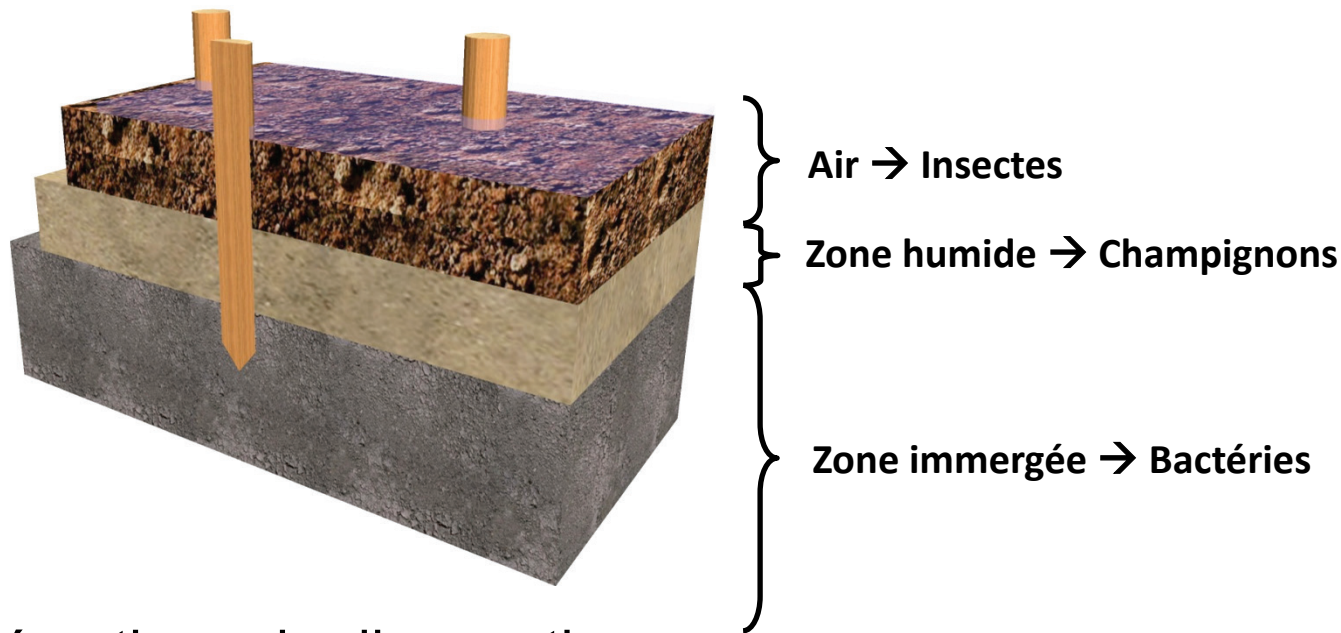
Objectif général : Prévoir l'évolution de la dégradation du bois en zone de marnage.

Contexte



PROBLEMATIQUE

→ Dégradation du bois



→ Problématique du diagnostic

- Court terme : Expérimentation et suivi
- Long terme : Inspection d'ouvrages anciens

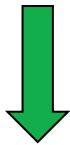
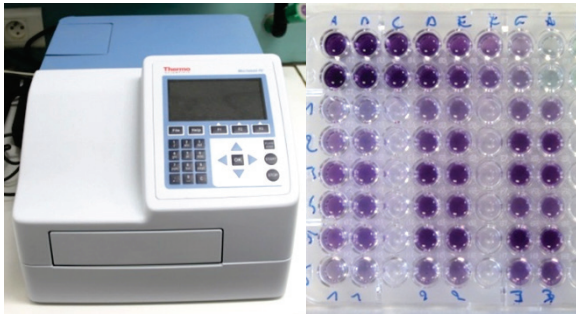
→ Prévisionnel

- Evolution de la dégradation sur les propriétés du bois

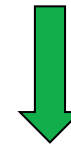
Plan

- I. Contexte
- II. Objectifs généraux
- III. Plan d'expérimentation et protocoles
- IV. Procédés mis en œuvres
- V. Etat d'avancement

1. Développer une méthode de diagnostic :



Outil de mesure de la dégradation du bois



Outil de caractérisation des propriétés mécaniques du bois



Corrélation

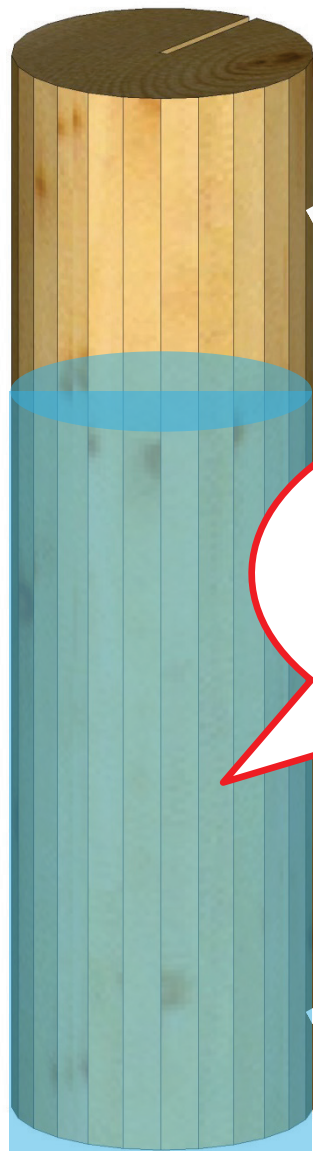


Diagnostic



Méthodologie de diagnostic théorique :

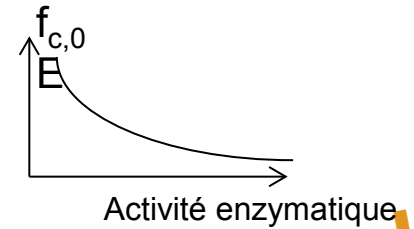
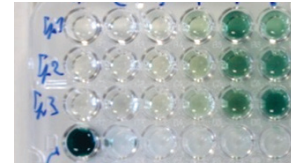
I. Objectifs généraux



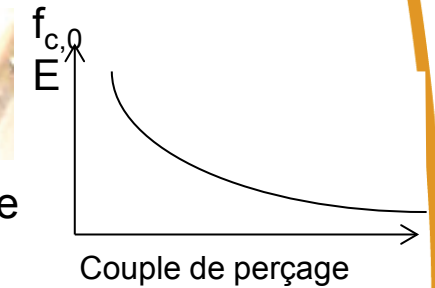
Prélèvement 2 → ρ_{actuel}

DIAGNOSTIC:
Capacité
résistante d'un
pieux
bois

Prélèvement 1 → $\rho_{\text{référence}}$



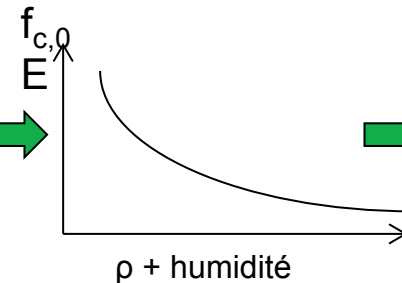
Mesure activité enzymatique



Couple de perçage

$f_{c,0}$ actuel 12%
 E_{factuel} 12%

Synthèse



$f_{c,0}$ ref 12%
 E_{ref} 12%



2. Développer un modèle prédictif:

- Connaitre l'évolution du profil d'humidité dans le pieux en fonction du temps

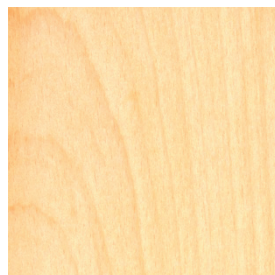
- Connaitre la relation $E = f(\text{humidité}; \text{temps})$; $f_{c,0} = f(\text{humidité}; \text{temps})$

Module
d'élasticité

Contrainte de compression
longitudinale

- Connaitre la relation $E = f(\Delta\rho; \text{temps})$; $f_{c,0} = f(\Delta\rho; \text{temps})$

Perte de
masse



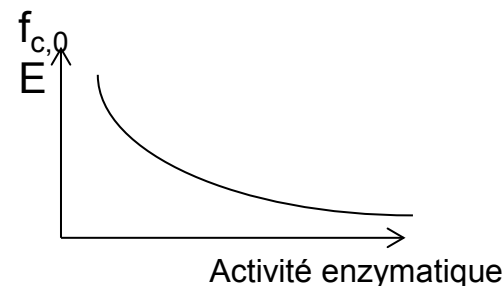
Outils à développer :

Relation E et $f_{c,0}$ en fonction de ρ à 12% :

- Pin ●
- Chêne ●
- Hêtre ●

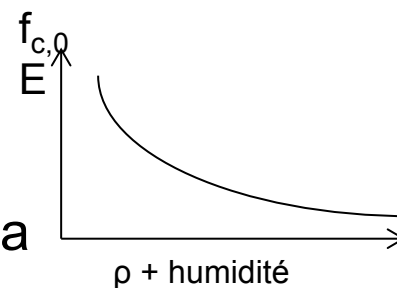
Corrélation activité enzymatique / E et $f_{c,0}$

- Aucune donnée



Corrélation humidité / E et $f_{c,0}$

- Peu de données



Evolution dans le temps de l'humidité et de la dégradation dans un pieux

- Aucune donnée

Développer un modèle prédictif sur la dégradation

- Aucune donnée

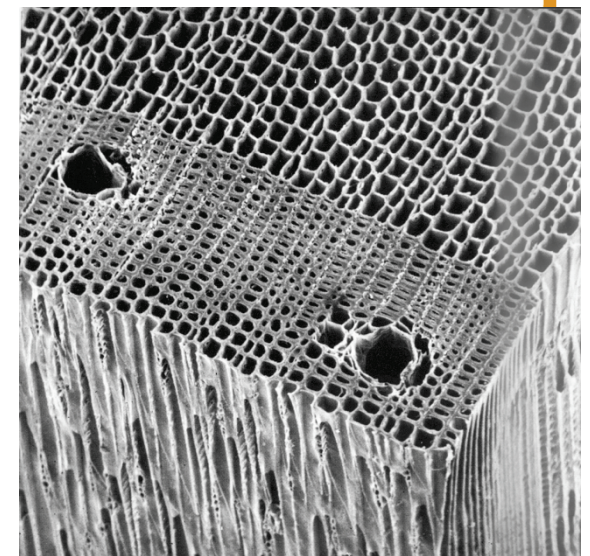
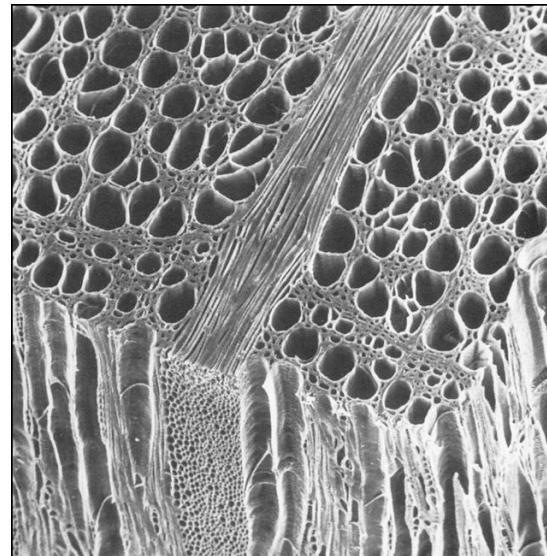
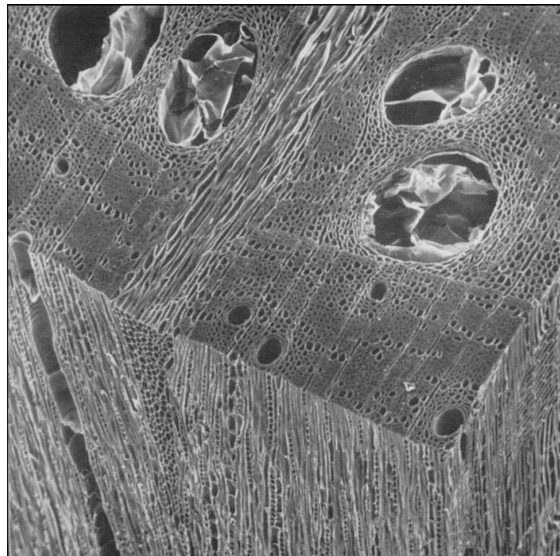


Plan

- I. Contexte
- II. Objectifs généraux
- III. Plan d'expérimentation et protocoles
- IV. Procédés mis en œuvre
- V. Etat d'avancement

Essences utilisées :

- Chêne
 - ZIP
 - Classe 2 : Durable
 - Non imprégnable
- Hêtre
 - Homogène
 - Classe 5 : Non durable
 - Imprégnable
- Pin Sylvestre
 - Résineux
 - Classe 3-4 : Moyennement à Faiblement durable
 - Peu imprégnable



Mise en place de deux expériences différentes :

1. Etude de la corrélation entre **humidité** et **propriétés mécaniques** du bois (sur pieux et éprouvette standardisées)
 - Temps : 4 mois
 - Etude mécanique



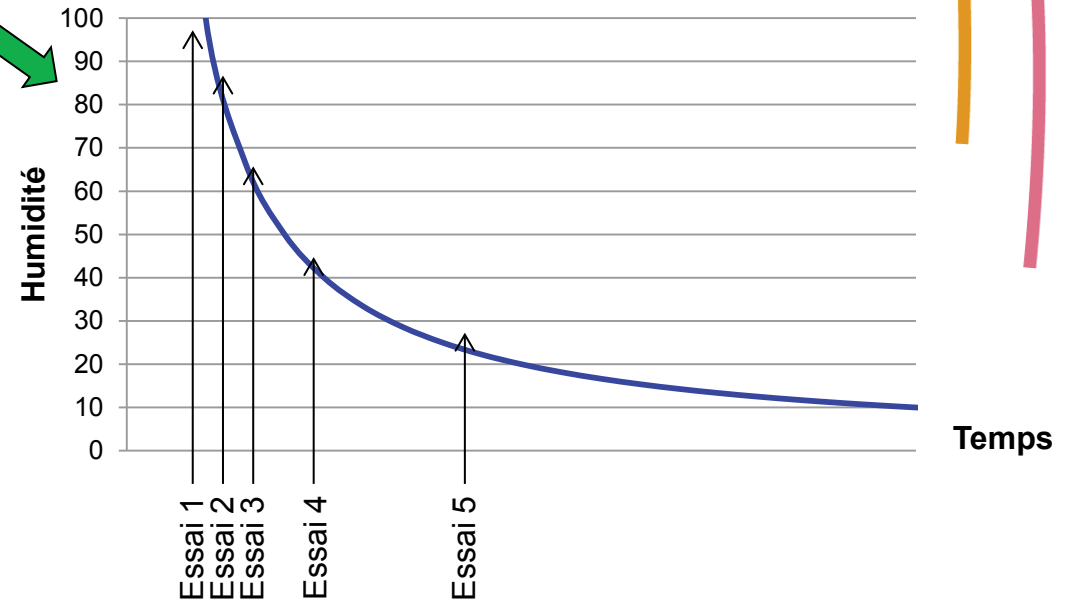
7%, 10%, 15%, 20% HR du bois

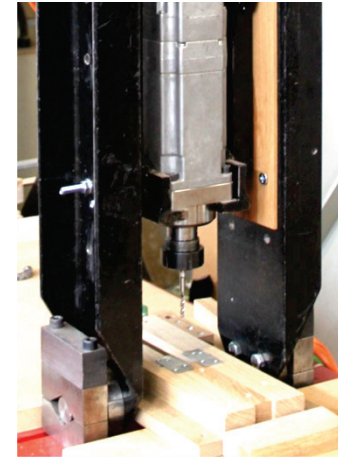
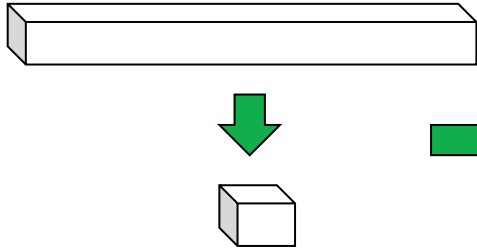
Stabilisation de barreaux de bois à différentes humidités

0%, 40%, 60%, 80%, 100% HR du bois

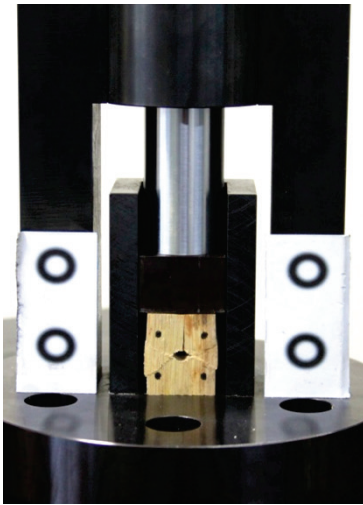


Evolution de l'humidité au cour du séchage





Puissance de perçage



Essai de compression longitudinale



Pesée des éprouvettes à l'état anhydre



2. Suivi de dégradation

Sur pieux de « taille réelle »



Sur éprouvettes standardisées



Temps : 18 mois

Temps : 12 semaines

- Tomographie rayon X
- Mesure d'activité enzymatique
- Etude mécanique

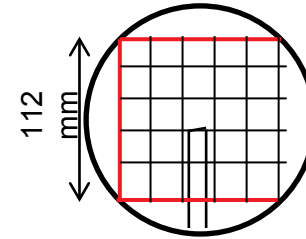
2. Suivi de dégradation (pieux)



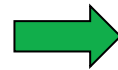
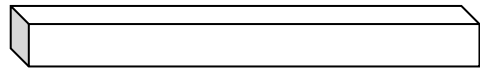
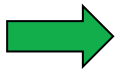
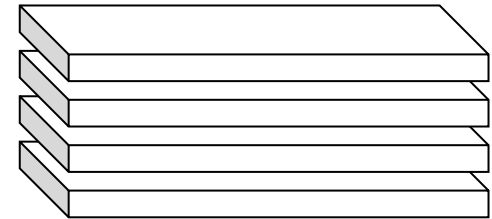
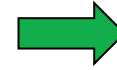
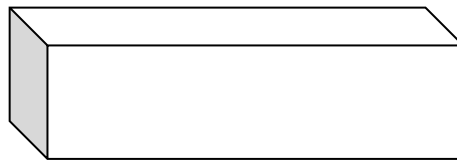
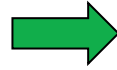
Immersion des pieux imprégnés de litière



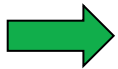
Tomographie mensuel



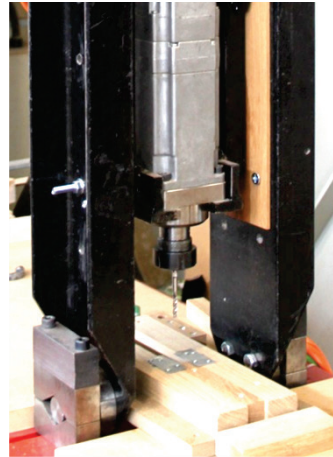
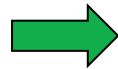
Débit en éprouvettes



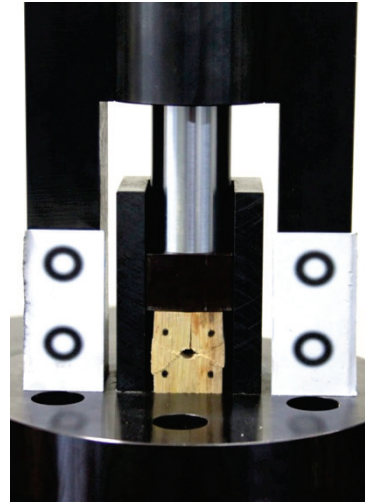
2. Suivi de dégradation (**pieux**)



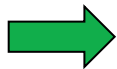
Pesée



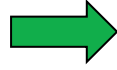
Puissance perçage



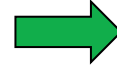
Essais de compression longitudinale



Mesure de l'activité enzymatique



Pesée, état anhydre



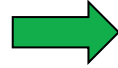
Profil d'eau,
Profil de dégradation

2. Suivi de dégradation (échantillons)

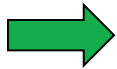


Pesée et tomographie

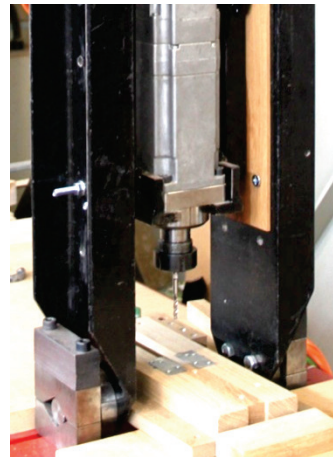
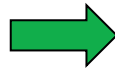
Mise en dégradation



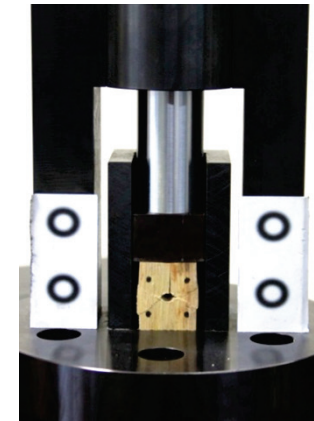
Prélèvement à différents temps : 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10 et 12 semaines ...



Pesée et tomographie



Puissance de perçage



Essais de compression longitudinale

2. Suivi de dégradation (échantillons)



Mesure de l'activité enzymatique



Pesée des échantillons à l'état anhydre

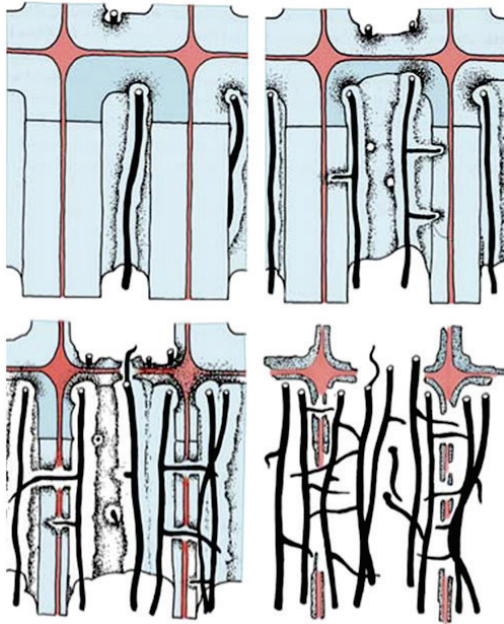


Plan

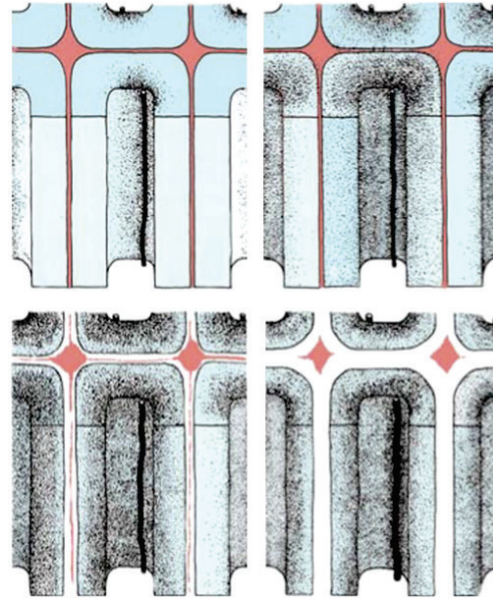
- I. Contexte
- II. Objectifs généraux
- III. Plan d'expérimentation et protocoles
- IV. **Procédés mis en œuvre**
- V. Etat d'avancement



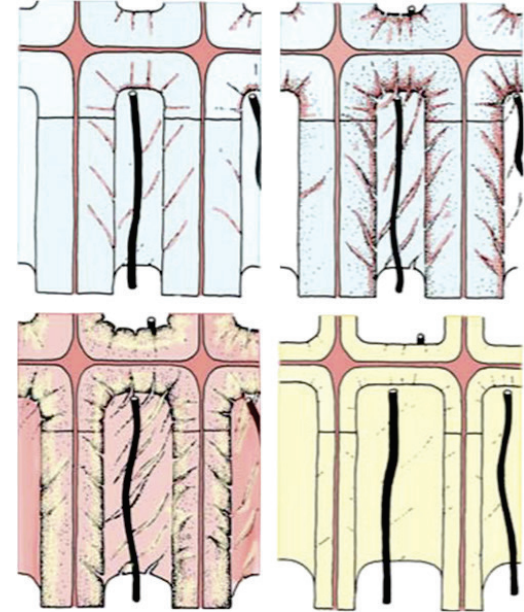
La dégradation du bois



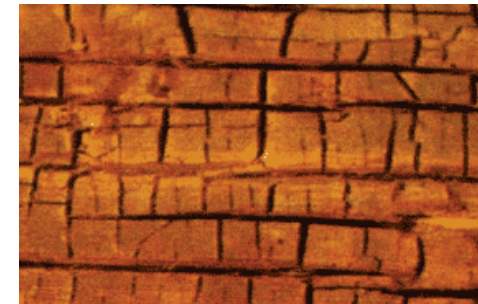
Pourriture blanche
(attaque simultanée
des constituants)



Pourriture blanche
(délicnification sélective)

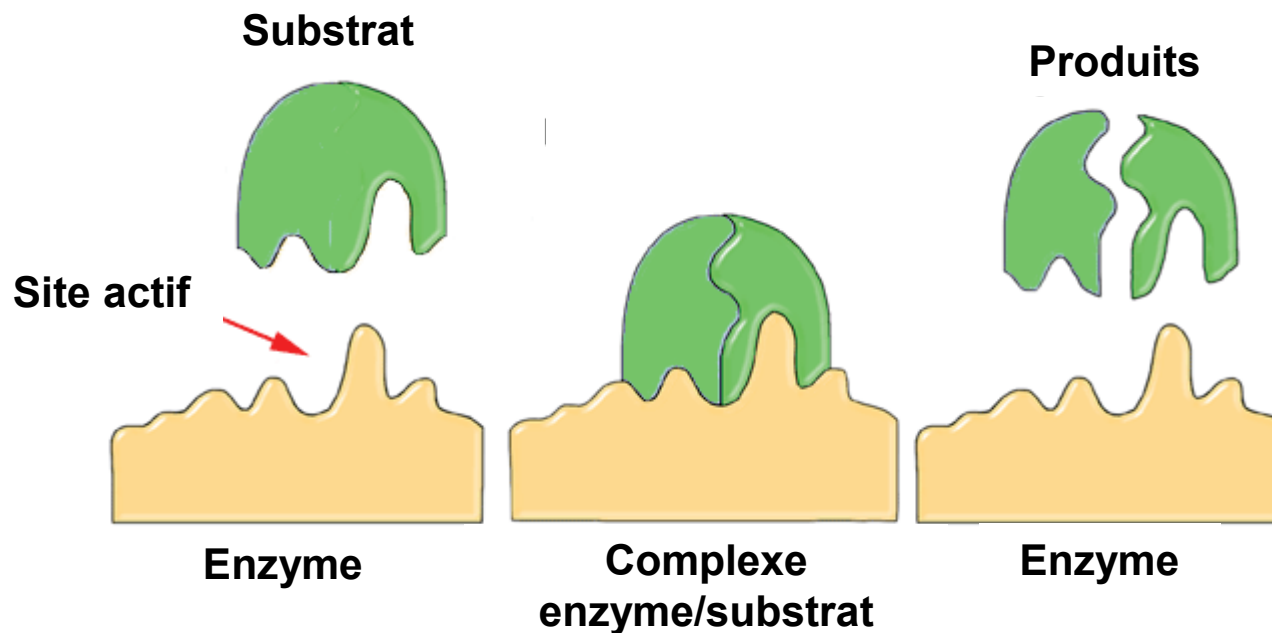


Pourriture brune



La dégradation du bois : rappel sur les enzymes

Spécificité enzyme-substrat



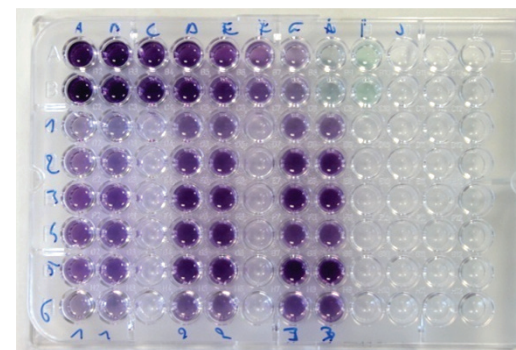
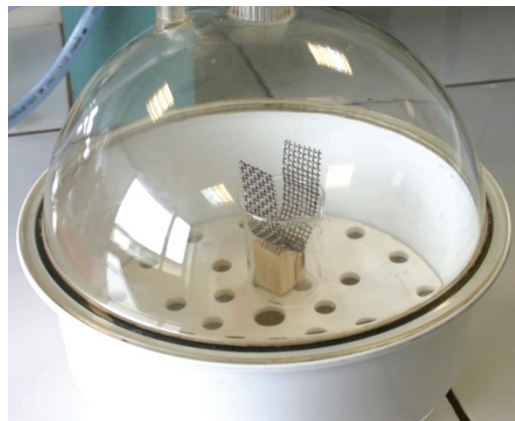
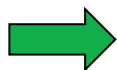
Enzymes discriminantes:

- β -glucosidase
- cellulase
- β -xylosidase
- Laccase
- Lignine peroxydase



Caractérisation de l'activité enzymatique des champignons lignivores :

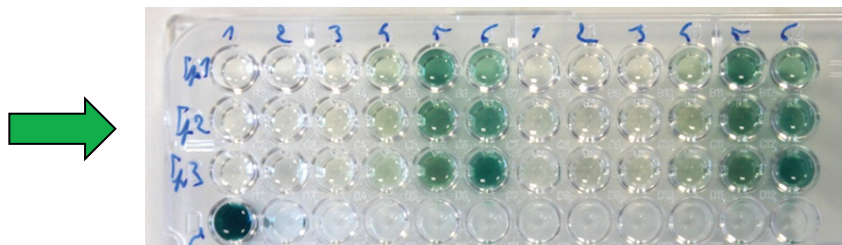
Protocole de mesure de l'activité enzymatique :



➤ Extraction des enzymes fongiques

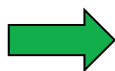
➤ Quantification de protéines

Caractérisation de l'activité enzymatique des champignons lignivores :



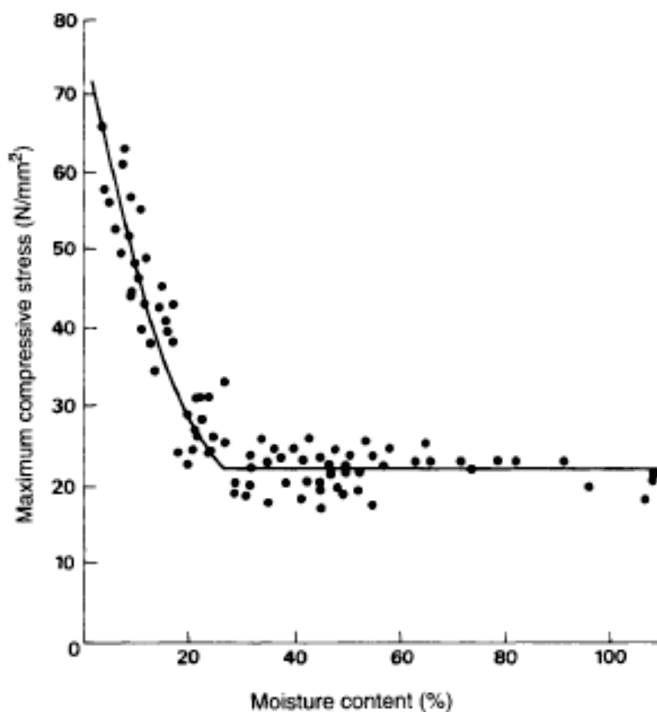
Temps d'incubation
(20 à 30 minutes)

- Quantification des activités enzymatiques



Essais de compression longitudinale :

- Détermination de la résistance en compression longitudinale
- Mesure d la déformation par vidéométrie: précision 0.001 mm

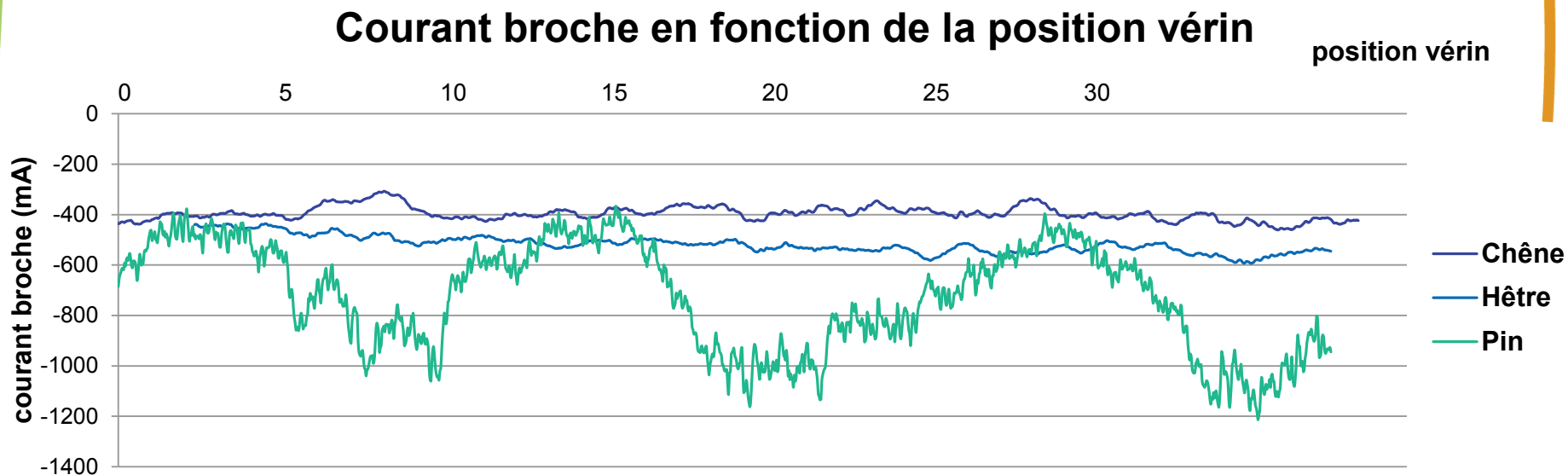


Courbe du module d'élasticité longitudinale

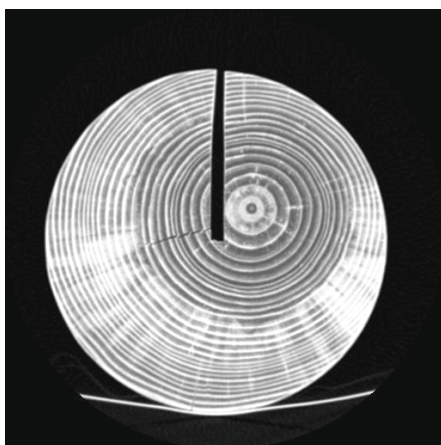
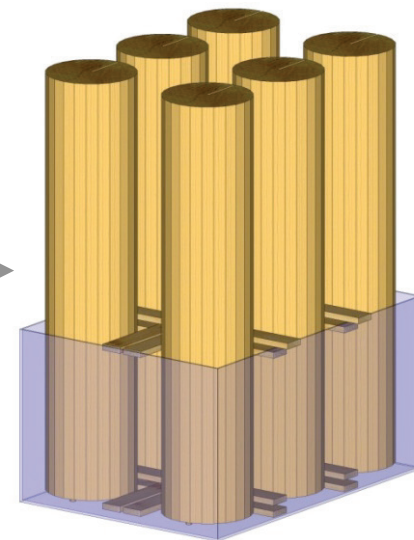
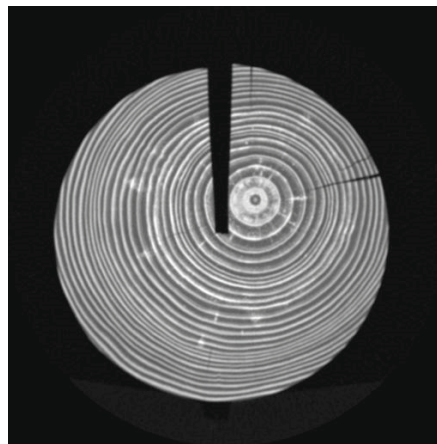


Essais de perçage (résistographe):

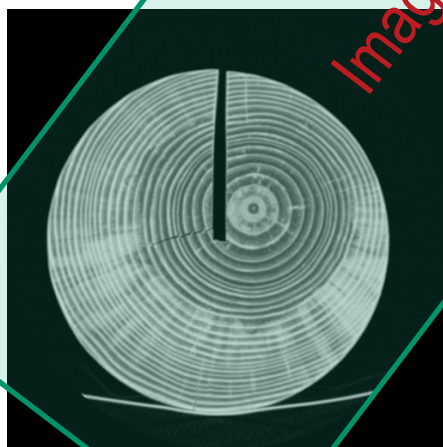
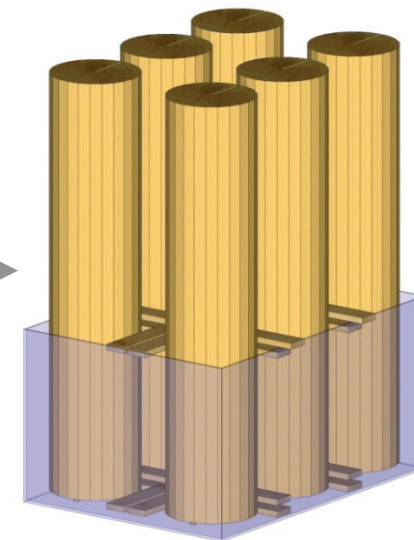
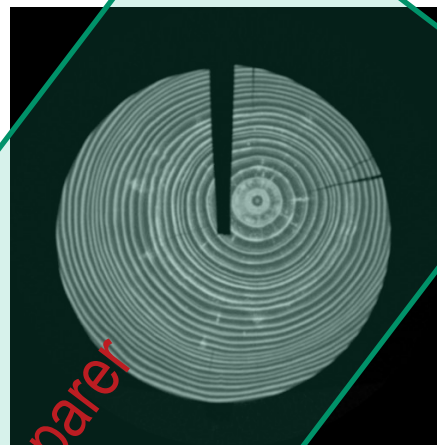
- Perçage des éprouvettes dans le sens radial
- Récupération du couple de perçage par mesure de courant



Tomographie RX : DISPOSITIF EXPERIMENTAL



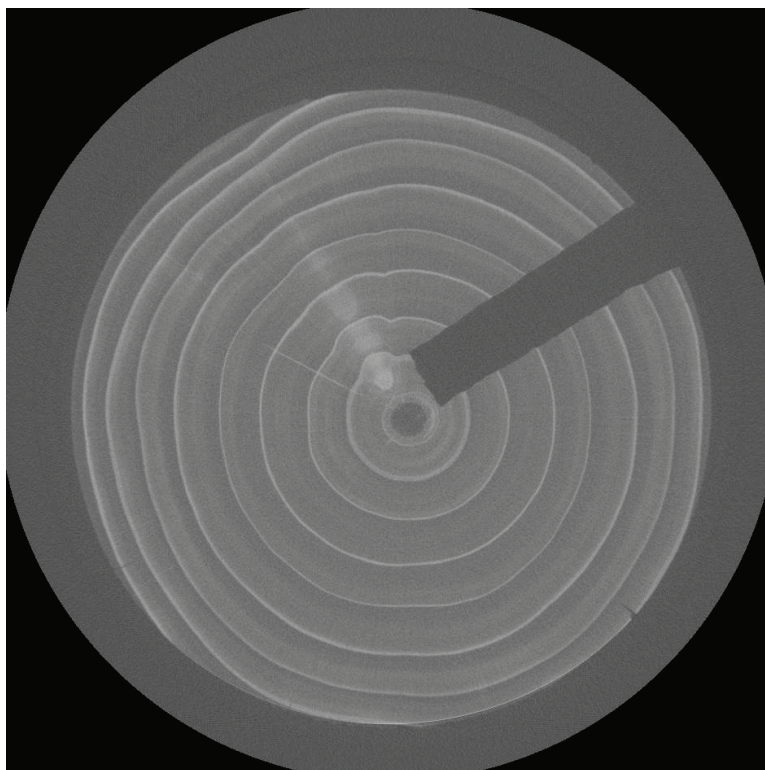
Tomographie RX : DISPOSITIF EXPERIMENTAL



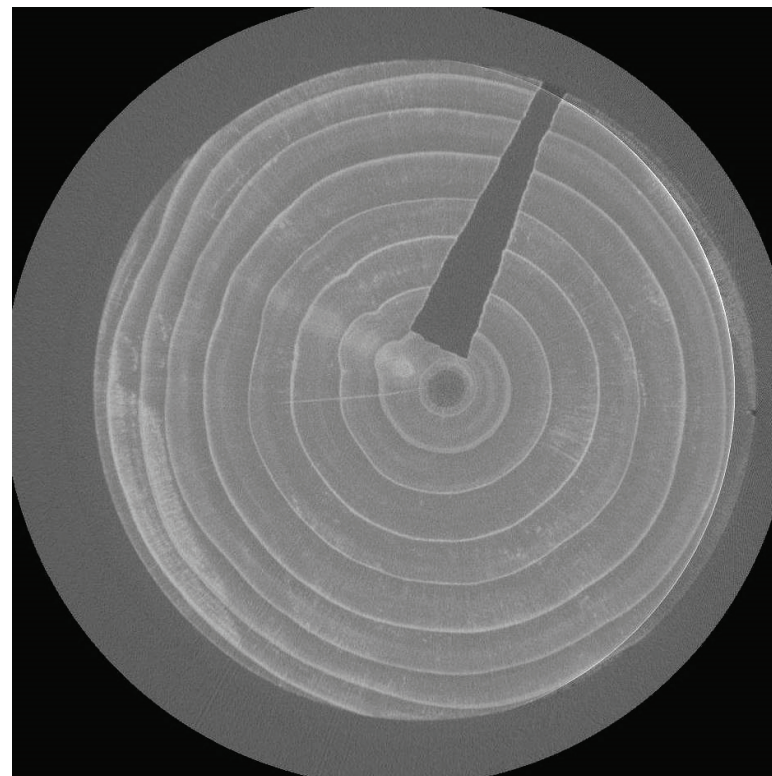
Images à comparer

ETUDE DE LA TOMOGRAPHIE

→ Initiale



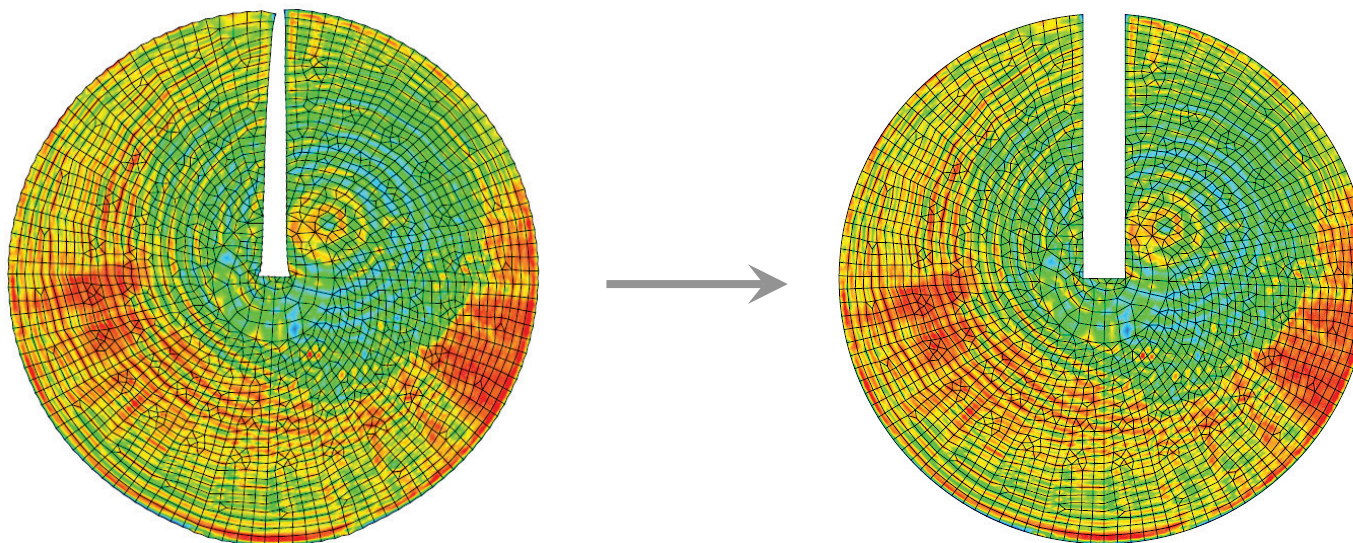
→ Humide



- Gonflement du bois
- Reprise d'humidité non homogène
- **Comment comparer ces deux images?**

RECALAGE PAR UN MODELE MEF

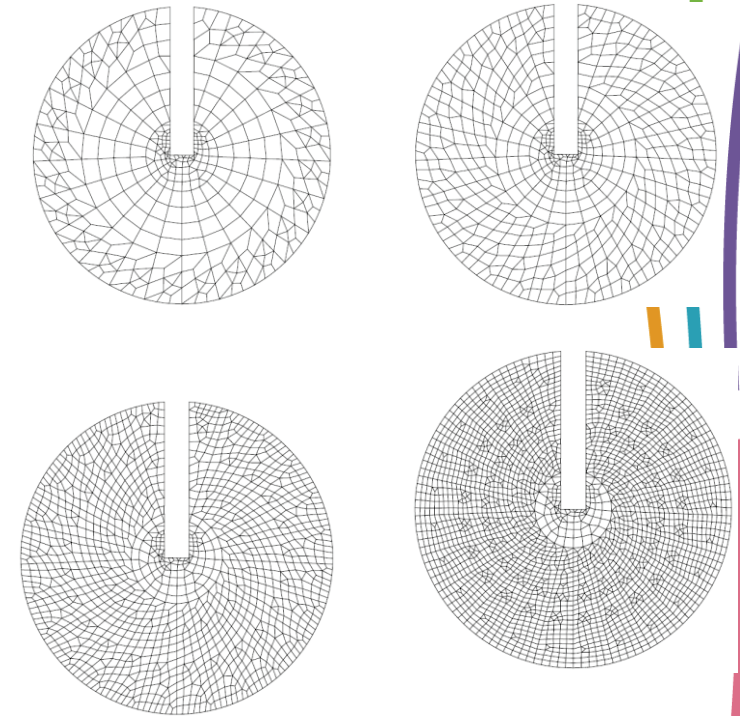
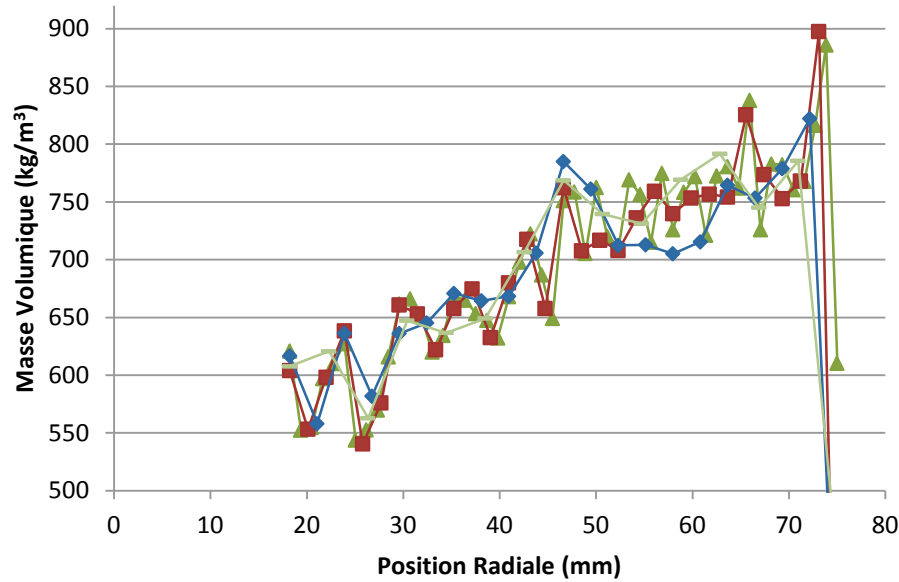
- Projection de l'information sur le maillage EF
- Application de la transformation inverse



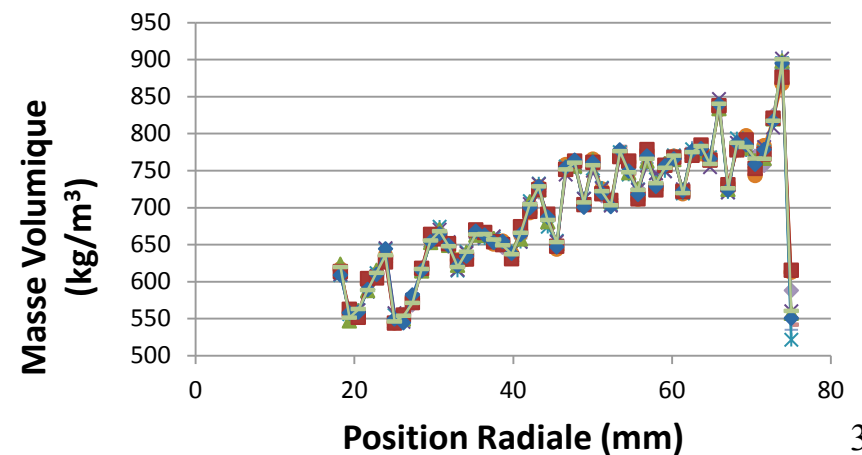
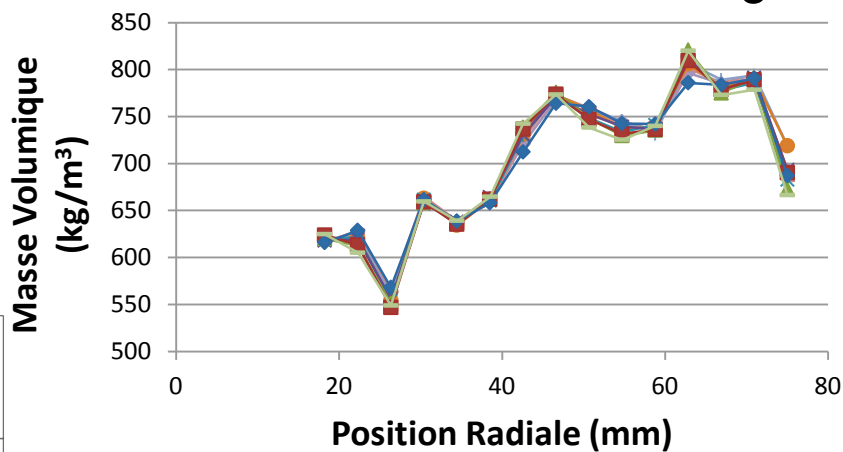
- Comparaison de la masse volumique à différentes humidités

SENSIBILITE DE LA DEMARCHE

→ Influence du maillage

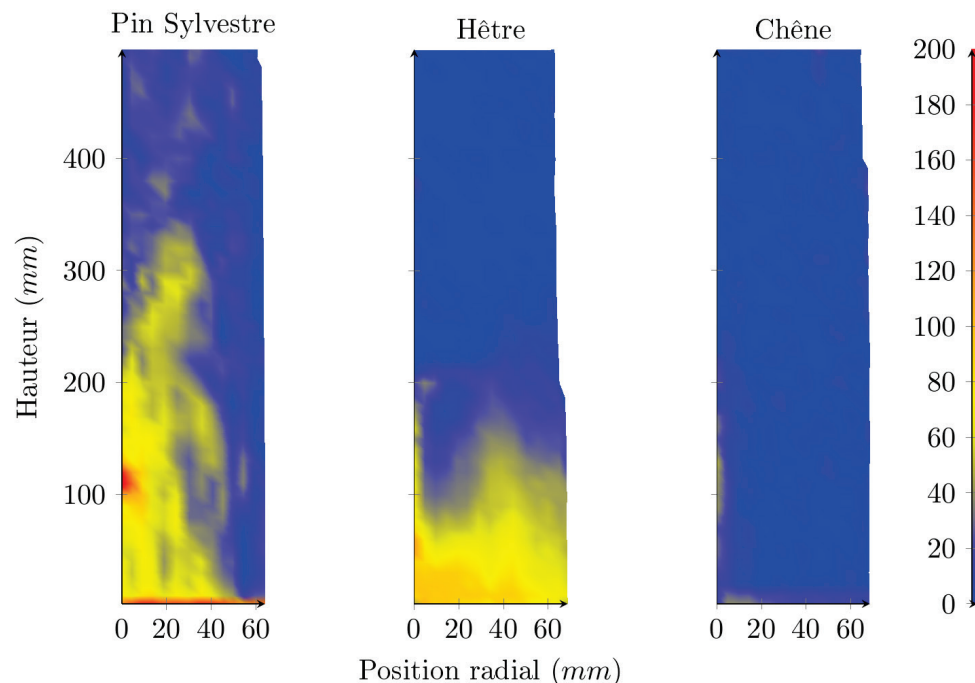


→ Robustesse du recalage



RESULTATS

Pin Sylvestre



- ➔ **OUTIL TERMINE** pour l'analyse des tomographies,
- ➔ Base de donnée pour la modélisation (Romain REMOND)

PREVISION DYNAMIQUE DE L'HUMIDITE !

- ➔ Outil pour **SUIVRE LA DEGRADATION** : perte de masse , reprise d'humidité **niveau de sensibilité ?**

Plan

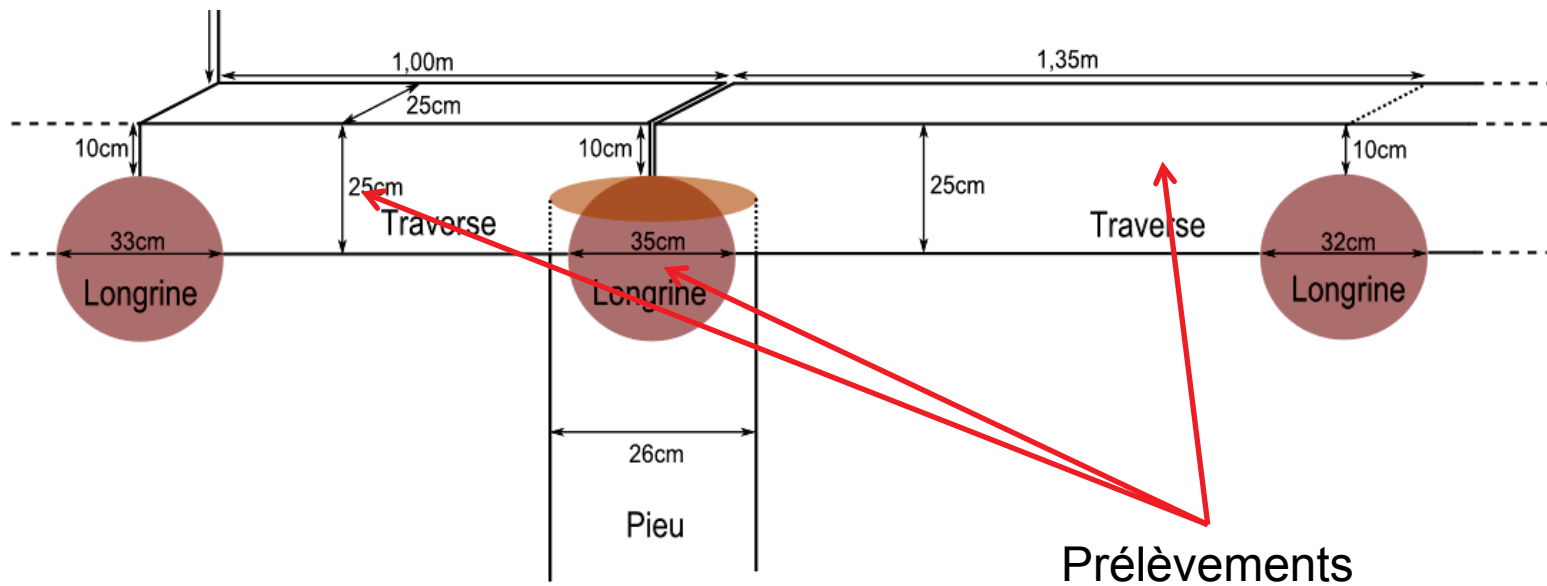
- I. Contexte
- II. Objectifs généraux
- III. Plan d'expérimentation et protocoles
- IV. Procédés mis en œuvres
- V. Etat d'avancement



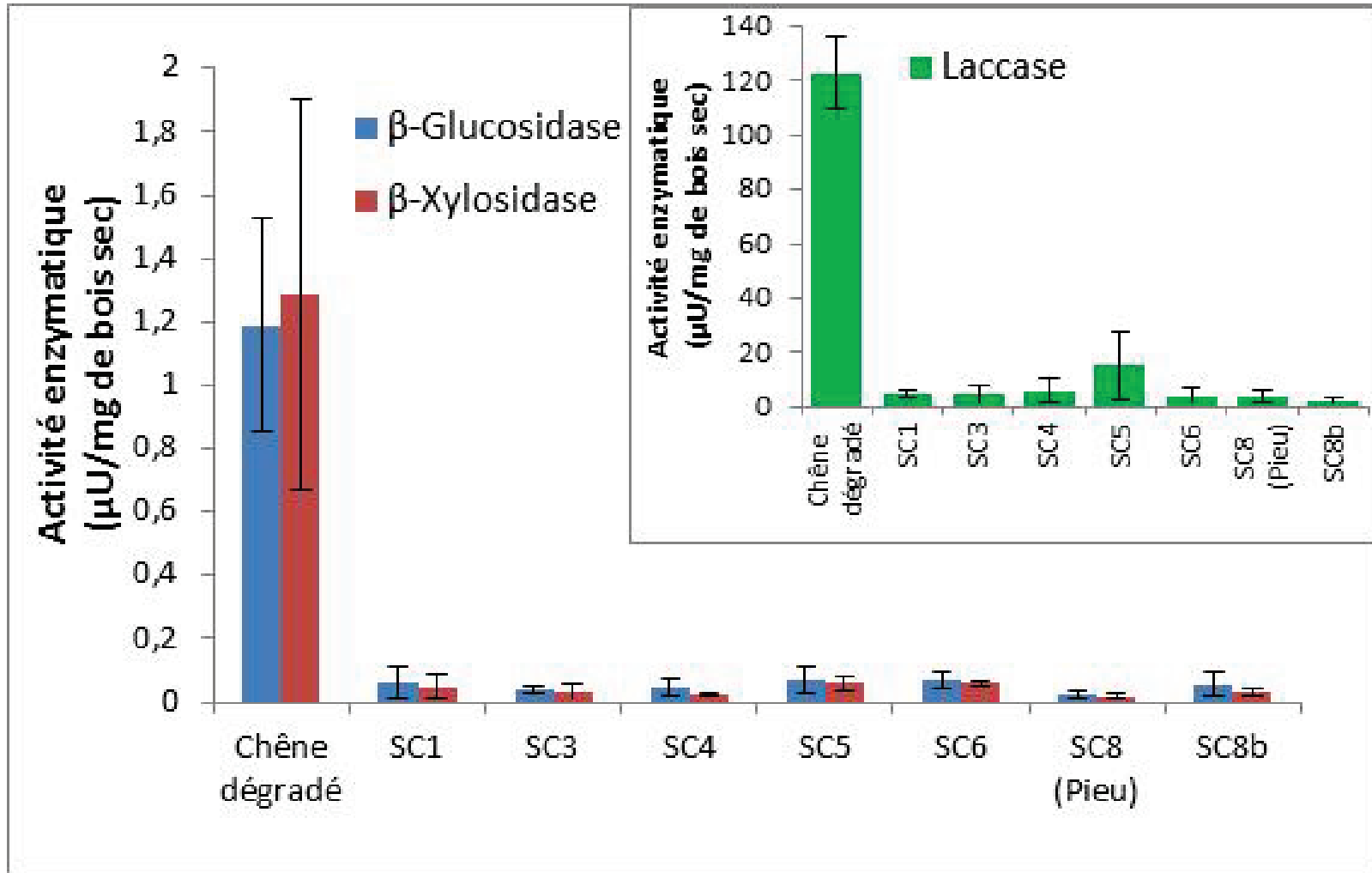
➤ Expertise sur le viaduc des cent arches



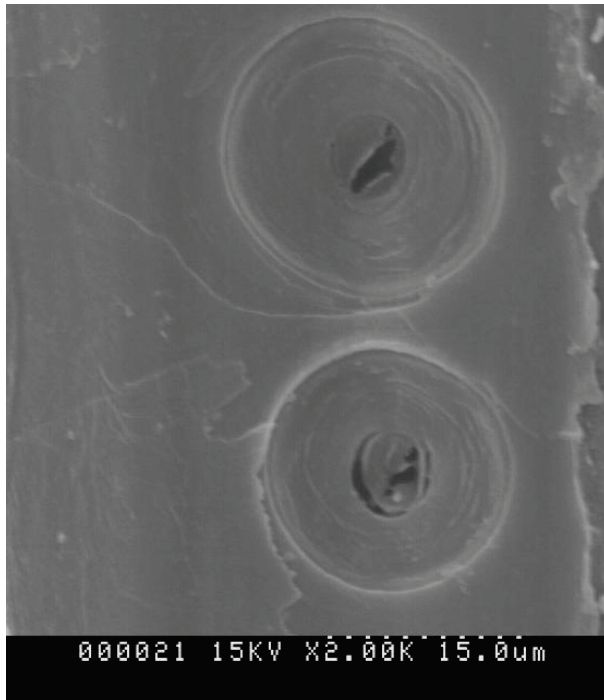
carottier



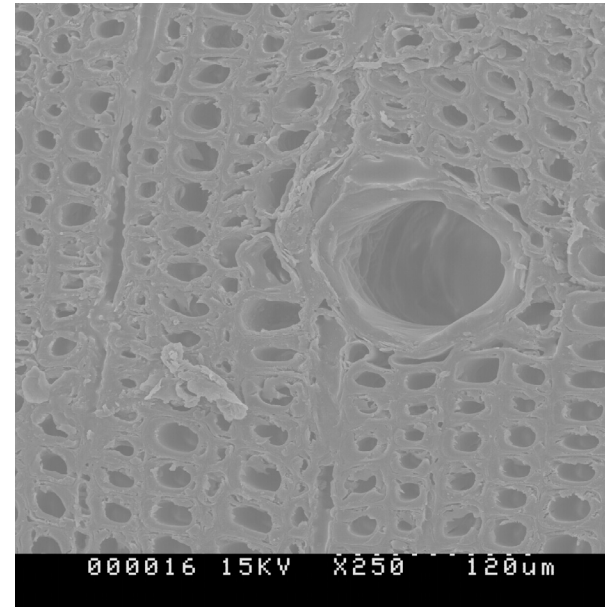
- Utilisation du protocole de mesure d'activité enzymatique sur le viaduc des cent arches :



➤ Observations en microscopie électronique à balayage



coupe radiale, ponctuations aréolées un peu dégradées

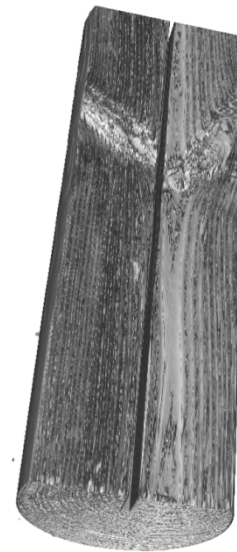


coupe transversale, canal résinifère bordé de cellules à parois minces, présence de résine

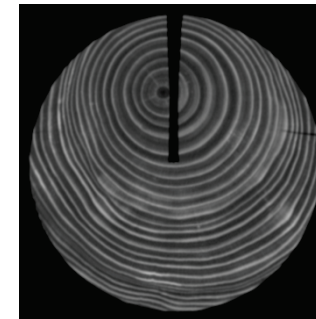


- Infra densité :
- pieux : 500 kg/m³
 - platelage : 300 kg/m³
 - grillage : 250 kg/m³

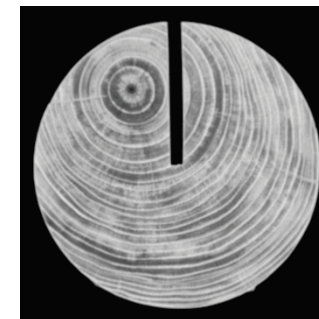
- L'ensemble des protocoles pour chacune des expériences sont fixés.
- Les expériences portant sur les étude de dégradation sur pieux et éprouvettes sont démarrées.
- Les premier résultats sont en cours de traitement.



Images de tomographie rayon X



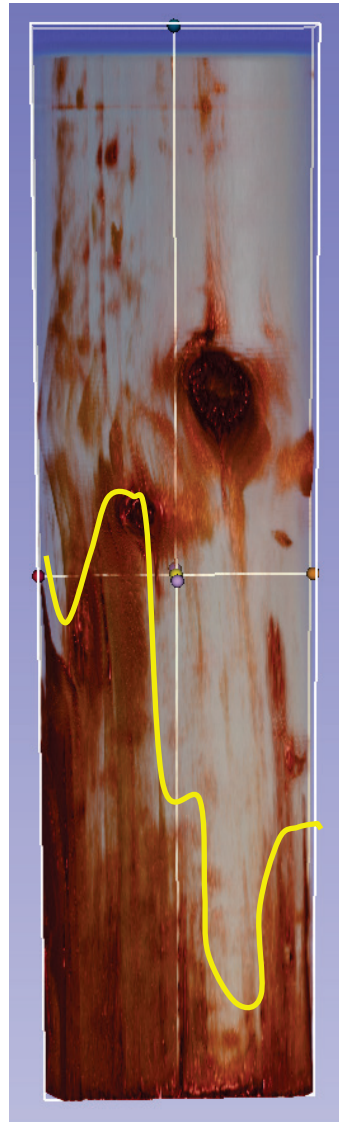
Pieux sec



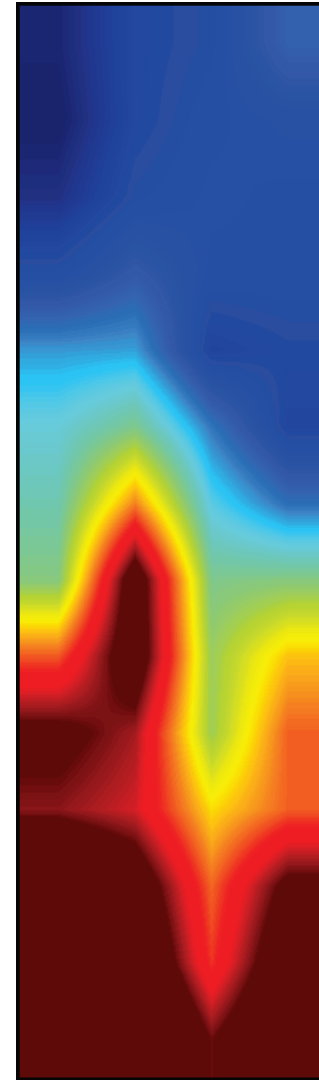
Pieux humide



Détermination de l'humidité dans un pieux par deux méthodes :



Détermination de l'humidité par densité aux rayons X



Détermination de l'humidité par double pesée





Merci de votre attention

