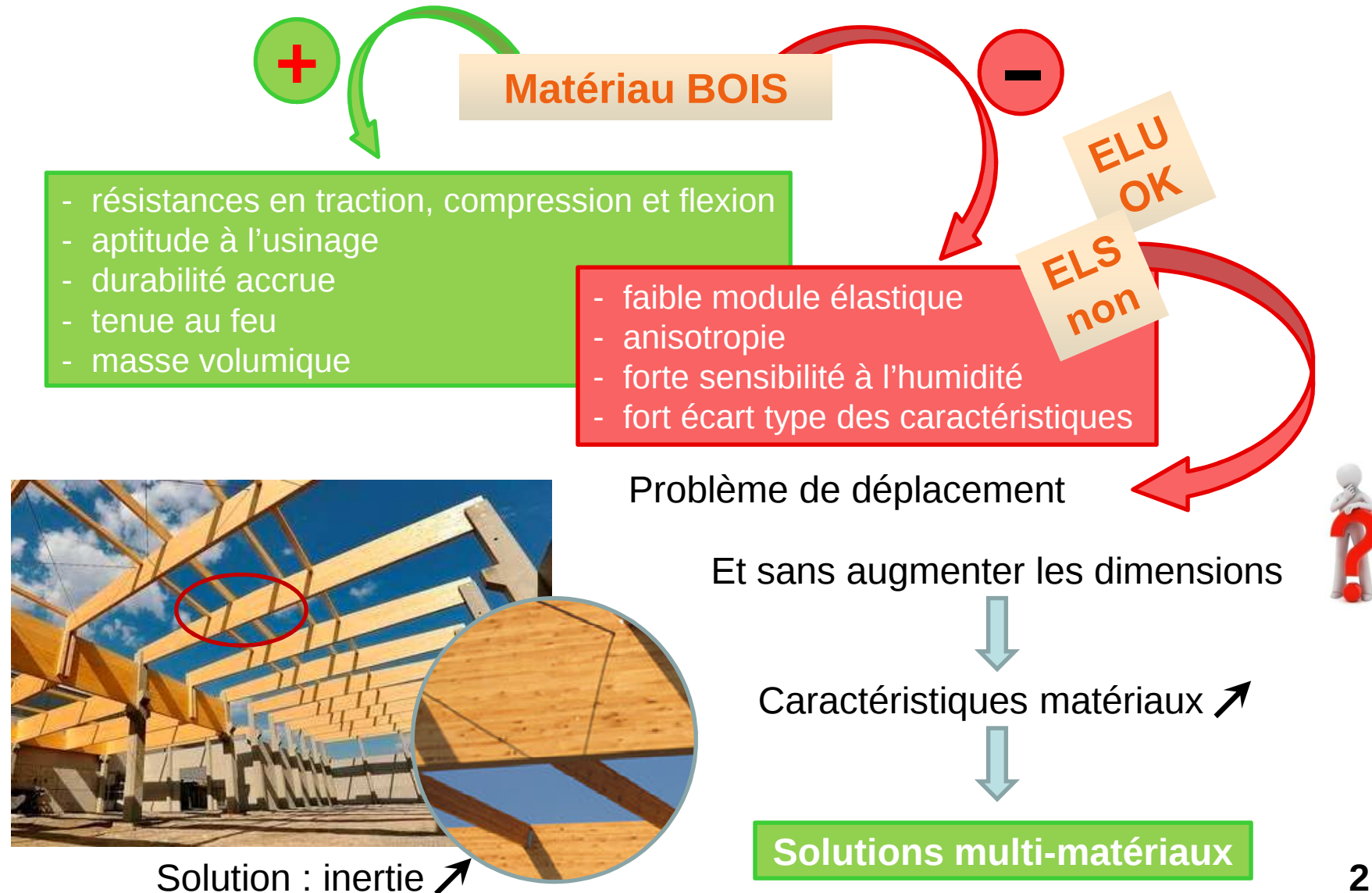


# Structures à Hautes Performances à base de lamellé-collé et de BFUP

Laurent MICHEL, Kanhchana KONG et Emmanuel FERRIER

Laboratoire des Matériaux Composites pour la Construction  
Université LYON 1  
82 Boulevard Niels BOHR  
69622 VILLEURBANNE Cedex  
[laurent.michel@univ-lyon1.fr](mailto:laurent.michel@univ-lyon1.fr)  
[emmanuel.ferrier@univ-lyon1.fr](mailto:emmanuel.ferrier@univ-lyon1.fr)

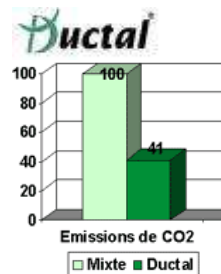


# Faire coexister le bois avec d'autres matériaux dans les mêmes produits

## Béton fibré ultra haute performance



Passerelle de Sherbrooke au Canada



## Armatures composites



**PULTRALL**



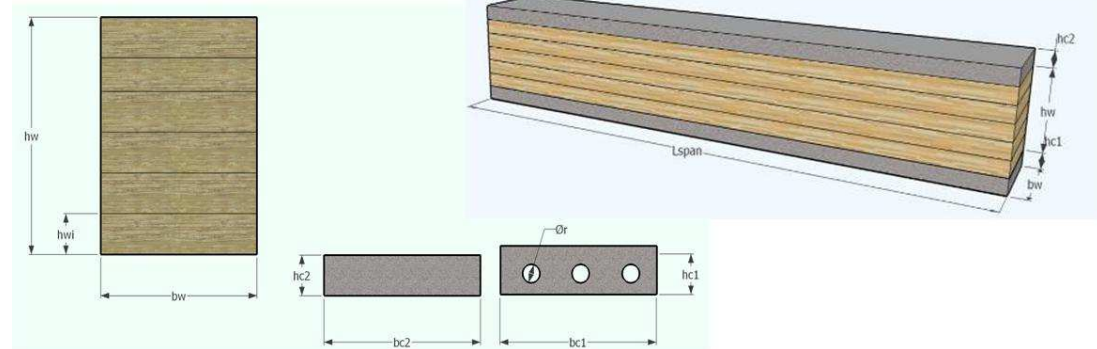
### **BFUP**

Résistance à la compression : 200 MPa  
Résistance à la traction : 15 MPa

### **PRF**

Module d'élasticité : 70 GPa à 200 GPa  
Résistance : 1500 à 2800 MPa

# Structures mixtes Bois/BFUP



E. Ferrier, P. Labossiere, KW. Neale, 2009

F. Toulemonde, R. Leroy, 2009



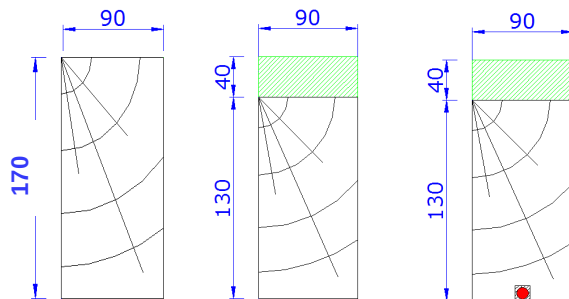
P. Hajek, 2012, L.Loulou, 2013



M. Schafer, 2010



## Validation du concept sur prototypes : poutres



A

B

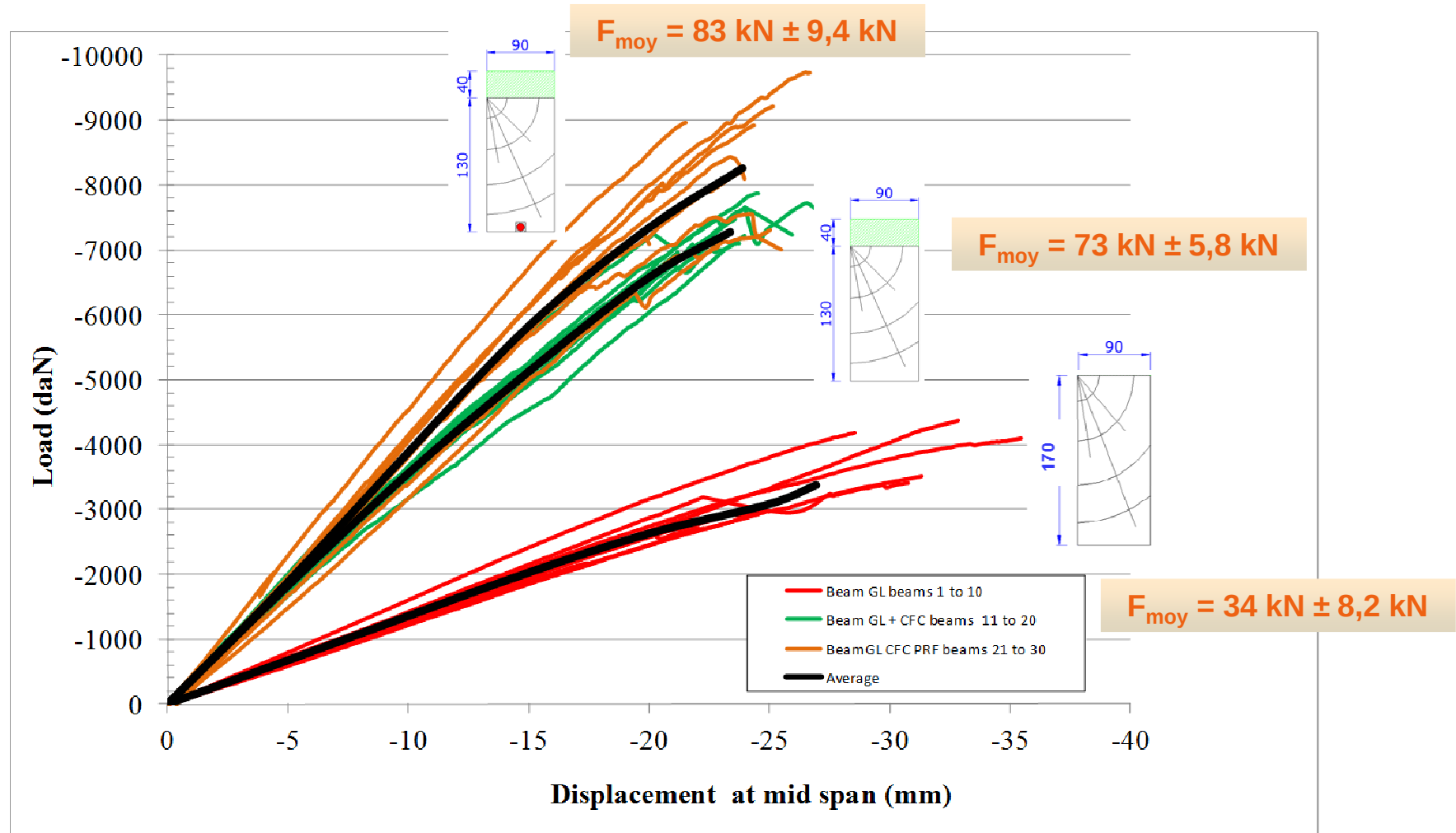
C

A : poutre BLC  
B : poutre BLC + BFUP  
C : poutre BLC + BFUP + CFRP

10 poutres  
10 poutres  
10 poutres  
30 poutres

Portée : 2m  
Flexion 4 points  
hauteur : 170 mm  
largeur : 90 mm





## Modes de rupture observés

### *Rupture du bois en traction*



Poutre BLC

### *Eclatement du béton en compression*



Poutre BLC + BFUP

### *Glissement du jonc*



Poutre BLC + BFUP + CFRP

## Impact sur l'analyse vibratoire des planchers ?



Dimensionnement correct si :

Calcul de souplesse  
Critère : 1 à 1,6 m/MN

Vitesse de vibration impulsionnelle  
 $V_{\max} < V_{\max, \text{lim}}$

Calculs réalisés sur des poutres de sections transversales similaires 90 x 170 mm :

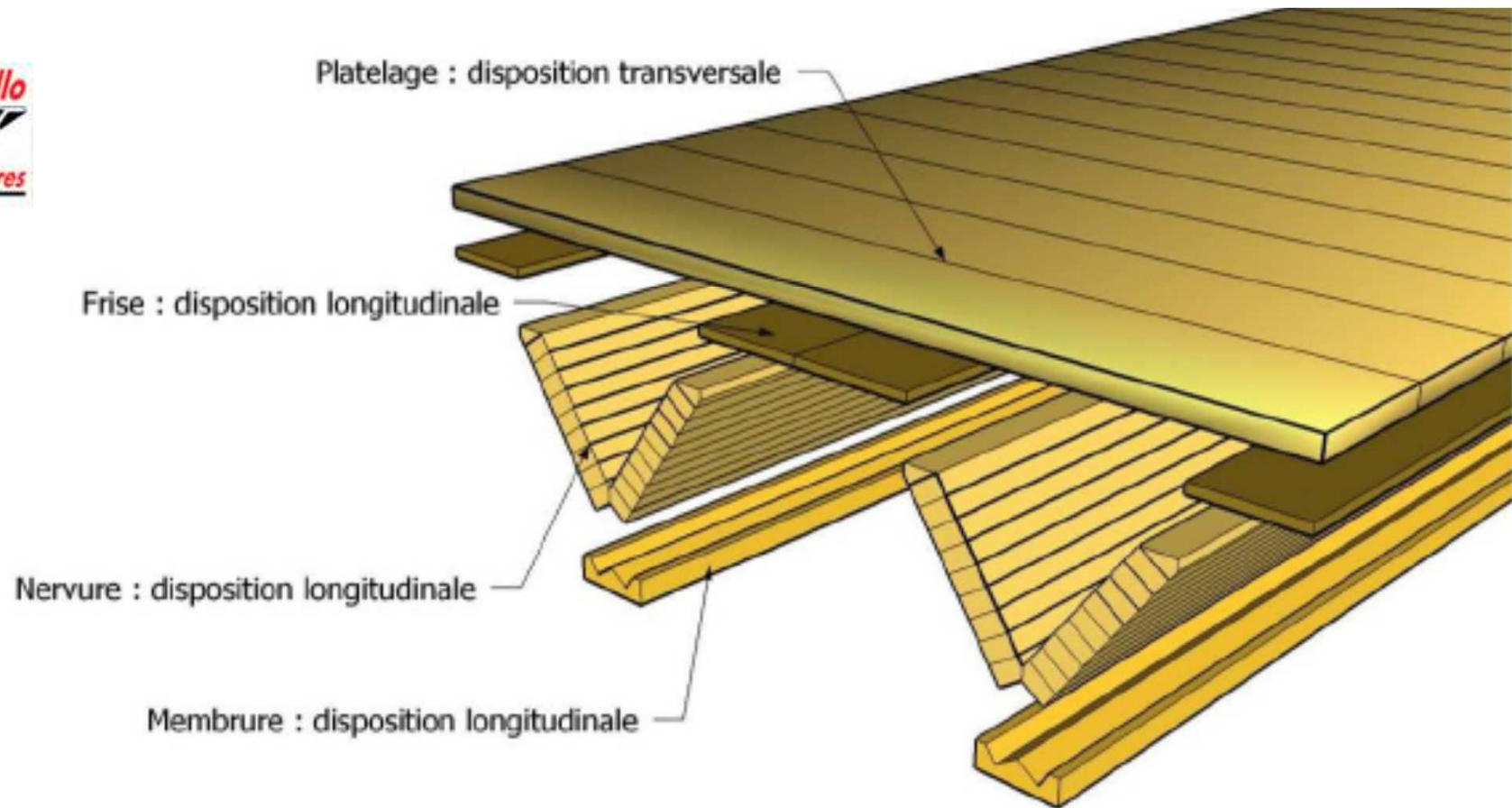
- poutre BLC
- poutre BLC + BFUP
- poutre BLC + BFUP + CFRP

## Impact sur l'analyse vibratoire des planchers ?

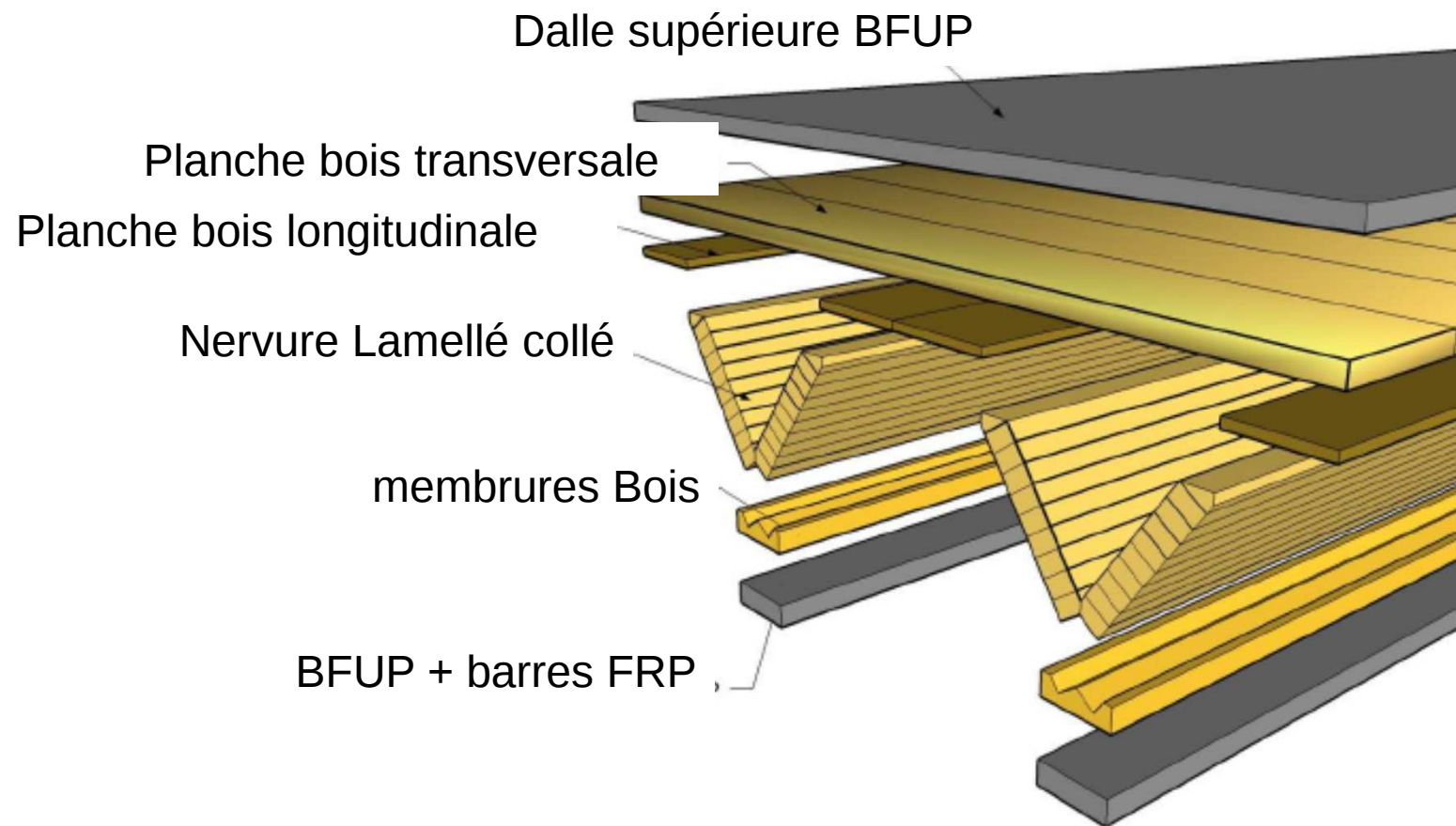
|                  |                      | Poutre BLC           | Poutre BLC renfort 1  | Poutre BLC renfort 2   |
|------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| Entraxe de 40 cm | Souplesse            | 1,6 m/MN             | 1,6 m/MN              | 1,566 m/MN             |
|                  | Vitesse de vibration | 10,2 mm/s < 20 mm/s  | 10,6 mm/s < 18,5 mm/s | 11,1 mm/s < 19,1 mm/s  |
|                  | Portée atteinte :    | 3,7 m                | 4,2 m                 | 4,4 m                  |
| Entraxe de 60 cm | Souplesse            | 1,55 m/MN            | + 19%<br>1,59 m/MN    | 1,55 m/MN              |
|                  | Vitesse de vibration | 6,6 mm/s < 19,7 mm/s | 8,8 mm/s < 17,0 mm/s  | 8,8,2 mm/s < 17,0 mm/s |
|                  | Portée atteinte :    | 2,6 m                | 3,9 m                 | 4,1 m                  |

*Note: Green arrows and boxes highlight the increase in load capacity (Portée atteinte) for the reinforced beams compared to the standard BLC beam.*

## Validation du concept sur prototypes : panneaux

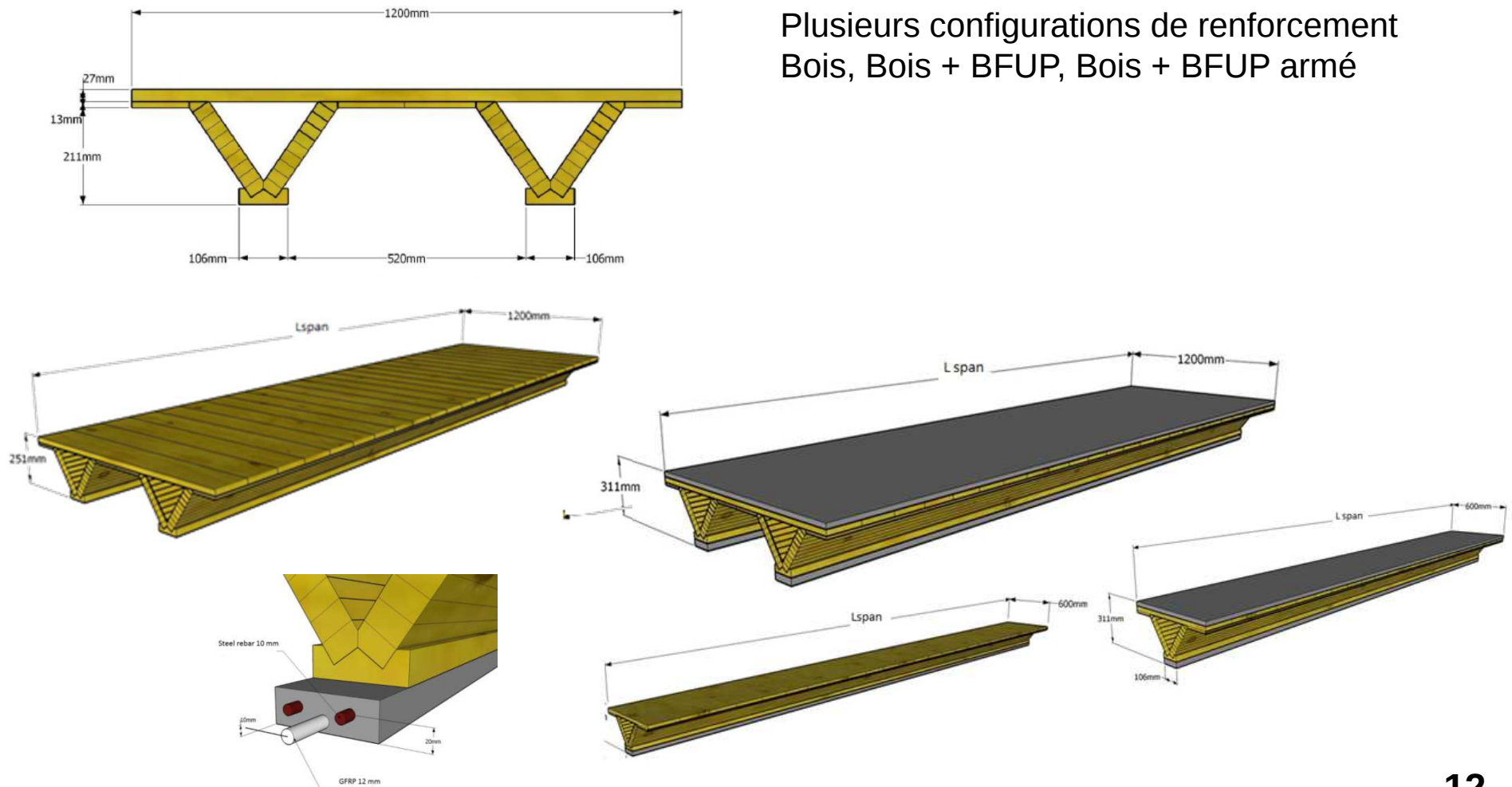


## Validation du concept sur prototypes : panneaux



## Validation du concept sur prototypes : panneaux

Plusieurs configurations de renforcement  
Bois, Bois + BFUP, Bois + BFUP armé

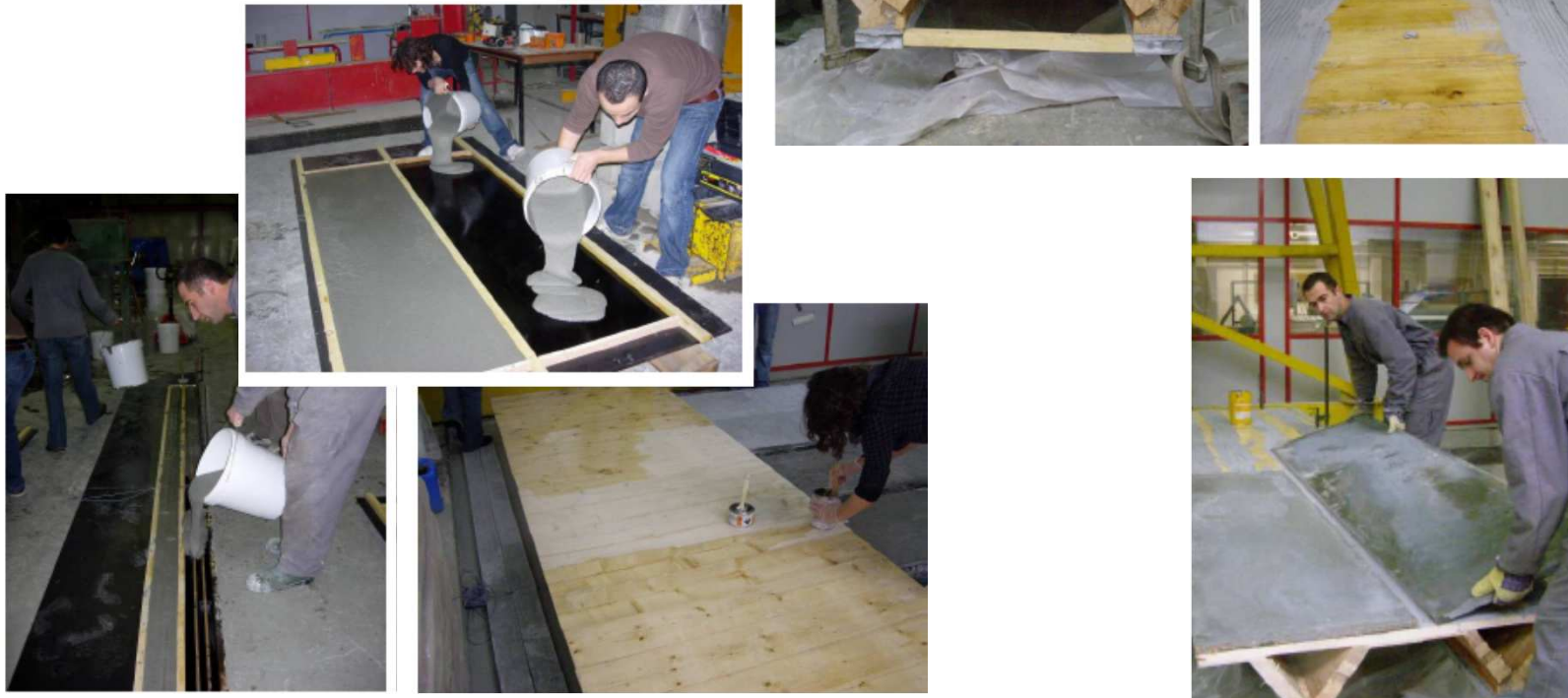


## Validation du concept sur prototypes : panneaux

Collage BFUP



Coulage éléments BFUP



## Validation du concept sur prototypes : panneaux

Type d'essai :

- flexion 4 points
- portée 5 m
- mesure des flèches, effort, déformations dans la zone centrale



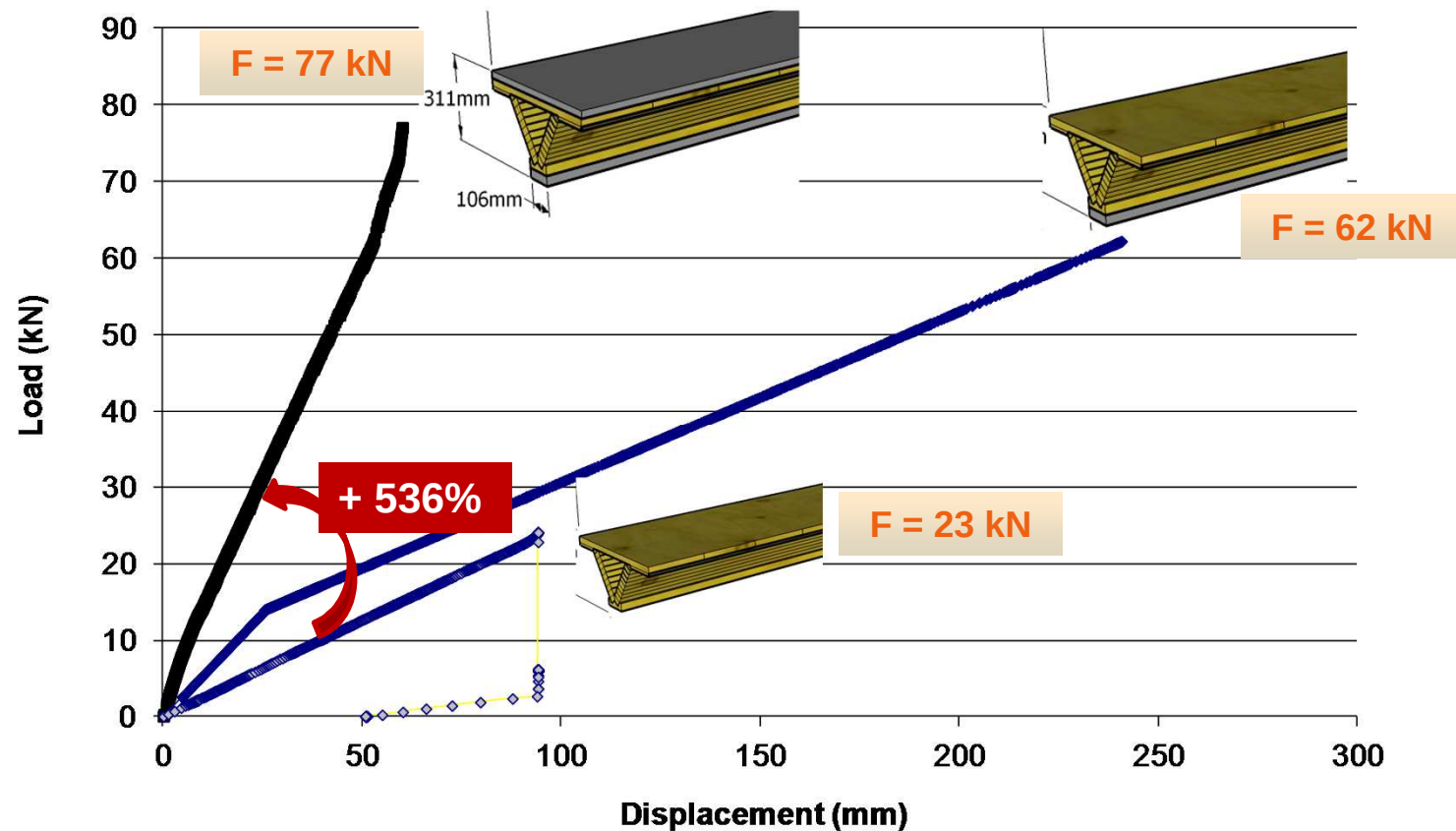
Panneau bois référence



Panneau Bois + BFUP

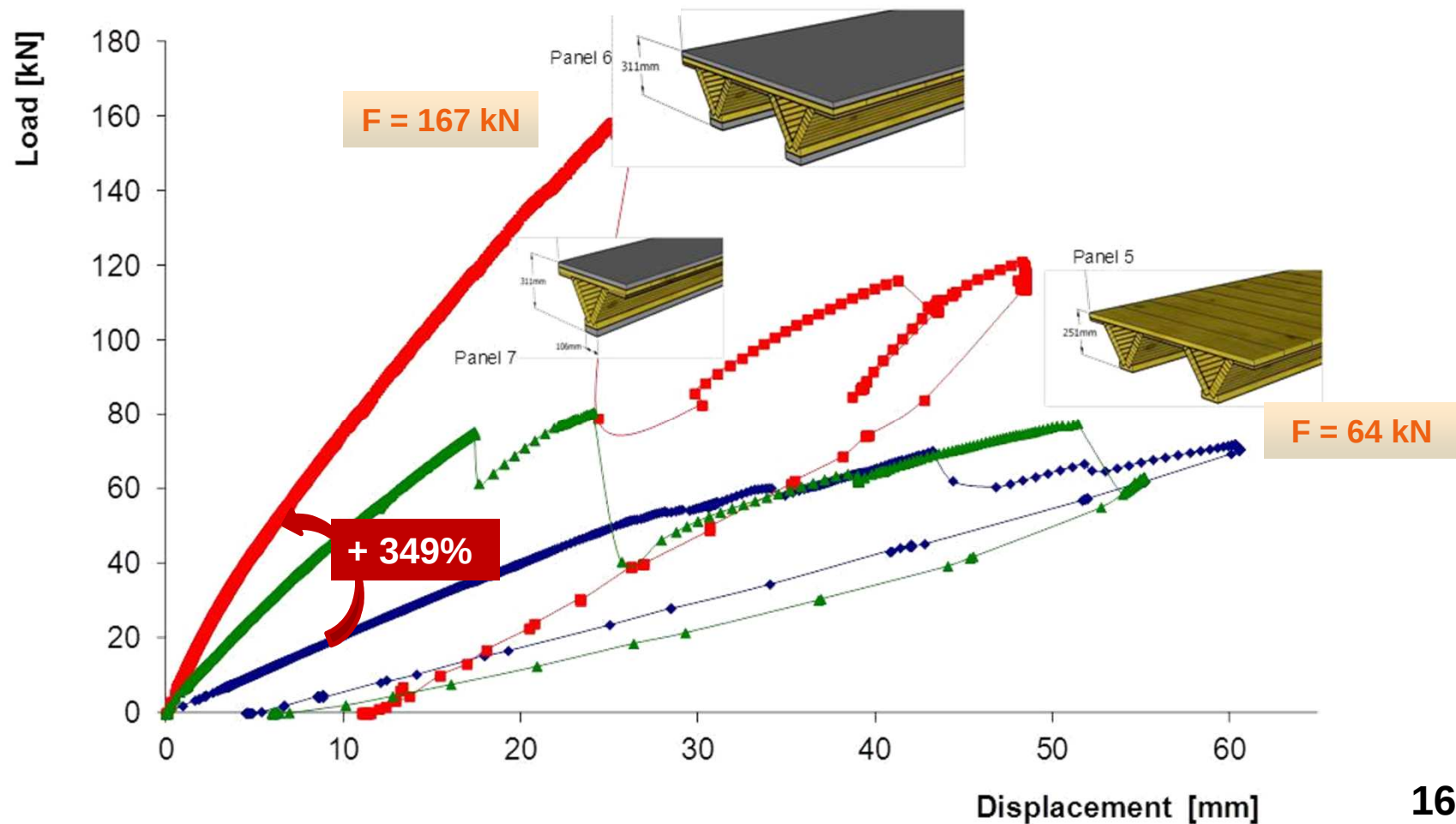
# Validation du concept sur prototypes : panneaux

## Panneaux simple nervure



## Validation du concept sur prototypes : panneaux

### Panneaux double nervure



## Validation du concept sur prototypes : panneaux



(a) Failure panel 1



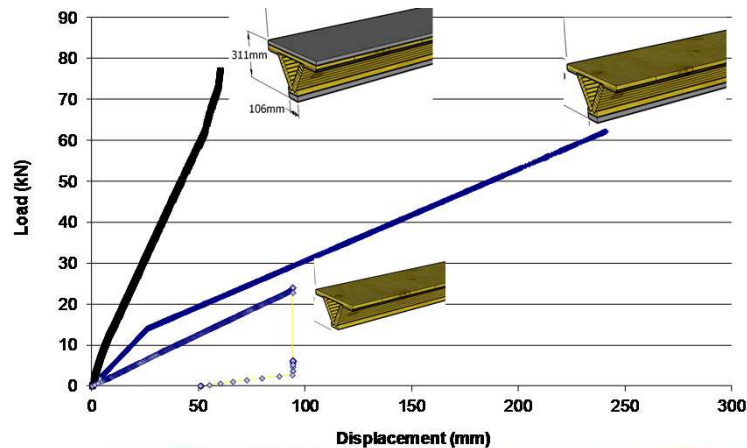
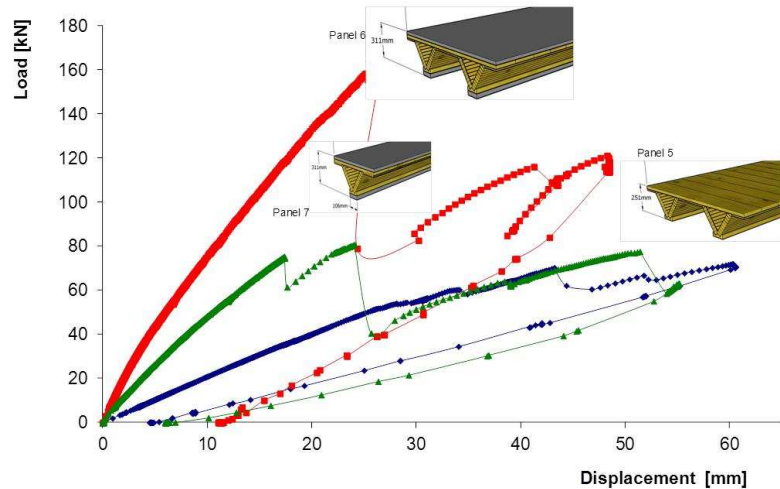
(b) Failure panel 4



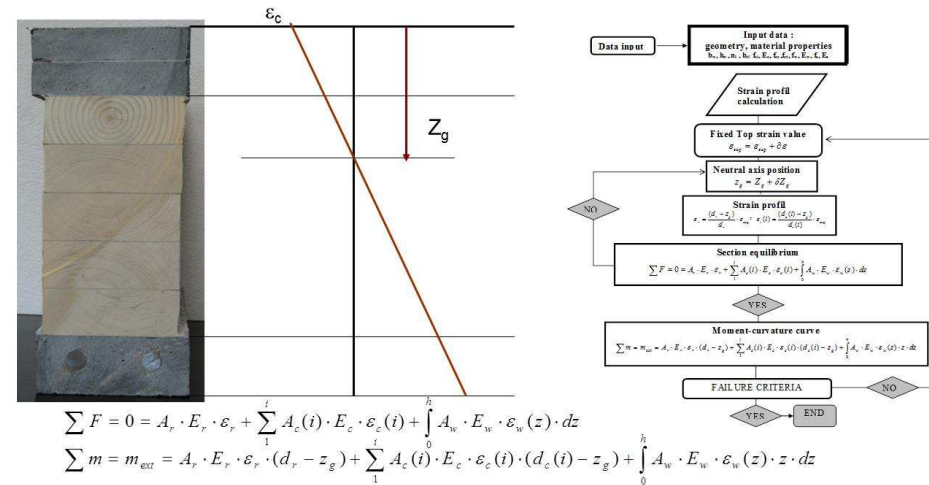
(c) Failure panel 6 and 7



# Base de données en comportement instantané + modèle



## Méthode de calcul itérative incrémentale



Comportement instantané

Comportement différé ?

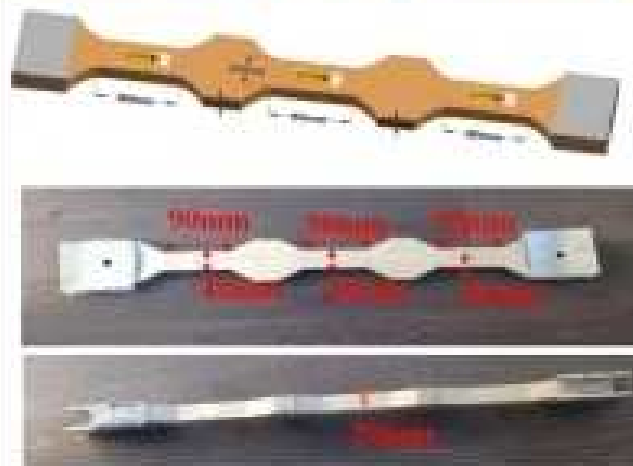
## Base de données en comportement différé + modèle

### Fluage des matériaux

#### TRACTION AXIALE À LONG TERME :

- Chargement: Constant (8MPa) et environnement climatique l'ambiance

Dimensions d'éprouvette:

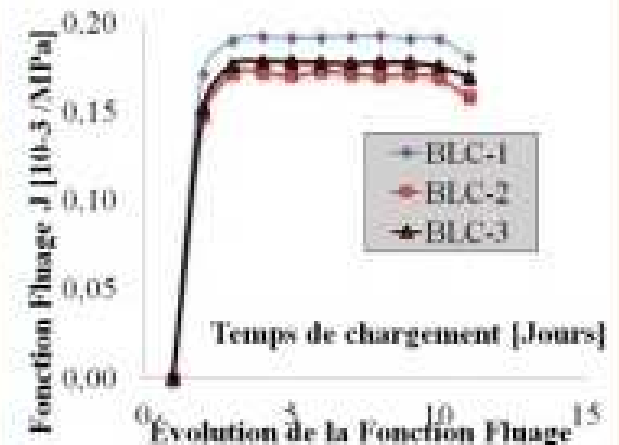


Corps de 3 éprouvettes continues

Banc d'essais:



Résultats:



## Base de données en comportement différé + modèle

### Fluage des matériaux

#### ☛ COMPRESSION AXIALE À LONG TERME : 3 éprouvettes testées

- Chargement: Constant (4MPa) de 20% de charge rupture
- Environnement: Climatique l'ambiance,  $T=20\pm 5^{\circ}\text{C}$  et  $\text{RH}=65\pm 5\%$

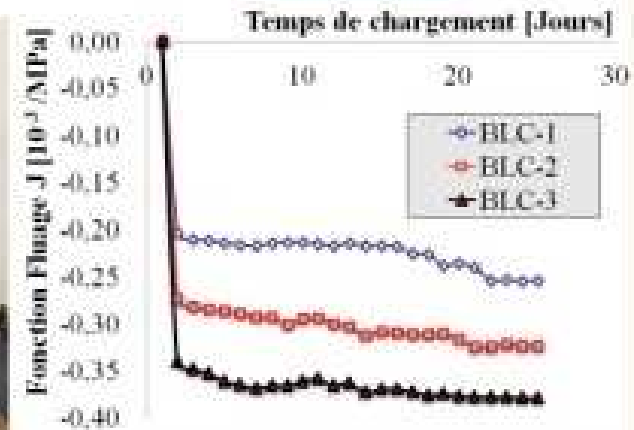
Dimensions normalisées:



Banc d'essais:



Résultats:



Évolution de la Fonction Fluage - Temps

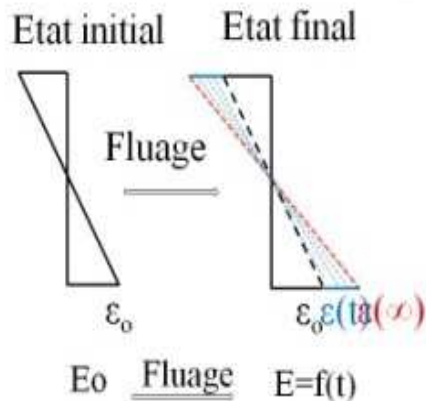
- Le fluage en compression augmente dans le temps sous climat constant
- Le module de Young initial est important.

## Base de données en comportement différé + modèle

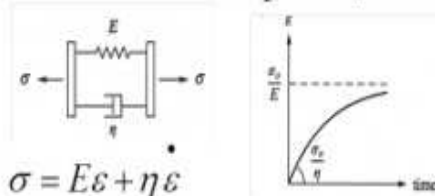
### Hypothèses de Calcul:

- Bernoulli
- Adhérence parfaite

### Principe de calcul itératif:



Modèle de Kelvin et sa réponse [Ottosen, 2005]:



### Le module de Young évolue dans temps:

$$E_{Bois,eff}(t) = \frac{E_{Bois}}{1 + \phi_{bois}(t, t_i)}$$

$$E_{BFUP,eff}(t) = \frac{E_{BFUP}(t_i)}{1 + \phi_{BFUP}(t, t_i)}$$

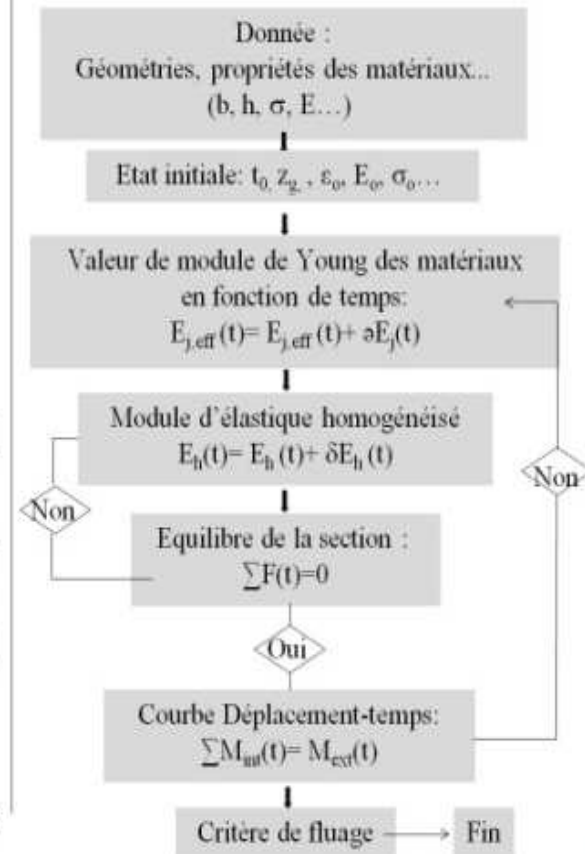
Avec:

- E est module de young initial
- $\phi$  est le coefficient de fluage

$$\phi_j(t, t_i) = \left( \frac{t - t_i}{t_d} \right)^m + \phi^{\infty} \left[ 1 - e^{-\frac{2\Delta u(t - t_i)}{100\Delta u}} \right]$$

Et:  $t_d = 29500$  jours,  $m = 2.1$   
 $\phi^{\infty} = 0.7$ ,  $c = 2.5$   
 $\Delta u = f(u, t)$  et  $\Delta t = 365$  jours

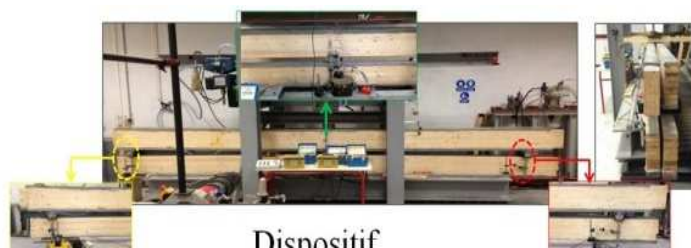
### Procédure de calcul



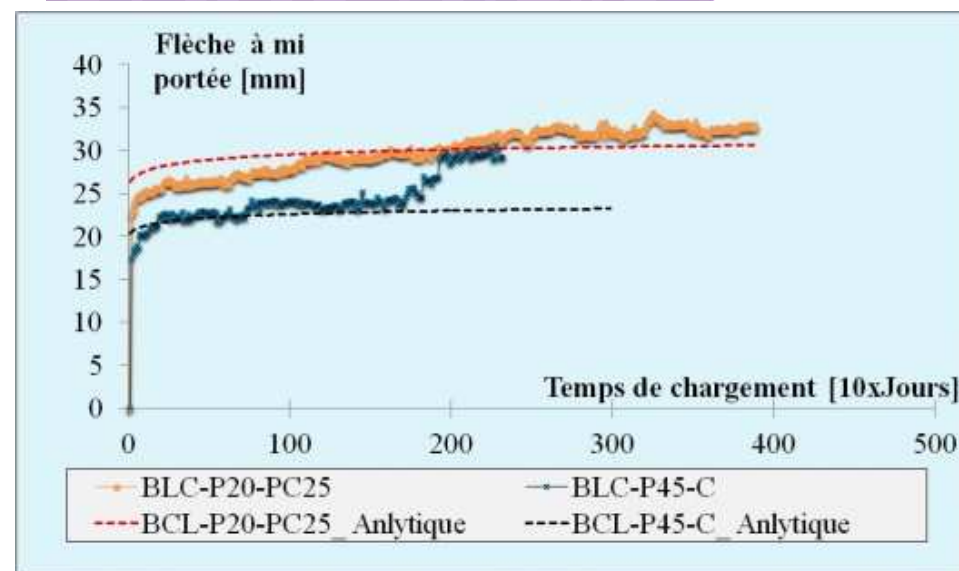
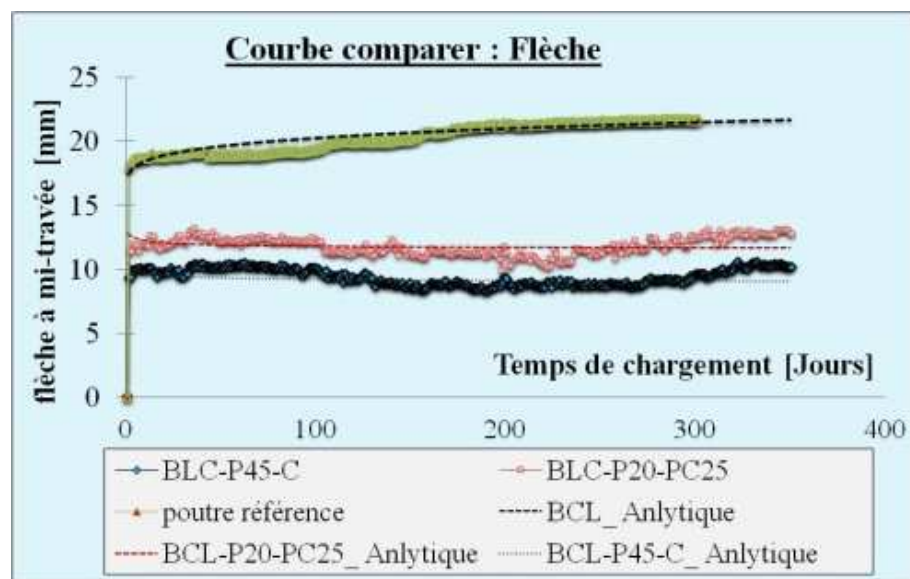
## Base de données en comportement différé + modèle

### Fluage des poutres

en laboratoire



en extérieur



## Bilan

Intérêt du renforcement (expérimentation) :

- ✚ Augmentation de la rigidité
- ✚ Diminution de la flèche pour des charges beaucoup plus importantes
- ✚ Contrainte admissible plus importante
- ✚ Gain au niveau vibratoire
- ✚ Contrôle du fluage

