

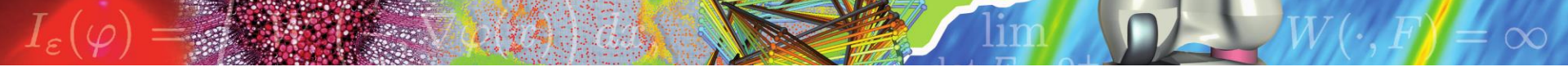
GDR sciences du bois - Séminaire 2019

Epinal 18 – 20 novembre 2019

L'incendie de Notre Dame de Paris: un drame
qu'il faut transformer en un terrain de recherche
pour les sciences du bois

Alexa Dufraisse CNRS
Chantier Scientifique de Notre-Dame
Bernard Thibaut CNRS
Laboratoire de Mécanique et Génie Civil





Introduction

L'incendie de Notre Dame de Paris a détruit et mis en lumière une des plus belles charpentes en chêne du Moyen-Age

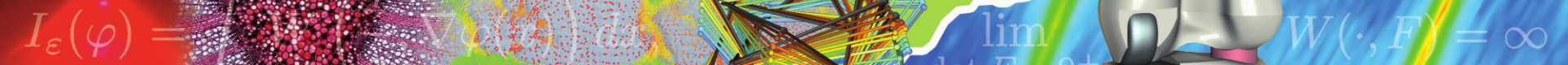
Pour les chercheurs en sciences du bois:

- quelles contributions à la connaissance permettent les reliques des 1300 poutres de chêne plus ou moins impactées par le feu ?
- quelles questions posent cette charpente qui a résisté huit siècles ?

Nota: les études nécessaires à la rénovation ne sont pas prises en compte



LeLaisserPasserA38 [CC BY-SA 4.0
creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/]

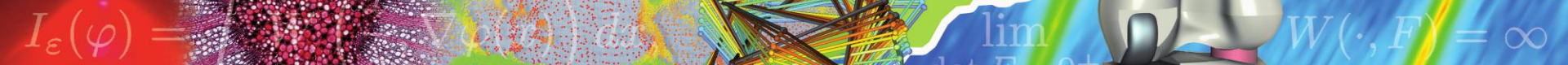


Les groupes de travail

Ministère de la culture/CNRS

- Bois/Charpente (Alexa Dufraisie CR CNRS – UMR AASPE)
- Données numériques (Livio de Luca DR CNRS – UMR MAP)
- Pierre (Yves Gallet Pr Univ. Bordeaux Montaigne UMR AUSONIUS)
- Verre (Claudine Loisel IR MC – USR CRC)
- Métal (Maxime L'Héritier MCF Univ Paris 8 – UMR ARSCAN)
- Acoustique (Mylène Pardoën IR CNRS – USR MSH Lyon Saint-Etienne)
- Génie civil (Stéphane Morel, Pr Université de Bordeaux, I2M Bordeaux)
- Émotion patrimoniale (Claudie Voisenat IR MC – UMR ILAC)

*Nos partenaires « Bois » au ministère de la culture:
Catherine Lavier et Emmanuel Maurin*



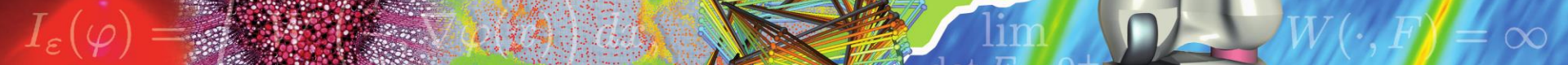
Tirer des leçons à partir des reliques de la charpente incendiée

Les restes de la charpente constituent un trésor de pièces carbonisées, intactes ou carbonisées seulement en périphérie.

Ce sont des archives précieuses tant sur les techniques de construction que sur la forêt et le climat il y a près de mille ans.

Toutes ont eu un fonctionnement de structure pendant des siècles et ont du vieillir.

Certaines parties saines ont subi de fortes températures dues à la combustion périphérique.



Étude archéologique, historique et architecturale de la charpente et des bois de Notre-Dame

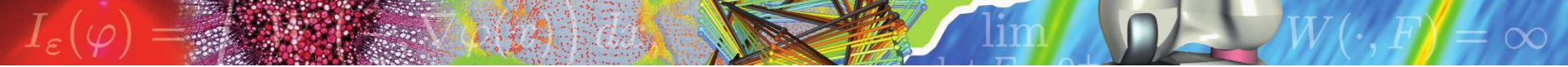


<https://www.notredamedeparis.fr/la-cathedrale/architecture/la->

Les relevés d'architectes et l'analyse des archives disponibles permettent une première description globale de la charpente et du processus de sa construction.

Les analyses en dendrochronologie sur les pièces récupérées vont préciser les datations et le lien avec les forêts de production des chênes (sylviculture et choix des arbres).

L'observation détaillée des assemblages, des marquages de charpentiers, des traces d'outil et de moyens de levage préciseront la connaissance des gestes techniques des charpentiers.

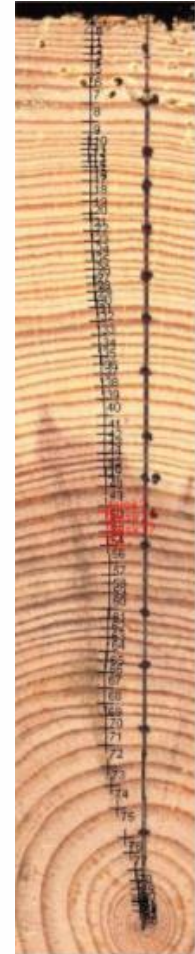


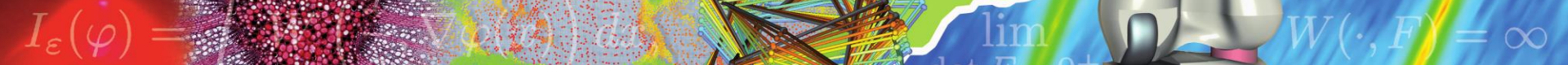
Provenance des bois, chronologie et dynamique de croissance des forêts du Moyen-Age

Les portions de tiges entières de chêne présentes dans la charpente sont les témoins des forêts utilisées à l'époque.

Des analyses sur des portions résiduelles d'une même tige, couplant la dendrochronologie et la dendrochimie pourraient lever le voile sur une sylviculture dédiée: (taillis vieilli, futaie très dense ou plus ouverte) et sur la provenance géographique des arbres.

L'analyse de la branchaison, des profils densitométriques et des angles de microfibrilles du bois permettrait de faire le lien avec les choix techniques des charpentiers.

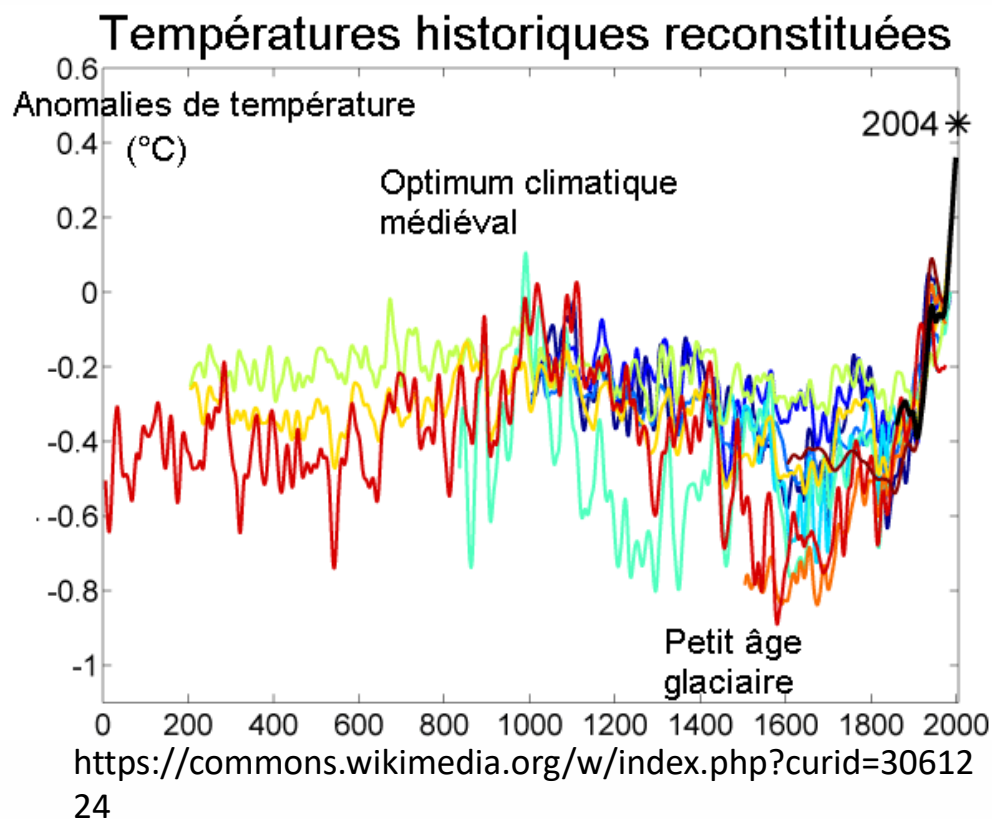


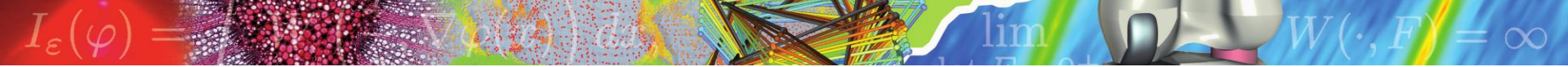


Reconstitution du climat dans la période de l'optimum climatique médiéval

Une période de climat chaud a régné sur la France entre le 10^{ième} et le 13^{ième} siècles, période de croissance des chênes utilisés dans la charpente de Notre Dame de Paris.

L'utilisation des isotopes du carbone (^{13}C) et de l'oxygène (^{18}O) doit permettre d'étudier le climat (températures et pluviométrie) pendant cette période similaire à la nôtre.

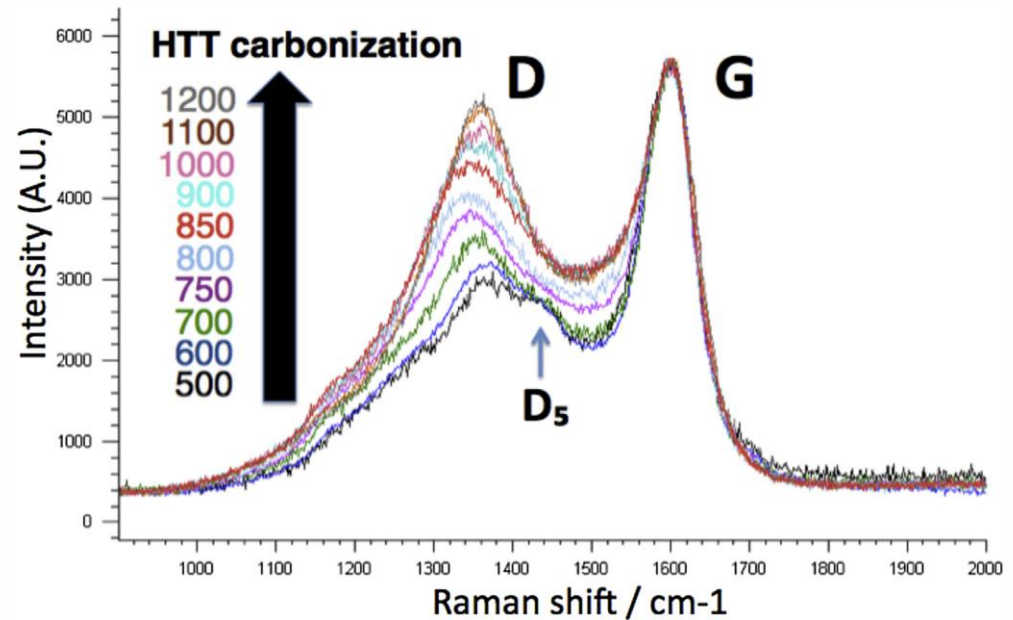




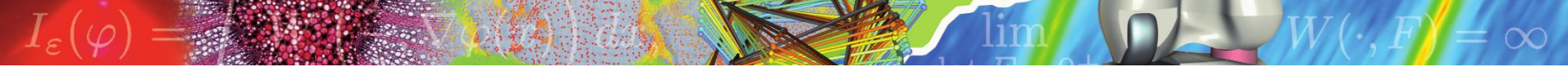
Estimation des températures de carbonisation

Une analyse couplée en
microscopie électronique à
transmission – haute résolution
et en microspectrométrie
Raman des charbons de bois
permet d'estimer les
températures de carbonisation
atteintes dans l'incendie.

On pourrait obtenir un
calibrage pour le chêne puis
déduire les températures
maximales supportées dans les
zones carbonisées des poutres.



Deldicque et al 2016



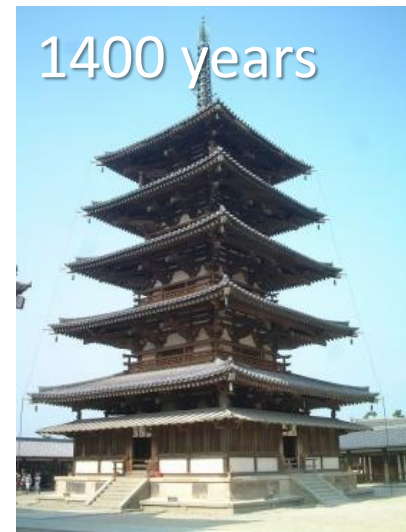
Le vieillissement du bois de chêne

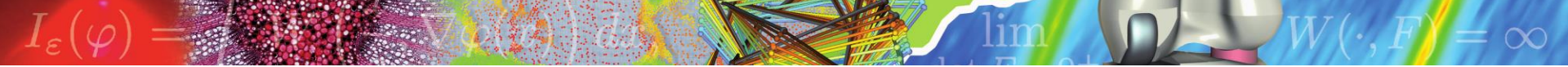
Les matériaux évoluent pendant la durée de leur usage, c'est le vieillissement mécanique, physique ou chimique.

Pour les matériaux du patrimoine et des temps très longs (plusieurs siècles) il faut comparer des objets âgés et récents « identiques ».

Dans le cas du bois la singularité de chaque pièce est une contrainte. Elle nécessite des approches probabilistes avec des grands nombres d'objets à différents temps de référence.

Les pièces récupérées après incendie permettent la constitution de lots significatifs de pièces non carbonisées et carbonisées en périphérie à comparer à des chênes actuels similaires.





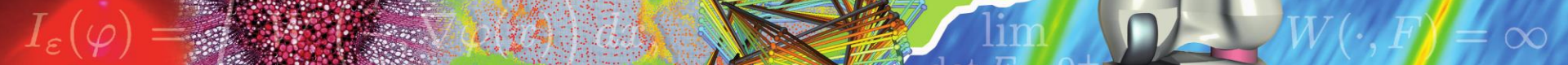
Comprendre les innovations des charpentiers du Moyen-Age

Les charpentiers sélectionnaient des arbres jeunes (moins de 100 ans), élancés et de petit diamètre (25 cm)

Les poutres étaient mises en place dans la charpente rapidement après l'abattage qui se faisait en hiver et n'étaient donc pas séchées

Les troncs entiers étaient juste équarris pour garder la résistance de l'arbre





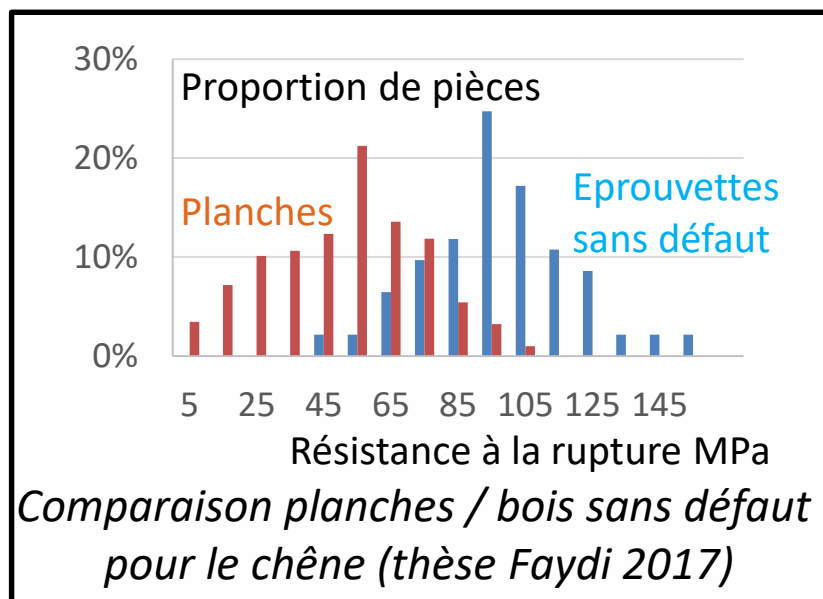
Propriétés des brins de chêne équarris

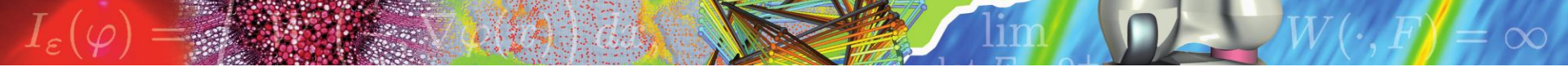
Le bois rond garde le fil du bois parallèle à la direction du chargement dans les couches en périphérie du tronc, où la contrainte est maximale

L'utilisation traditionnelle de la hache pour équarrir la poutre préserve au mieux le fil du bois en périphérie mais la forme reste sinueuse

L'utilisation du sciage ou du canter pour équarrir donne une géométrie parfaite mais le fil du bois peut faire un angle significatif en périphérie

Quelle est la distribution des résistances du brin équarri, du bois rond, des sciages et celle des éprouvettes de bois de fil sans défaut ?





Conséquence mécanique de l'utilisation de bois vert en charpente monumentale

Lors du séchage:

Diminution du poids propre des poutres

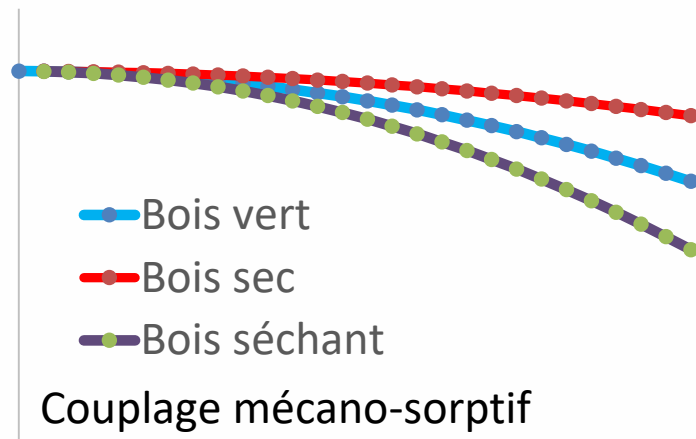
Diminution de rayon, d'aire et d'inertie de la section

Augmentation du module d'élasticité et de la résistance à la rupture en compression et en flexion

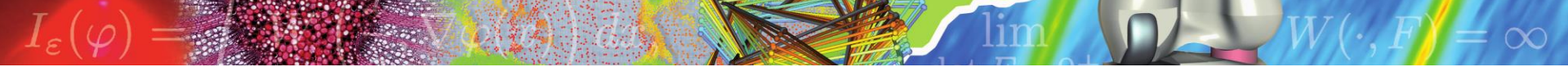
Lors du séchage sous chargement:

Diminution des déformations de poutres

Couplage mécano-sorptif qui augmente la flèche



<https://www.notredamedeparis.fr/la-cathedrale/architecture/la-charpente/>



Modélisation mécanique de la charpente de Notre Dame de Paris

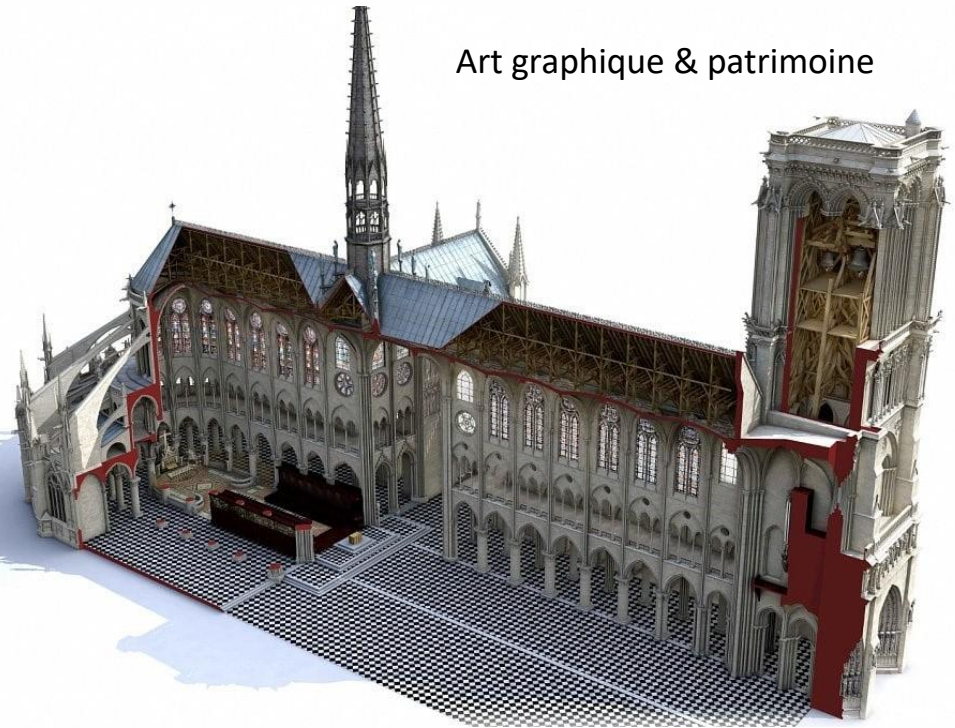
On dispose d'une description 3D de la charpente avec une bonne précision.

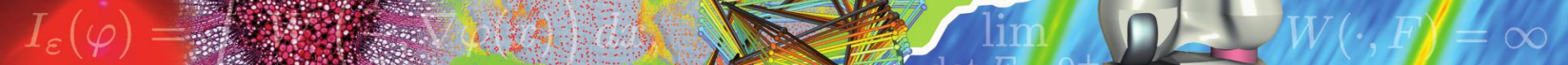
On peut simuler la résistance des poutres et le comportement des assemblages.

Cela peut servir de base à une modélisation numérique de la rigidité et de la résistance de cette charpente afin de comprendre sa tenue exceptionnelle.

On pourrait alors tester la sensibilité de la réponse mécanique aux paramètres d'entrée et proposer de nouvelles innovations constructives en chêne

Art graphique & patrimoine



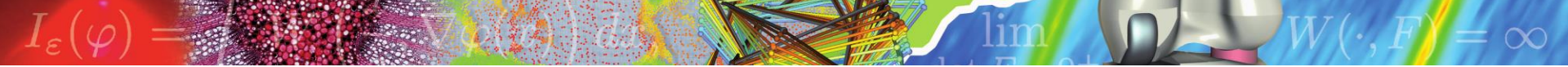


La mobilisation de la communauté sciences du bois

Le financement de recherches n'est pas inclus dans les dons pour la rénovation, il faut une mobilisation de nos équipes pour:

- inclure ces recherches dans nos questionnements futurs
- mobiliser sur ces sujets des financements habituels
- solliciter des partenariats volontaires
- constituer des équipes très ouvertes
- suggérer des financements spécifiques

Une première étape lors de ces journées serait de mieux dessiner les contours de projets, notamment les partenariats au sein du GDR et avec les professionnels forestiers, artisans, industriels. Ebaucher des pistes de financeurs publics (régions?) ou privés (industriels?) serait bienvenu.



Merci de votre attention



Le grand cerf des monts d'Arrée
Mickael Rimbault