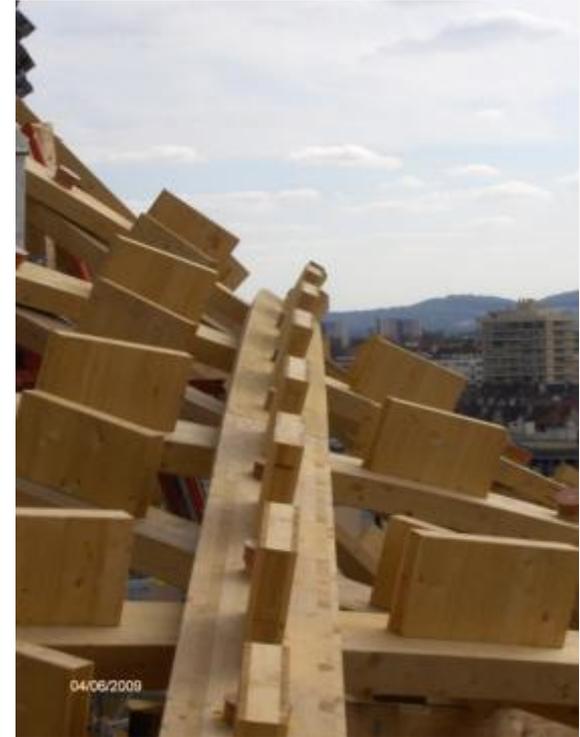


# Construction bois

enjeux et verrous, sur quoi devrait-on focaliser les efforts de recherche ?



Laurent BLERON – LERMAB

*avec l'aide de Frédéric R.&D., Eric M.&F., Caroline R., Romain R., André T.*

# Quel type d'habitat ?

Projet « Outsider »



Photo : © Pierre Belleoud, Léa Dillard et Vincent Robin

# Quel type d'habitat ?



## La fin de l'étalement urbain

Un exemple parmi d'autres est celui des grandes mégalopoles qui ont été bâties après la découverte du pétrole. Elles ont été conçues en intégrant l'automobile depuis le début et deviendront en grande partie inhabitables. En particulier, tous les lotissements pavillonnaires situés à la périphérie des villes, non desservis par les transports en commun, seront les premières victimes de la fin du pétrole. **Une redensification des villes semble inévitable.**

Note optimiste : le pétrole devenu hors de prix, nous **saurons concevoir des villes nouvelles avec un habitat collectif de qualité**, convivial (avec de nombreux locaux collectifs) pourquoi pas des tours insonorisées, isolées aux normes HQE, avec, au pied, des jardins familiaux et de vastes espaces verts ?

## La fin de la croissance

La croissance, ce n'est pas uniquement plus de biens produits, c'est également plus de matières premières et plus d'énergie consommées.



# Thermique du bâtiment et Comportement thermo-hygro-mécanique du matériau



# Conception des enveloppes

## Contexte :

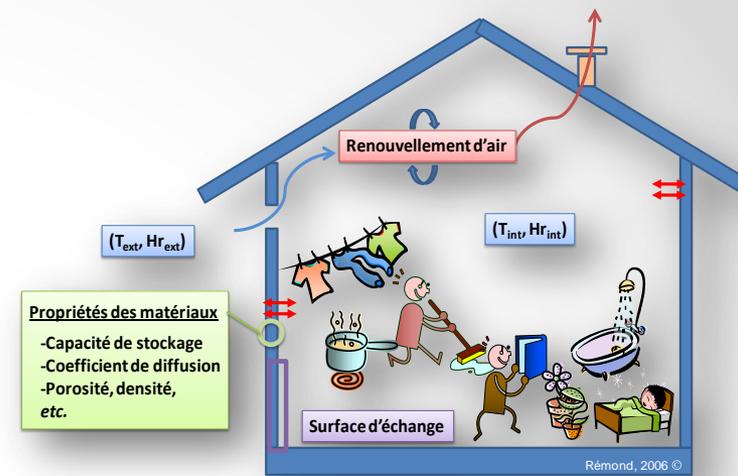
- Sous estimation des performances thermiques et hydriques de l'habitat bois dans les méthodes et outils de dimensionnement actuels.

## Problématique :

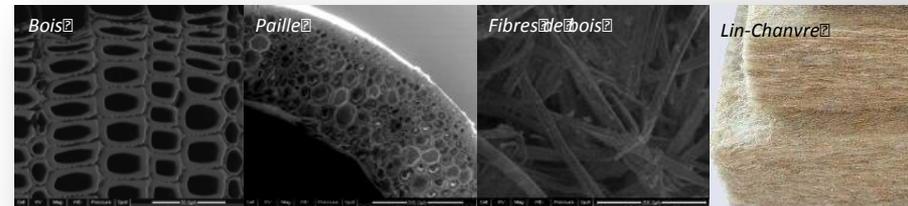
- Concevoir des outils et méthodes fiables de conception hygrothermique d'un bâtiment en bois afin d'optimiser ses performances énergétiques ainsi que le confort intérieur
- Contraintes environnementales



Utilisation croissantes de matériaux lignocellulosiques dans l'enveloppe = matériaux hygroscopiques souvent plus vulnérables aux biodégradations



Etanchéité à l'air + contrôler le renouvellement d'air intérieur au plus juste



## Difficultés (*liste non exhaustive*):

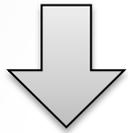
- ✓ Savoir **prédire les transferts couplés masse/chaleur** au sein de parois multicouche et multicomposant et la **pérennité** des matériaux agrosourcés,
- ✓ Hypothèse de l'équilibre thermodynamique locale pas toujours vrai dans les matériaux fibreux hygroscopiques (: matériau non homogénéisable),
- ✓ **Comment traiter la variabilité** des propriétés des matériaux d'origine biologique ?
- ✓ Modèles **gourmand en paramètre physique** à caractériser,
- ✓ **Méthodologie commune** entre laboratoires pour la **caractérisation des matériaux** (isothermes, coefficient de diffusion, conductivité)
- ✓ Besoin de collecter des données expérimentales pour **valider** les prédictions des codes
- ✓ Non prise en compte du transfert d'humidité dans les outils de dimensionnement thermique du bâtiment ....



besoin d'une méthodologie de conception énergétique des bâtiments tenant compte **des transferts couplés d'humidité et de chaleur aux 2 échelles spatiales**  
**Parois/enveloppe**

# Comportement thermo-hygro-mécanique du matériau

Comprendre et modéliser les effets mécano-sorptifs à l'échelle matériau

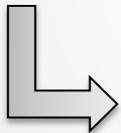


Transposer le modèle matériau aux éléments structuraux

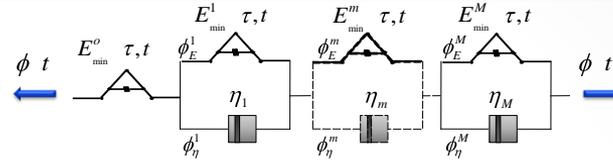
Couplage du modèle mécanique au transfert de masse

- Hétérogénéité de la contrainte mécanique (flexion)
- Gradient hydrique (pièces massives)

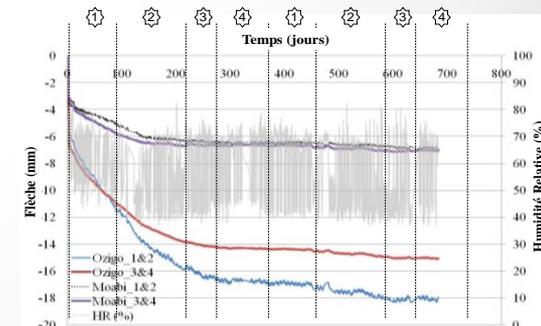
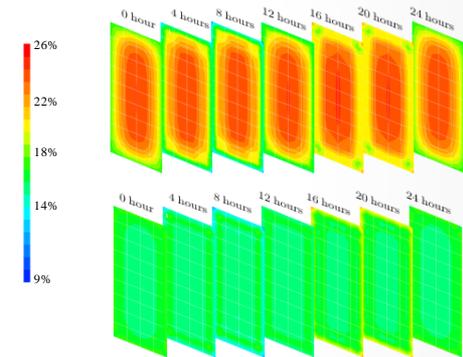
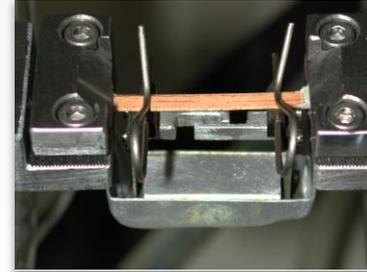
Interaction entre chargement mécanique et variations d'humidité interne.



- Viscoélasticité
- Retrait-Gonflement
- Mécano-sorption (couplage)



Ex : Modèle hygro-verrou  
(Montpellier – Egletons – Clermont Ferrand - Lyon)



Ex : Accélération du processus de fluage à long terme

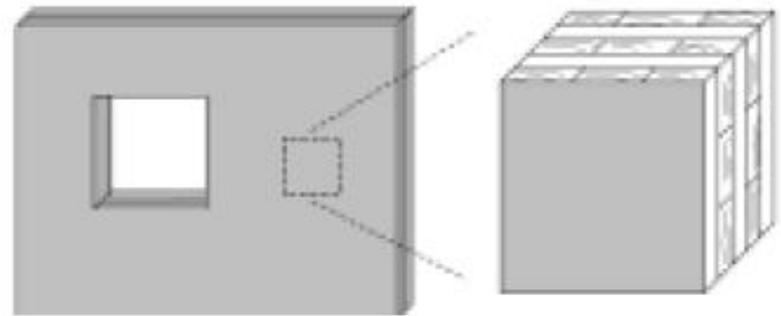


# Quel type d'habitat ?

Bâtiment de 6 étages en panneaux massifs (CLT)



Bâtiment multifamilial de 6 étages



# Comportement des structures



# Comportement à chaud

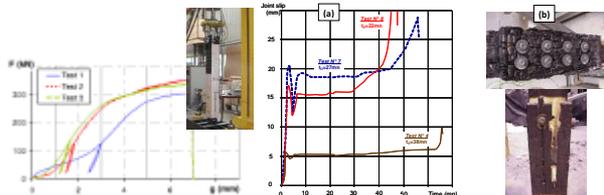
- ✓ Comportement de structures, de leurs composants et de leurs assemblages
  - Quid de l'influence du type de colle dans les panneaux CLT
  - Assemblage bois/métal
- ✓ Restaurer des règles de moyens de justifications de la résistance au feu des parois opaques à ossature bois dans un contexte en cohérence avec les nouveaux outils d'évaluations Européen
- ✓ Intégrer des solutions de parois extérieures bois optimisées dans l'Instruction Technique IT 249.
- ✓ Optimiser la réaction au feu de certaines essences intégrant des critères de tris en scierie portant sur des paramètres matériaux pouvant éventuellement permettre d'atteindre niveau de réaction au feu plus performant



## Approches expérimentales

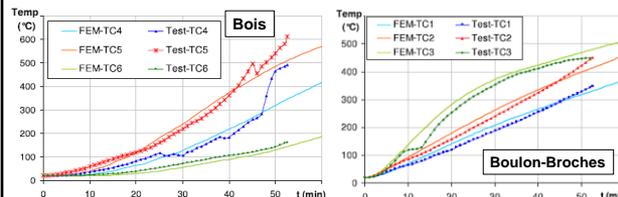
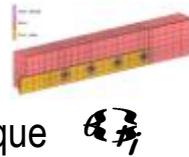
UBP: A froid

CSTB: feu ISO



## Modélisation 3D

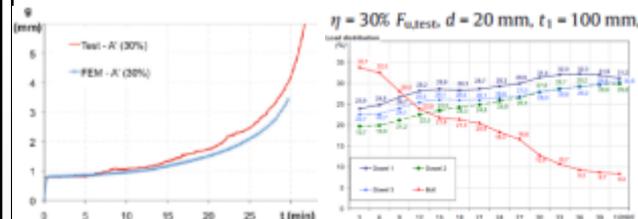
### Simulation thermique



## Couplage Thermo-mécanique

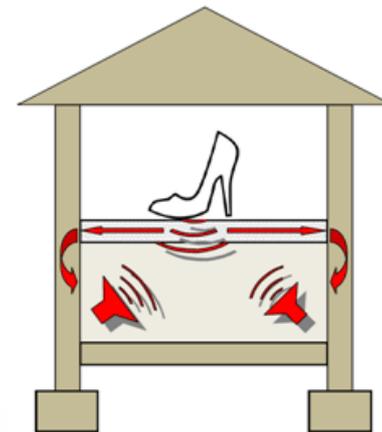
$$\sigma \rightarrow (\sigma, \varepsilon)$$

Contact  
Frottement  
Plasticité



# Comportement acoustique et vibratoire

- ✓ Trouver des solutions économiques avec un niveau de performance acoustique suffisant pour les planchers bois
- ✓ Peu de méthodes de prédiction de la performance acoustique des ouvrages légers bois à partir de la performance des éléments (parois, planchers..).
- ✓ Travailler sur les planchers en bois feuillus
- ✓ Etudier le comportement vibratoire de planchers appuyés sur une structure non rectangulaire



# Comportement sismique des constructions bois

## ✓ Construction multi-étages

Concernant les maisons en bois, il est capital d'enrichir les connaissances qui séparent actuellement la filière béton de la filière bois d'autant plus que le nombre de justifications sera en augmentation avec l'élargissement des zonages concernés par la dernière évolution de la réglementation sismique.

## ✓ Comportement des assemblages

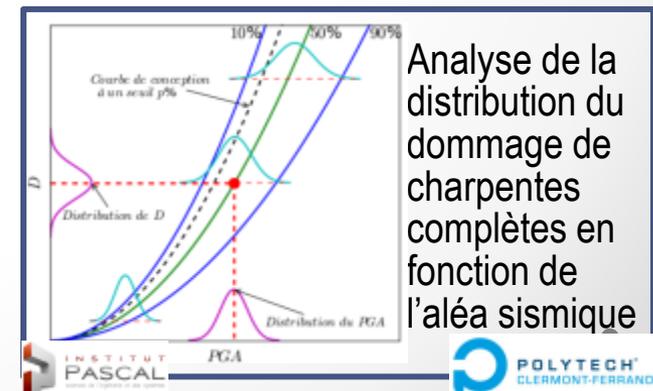
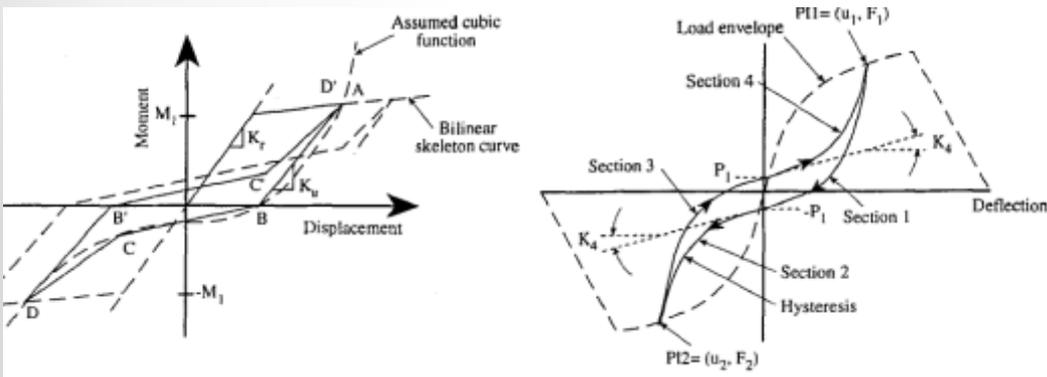
## ✓ Comportements des murs de contreventement, des planchers diaphragmes

## ✓ Renforcer ou réhabiliter des structures anciennes

## ✓ approche fiabiliste des charpentes industrielles



Ario Ceccotti - Ivalsa

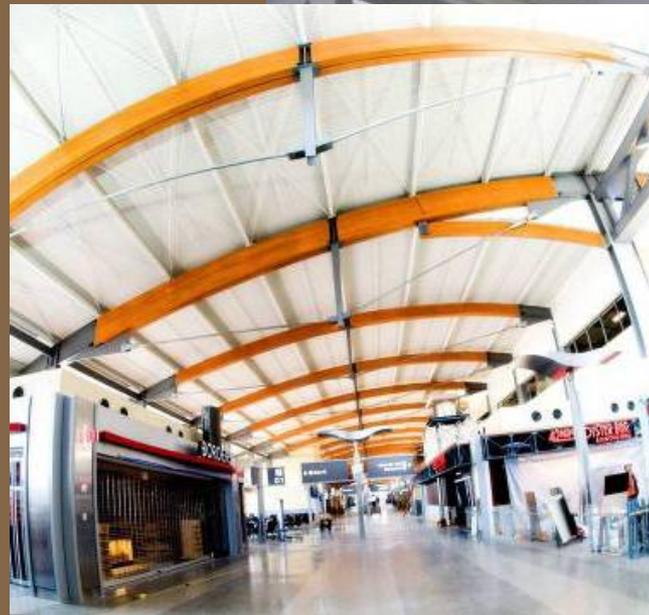


Analyse de la distribution du dommage de charpentes complètes en fonction de l'aléa sismique

# Quel type d'habitat ?

**Certainement des structures mixtes  
avec beaucoup de préfabrication**

Carboglulam®  
poutre de lamellé-collé  
renforcée avec du carbone



# Comportement des assemblages



# Nouvelles techniques d'assemblages avec les machines à commandes numériques

- ✓ Besoin de règles de dimensionnement qui prennent en compte les nouvelles géométries possibles (non introduit dans EC5)
- ✓ Règles de dimensionnement pour les poutres entaillées ou percées
- ✓ Intégrer l'aspect « massif » dans la prise en compte d'un  $k_{def}$  et d'un  $k_{mod}$  (diffusion, mécano sorption, etc), que ce soit au niveau des assemblages ou des éléments
- ✓ Contraintes internes dues aux variations hydriques : effets sur la variation de la résistance en cisaillement et certains détails d'assemblages bois/bois
- ✓ Mieux appréhender le comportement des assemblages traditionnels de type embrèvement, tenon-mortaise et queue d'aronde sollicités par un feu ISO et soumis à un chargement caractéristique de leur domaine d'emploi et apporter de la matière au développement de méthodes de dimensionnement aujourd'hui inexistantes



# Renforcement des performances des assemblages et des zones de faiblesses des éléments bois

- ✓ Utilisation de différents organes / systèmes comme moyen de renforcement pour éviter des ruptures fragiles ( tiges collées, vis, EWP, fibres polymères, etc..)

*Quels effets de la variation hydrique ou thermique sur le comportement des assemblages par tiges collées (effets immédiat et à long terme). Peut-on le prédire ?*

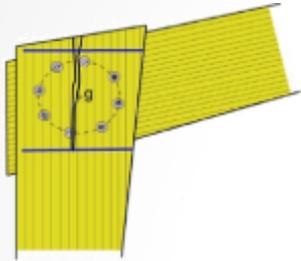
- ✓ Assemblages transmettant des moments : sujets à des risques de fendage (retrait/gonflement) et de rupture en cisaillement  
➡ limiter ces risques (flasques CP collées, tiges filetées collées, tiges vissées, etc.)

- ✓ Renforcement du bois en compression et traction transversale  
Prendre en compte la diffusivité des contraintes dans les zones singulières d'appuis  
Rendre les règles robustes et ne pas avoir un changement important de résistance pour un changement faible d'un paramètre (ex  $L_{appui}$ )



# Renforcement des performances des assemblages et des zones de faiblesses des éléments bois

- ✓ effets de l'humidité : comment minimiser son impact ?

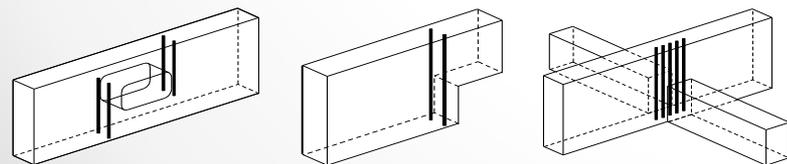


- ✓ fissuration et son évolution : comment limiter ou bloquer cette fissuration, comment intervenir sur une fissuration existante ?

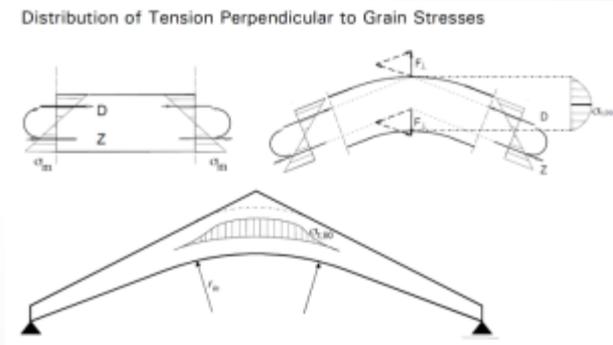
- ✓ points singuliers (entailles, assemblages, etc.)



La poutre à simple décroissance



Rupture par traction perpendiculaire



# Valorisation des feuillus /bois tropicaux



**Enjeu principal** : lever les freins techniques à l'utilisation des feuillus dans certains domaines, notamment celui de la construction.

ressource française est composée à 1/3 de résineux et à 2/3 de feuillus  
marché français requiert 1/3 de feuillus et 2/3 de résineux

→ nécessité de travaux et recherches de valorisation des feuillus



**Associées à un dimensionnement aux Eurocodes**, les essences de bois utilisées en structure bois requièrent un classement mécanique, visé par le Marquage CE

Aussi, il est à craindre que certaines essences secondaires (châtaigner, robinier, ...), ne puissent plus être mises sur le marché pour des applications structurales (charpentes, solivage, mur,...), faute de reconnaissance normative

Quid des tropicodes ?



Joseph Gril



# Valorisation des chênes de qualité secondaire en Bourgogne dans la construction



## ❑ Région Bourgogne ressource en chênes : 74 millions de m<sup>3</sup>

Rappels sur le classement professionnel du chêne en quatre catégories

Qualité A « tranchage » :  
Billons 2.5 m min. / Ø fin bout 45 cm

Qualité B « premier choix » :  
Billons 2.5 m min. / Ø fin bout 35 à 40 cm

Qualité C « second choix » :  
Billons 2 m min. / Ø fin bout 25 à 30 cm

Qualité D « traverse » :  
Billons 2 m min. / Ø fin bout 25 à 30 cm



Ces arbres se trouvent principalement : **Chênes de qualité secondaire : 50 millions de m<sup>3</sup>**

- dans les jeunes futaies régulières en attente d'éclaircie, le gisement qui semble le plus important,
- dans des peuplements pauvres ou appauvris : la valorisation de ces bois peut permettre de financer leur exploitation,
- dans les peuplements en cours de conversion et en attente d'éclaircies un peu rémunératrices.

# Valorisation des chênes de qualité secondaire en Bourgogne dans la construction

## ❑ La ressource en bois ronds :

- Bois souvent mal conformés,
- Petits / gros diamètres,
- Présentant une nodosité importante

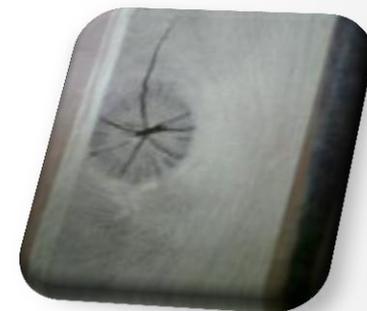


## ➔ Bois qui ne rentrent pas en scierie

## ❑ Les sciages :

Caractéristiques d'aspect :

- Présence de nœuds importante
- Présence de fentes
- Présence d'aubier
- Entre-écorce, ....



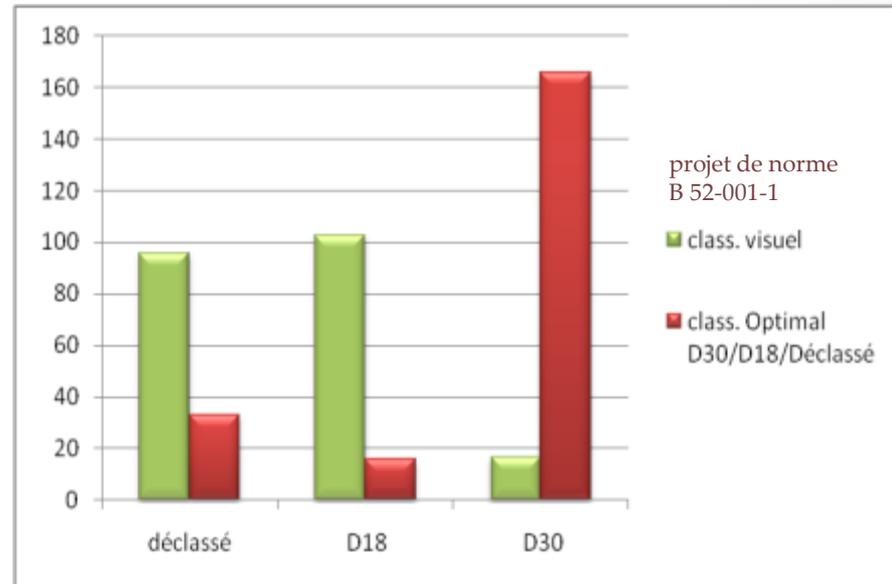
# Valorisation des chênes de qualité secondaire en Bourgogne dans la construction



## ❑ Caractérisation mécanique :

Essais réalisés sur un lot de planches issues du sciage d'un lot de 40 billons (longueur 2,10 m, diamètres 220 mm – 350 mm).

215 planches séchées (10-12%), rabotées, de section 20X80 mm<sup>2</sup>,  
77 planches de longueur 1 m et 138 de longueur 1,60 m.



- ✓ Le classement par méthode visuelle est très pénalisant (45% déclassé)
- ✓ 80 % du lot en catégorie D30 par méthode destructive

# Valorisation des feuillus /bois tropicaux

## Offre EUROPE

8 fabricants européens + 1 canadien

3 fabricants français

## Machines homologuées pour la France

13 machines à fin mai 2012

4 essences (ou groupe d'essence)

Douglas,

Sapin/Epicéa,

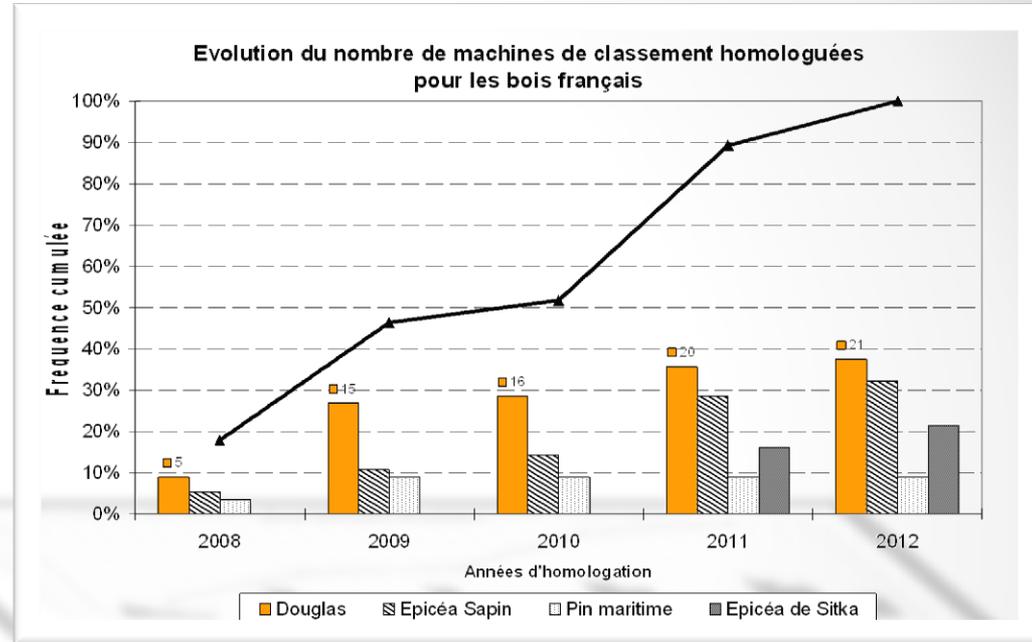
pin maritime,

Epicéa de sitka

Réglage possible Bois verts / bois secs selon essence

Soit  $13 * 4 * 2$  (BV & BS) = 104 offres potentielles

il y en a que 57 possibles aujourd'hui et aucune sur feuillus



# Durabilité des structures



# Durabilité des structures bois

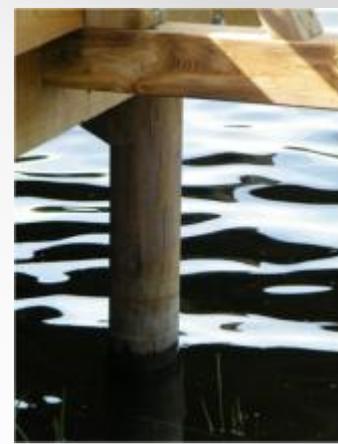
Vieillessement du bois vis-à-vis du climat (ensoleillement, pluie, etc.)

Vieillessement des traitements (peintures, lasures, etc.)

Risques biologiques liés à des humidités internes élevées

Endommagement et fissuration lors des phases de séchage : quelles influences ?

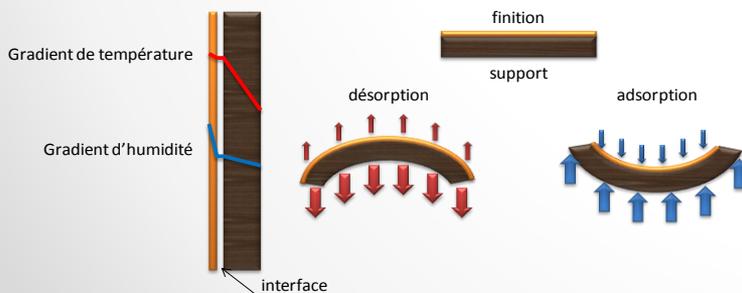
Développer des modèles prédictifs multi-techniques



Passerelle (Sanchev)



Comprendre le vieillissement des éléments traités



Diffusion hydrique différentielle (couche de protection)

Retrait gonflement différentiel

Contraintes hydriques (bois, couche, interface)

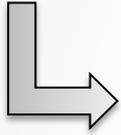
Mécano-sorption

Vieillessement physicochimique du support

Vieillessement physicochimique de la couche protectrice

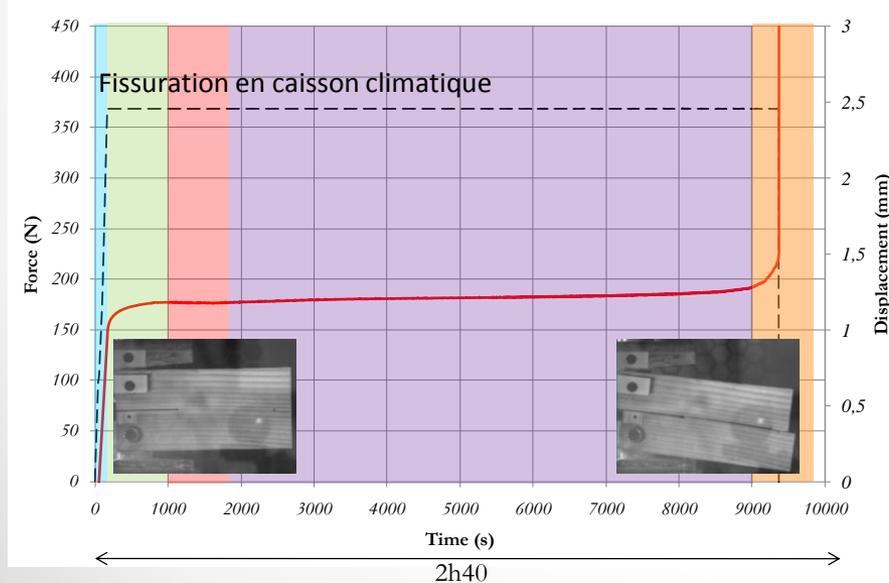
# Durabilité des structures bois

- Innovation des systèmes constructifs pour limiter les risques biologiques et développer des outils de surveillance



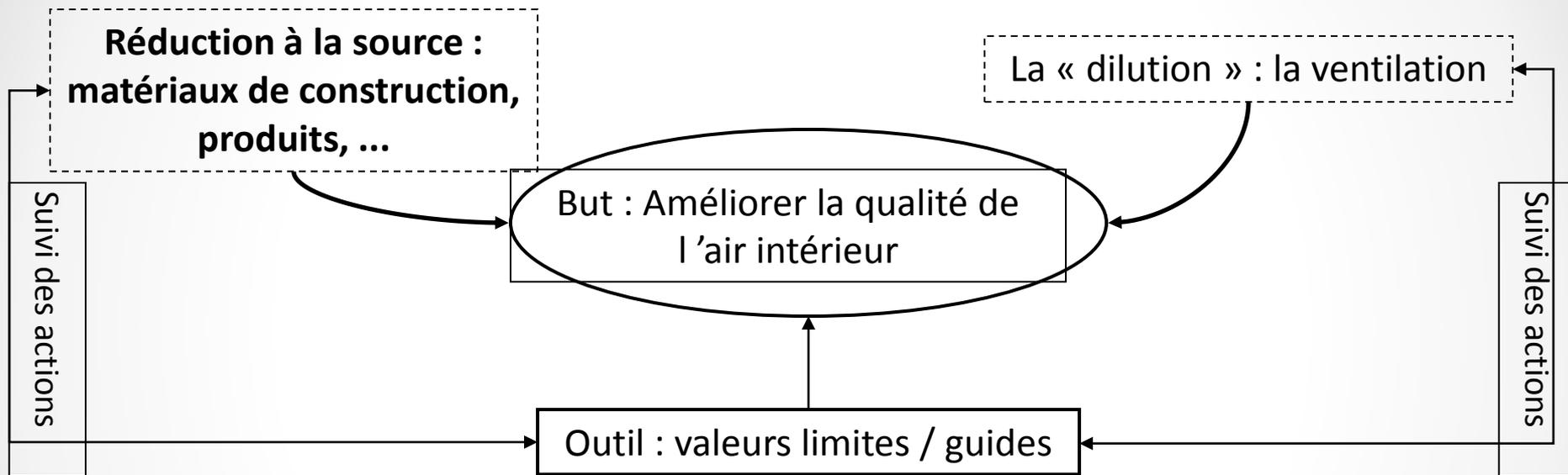
Limiter l'impact de l'humidité par traitements thermiques  
Développer la mesure de l'humidité dans les sections structurales  
Développer le monitoring d'ouvrages à risques

- Comprendre les processus de fissuration lors du séchage pour les maîtriser



Monastère de Datong, province de Chanxi . Chine

# Qualité de l'air intérieur, impacts environnementaux, déconstructibilité & gestion des déchets



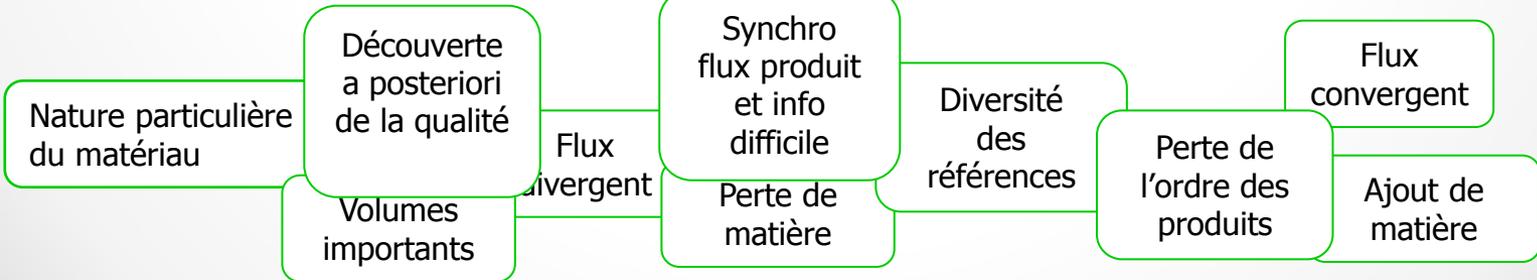
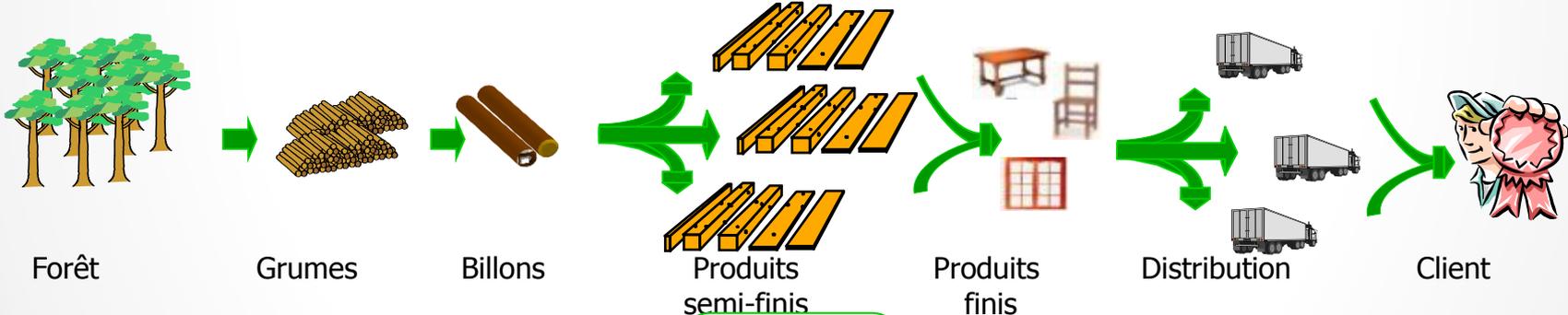
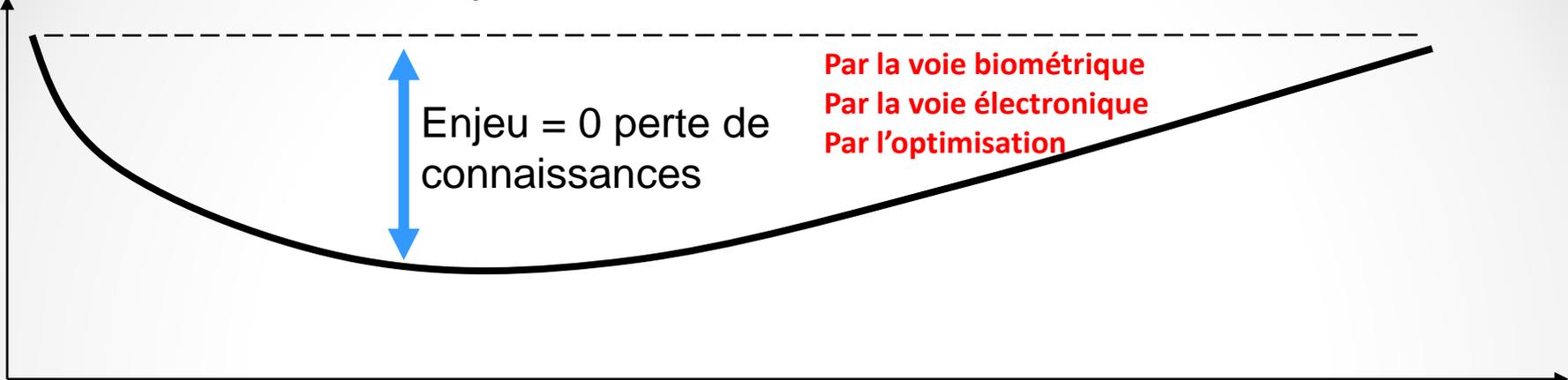
**Performances des colles « vertes » pour l'industrie des panneaux de particules en comparaison avec adhésifs aminoplastiques commerciaux ?**

**Variation au cours du temps des COV dans le bâtiment**



# Les pertes d'informations dans la filière Bois

Quantité de connaissances possédées



# Apporter une assistance à l'industrialisation de la filière construction bois par l'ingénierie numérique (BIM)

De l'intelligence sur les produits à de l'intelligence sur/dans les bâtiments

