

# Etude de sensibilité des paramètres descriptifs du comportement d'une structure ancienne en bois : la halle de Villeréal

Komlan Renaud Tevi<sup>1</sup>, Sidi Mohammed Elachachi<sup>1</sup>, Alain Cointe<sup>1</sup>, Emmanuel Maurin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut de Mécanique et d'Ingénierie, Université de Bordeaux – UMR CNRS 5295 (I2M/GCE)

<sup>2</sup> Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques – USR 3224 (LRMH)

## Problématique & objectifs

### ❖ Problématique :

Prise en compte des différentes sources d'incertitude dans l'analyse mécanique d'une structure ancienne en bois (application à la halle de Villeréal (47)).

### ❖ Objectifs :

- Développement d'une méthodologie d'analyse mécanique,
- Evaluation de la sensibilité de la réponse mécanique de la structure aux paramètres d'entrée aléatoires du modèle.

## Matériels et méthodes

### Plans d'expériences numériques

- ❖ Principe (Fig. 1) : Définition/identification des paramètres aléatoires de la structure (entrées du modèle). A partir de ces paramètres, une matrice d'essais est élaborée pour considérer les différentes valeurs prises (modalités) par les facteurs d'entrée.

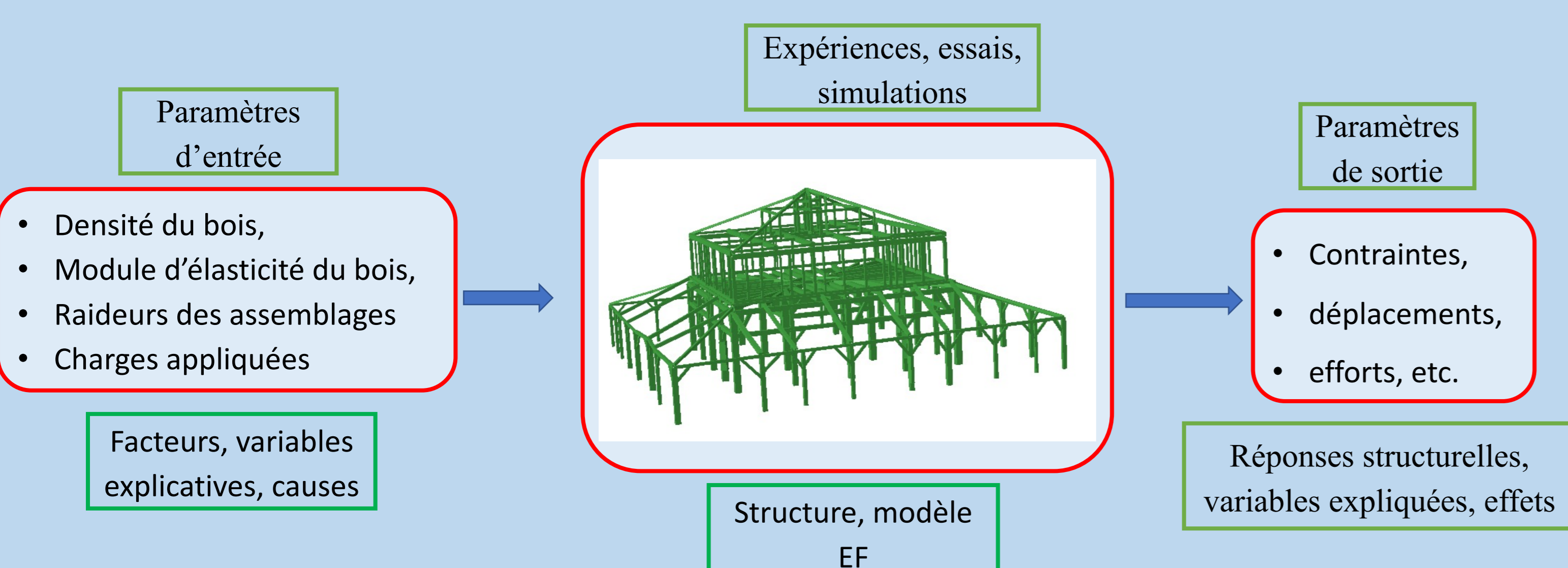


Fig. 1 : Principe de fonctionnement des plans d'expérience

### Paramètres aléatoires du modèle

- La masse volumique  $\rho$  du bois, le module d'élasticité longitudinal  $E$  du bois,
- Les raideurs axiale  $K_x$ , transverse  $K_y$  et rotationnelle  $K_\theta$  des assemblages.

### Estimation des valeurs de référence

- Estimation non destructive (END) *in situ* : Resistograph® pour la mesure de la masse volumique et technique de propagation de son (Impact Echo) pour l'estimation du module d'élasticité.

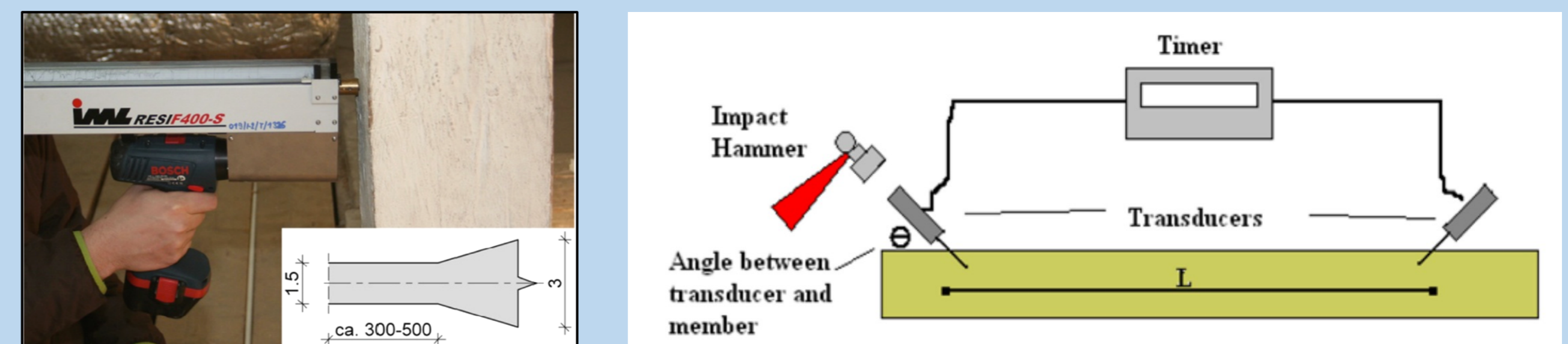


Fig. 2 : Configuration d'END par Resistograph® et Impact Echo [1]

- Estimation théorique des raideurs d'assemblages selon les normes NF EN 1995-1-1 [2] et SIA 265 [3].

$$K_x = \rho^{1.5} \cdot d/23 ; K_y = K_x/2 ; K_\theta = \sum_{i=1}^n K_x r_i^2$$

Avec  $d$  le diamètre de l'organe d'assemblage et  $r_i$  la distance entre le centre de raideur et l'organe d'assemblage  $i$

### Plan d'expériences adopté

Generalized Subset Design (GSD) [4] : plan de 5 facteurs à 5 niveaux  
255 simulations numériques réalisées.

## Résultats

### Niveaux des facteurs

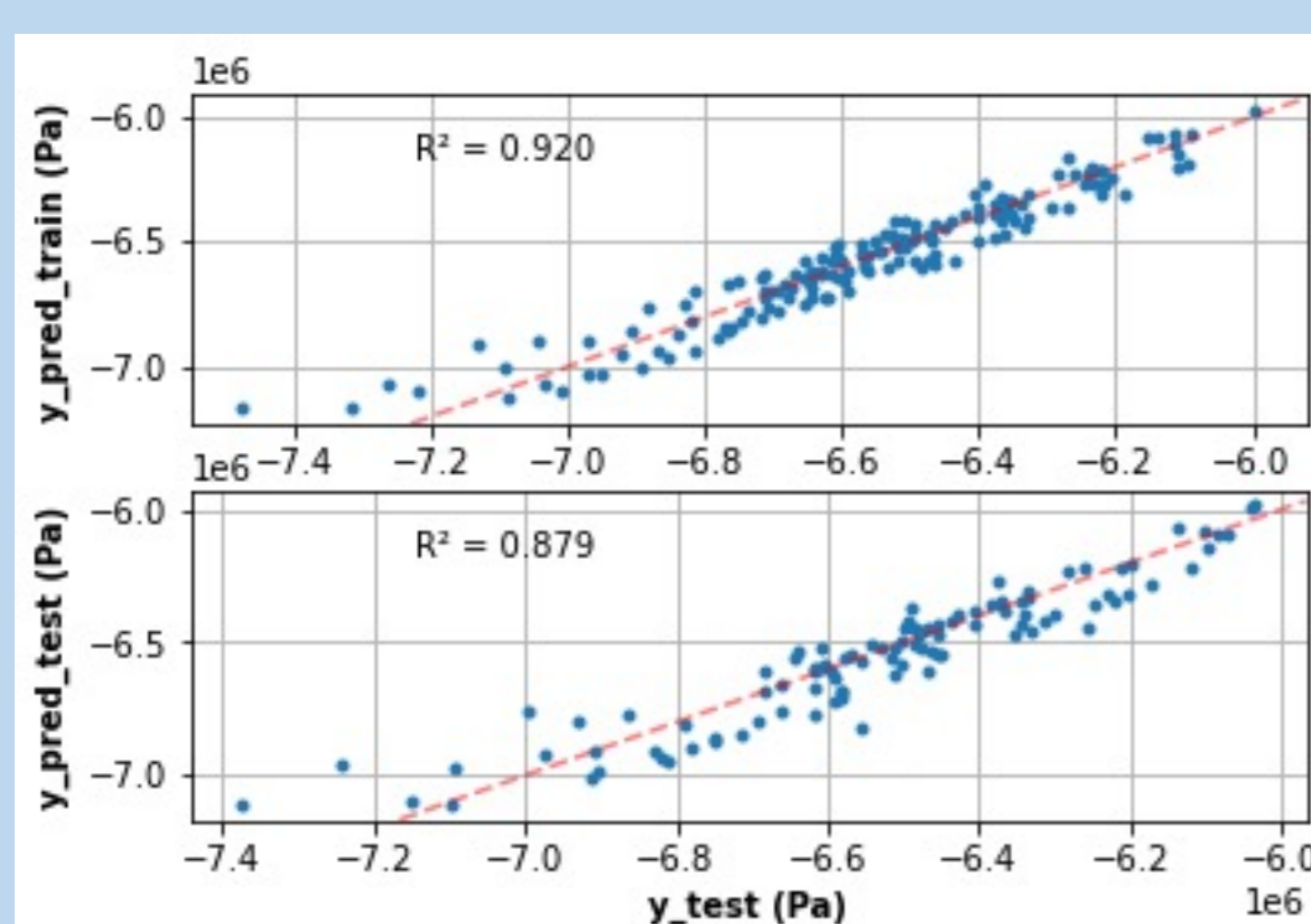
Variables	Niveau -2	Niveau -1	Niveau 0	Niveau 1	Niveau 2
$K_x$ [N/m]	$0,45 \cdot 10^7$	$0,9 \cdot 10^7$	$1,8 \cdot 10^7$	$3,6 \cdot 10^7$	$7,2 \cdot 10^7$
$K_y$ [N/m]	$2,25 \cdot 10^6$	$0,45 \cdot 10^7$	$0,9 \cdot 10^7$	$1,8 \cdot 10^7$	$3,6 \cdot 10^7$
$K_\theta$ [N.m/rad]	72500	145000	290000	580000	$1,16 \cdot 10^6$
$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	630	675	720	765	810
$E$ [N/m <sup>2</sup> ]	$8,00 \cdot 10^9$	$9,50 \cdot 10^9$	$1,1 \cdot 10^{10}$	$1,25 \cdot 10^{10}$	$1,4 \cdot 10^{10}$

### Méthode des surfaces de réponse (RSM)

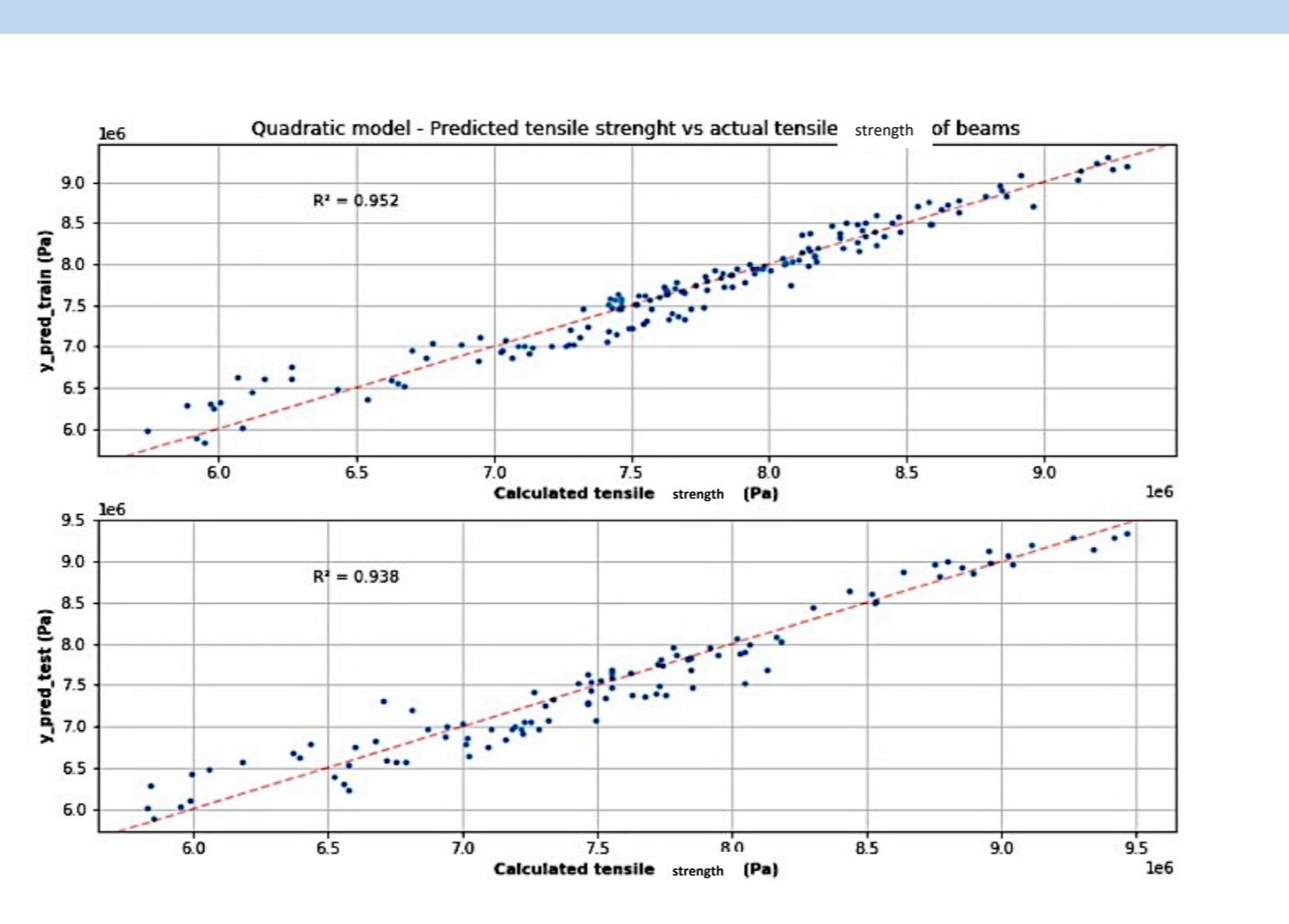
Utilisation de la RSM pour établir des relations explicites (relations polynomiales) entre les facteurs d'entrée et la réponse de la structure.

$$y = a_0 + \sum a_i x_i + \sum a_{ij} x_i x_j$$

Analyse par régression : 3/5 en apprentissage et 2/5 en validation



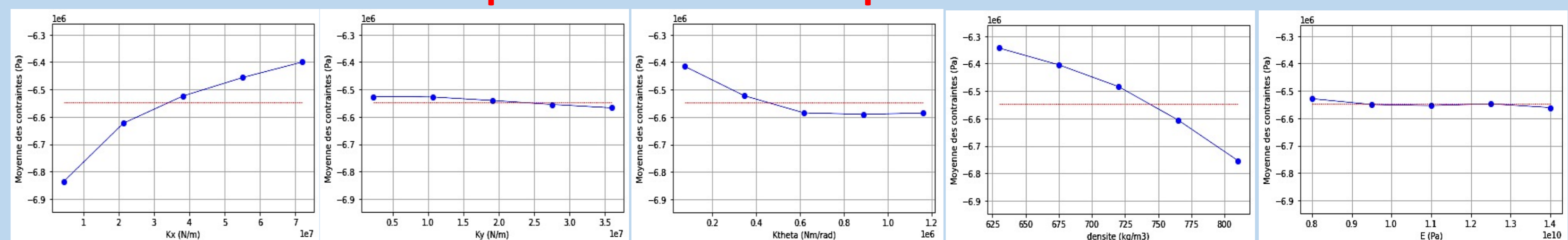
Contrainte normale de compression maximale de l'ensemble des poteaux prédite par rapport à celle obtenue par éléments finis



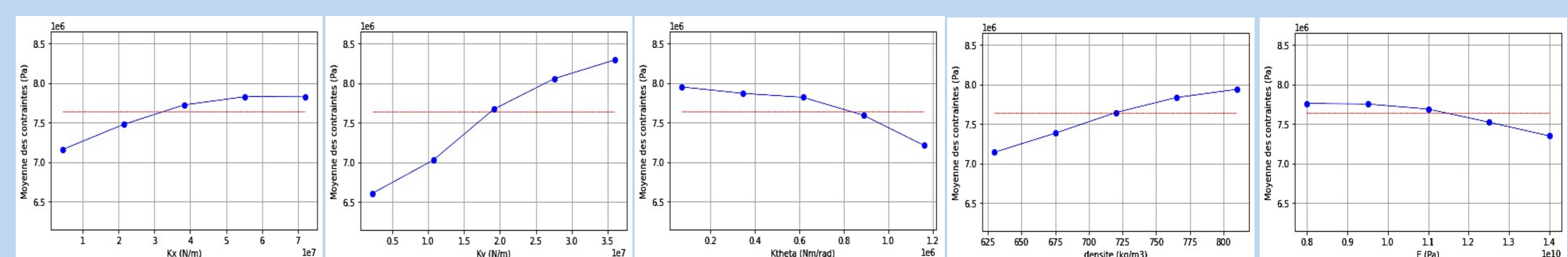
Contrainte normale de traction maximale de l'ensemble des poutres prédite par rapport à celle obtenue par éléments finis

Ne sont retenus dans la surface de réponse que les facteurs ayant une influence significative d'un point de vue statistique (P-value < 5%)

### Effets des paramètres sur la réponse structurelle



Diagrammes des effets principaux des facteurs sur la contrainte normale de compression maximale de l'ensemble des poteaux de la structure



Diagrammes des effets principaux des facteurs sur la contrainte normale de traction maximale de l'ensemble des poutres de la structure

### Analyse de variance pour la contrainte normale de compression maximale de l'ensemble des poteaux

Facteurs	Coefficients	COV	IC 95%	
			Bas	Haut
constante	$-6,549 \times 10^6$	0,10%	$-6,56 \times 10^6$	$-6,54 \times 10^6$
$K_x$	$5,863 \times 10^5$	7,18%	$5,03 \times 10^5$	$6,7 \times 10^5$
$K_\theta$	$-3,823 \times 10^5$	25,61%	$-5,76 \times 10^5$	$-1,89 \times 10^5$
$K_x^2$	$-5,319 \times 10^5$	6,07%	$-5,96 \times 10^5$	$-4,68 \times 10^5$
$K_x \times K_\theta$	$8,946 \times 10^4$	20,46%	$5,34 \times 10^4$	$1,26 \times 10^5$
$K_x \times E$	$7,113 \times 10^4$	41,47%	$1,29 \times 10^4$	$1,29 \times 10^5$
$K_y \times K_\theta$	$7,206 \times 10^4$	22,9%	$3,95 \times 10^4$	$1,05 \times 10^5$
$K_y \times \rho$	$-2,585 \times 10^4$	47,58%	$-5,01 \times 10^4$	$-1571,078$
$K_\theta^2$	$2,115 \times 10^5$	15,51%	$1,47 \times 10^5$	$2,76 \times 10^5$
$K_\theta \times \rho$	$2,727 \times 10^5$	34,51%	$8,67 \times 10^4$	$4,59 \times 10^5$
$K_\theta \times E$	$-2,462 \times 10^5$	12,02%	$-3,05 \times 10^5$	$-1,88 \times 10^5$
$\rho^2$	$-1,869 \times 10^5$	6,26%	$-2,1 \times 10^5$	$-1,64 \times 10^5$

## Conclusions et perspectives

A travers cette étude de sensibilité, on constate que les raideurs d'assemblages et la masse volumique ont une grande influence sur les réponses considérées. Des relations analytiques ont ensuite été établies entre la réponse structurelle et les facteurs. Sur le court terme, l'impact de leur variabilité sera analysé du point de vue fiabiliste. De même des essais de caractérisation complémentaires sur des assemblages traditionnels en bois serviront à évaluer les raideurs et la résistance de ces assemblages.

## Références

- [1] B. Kasal and T. Tannert, "In Situ Assessment of Structural Timber", vol. 7, Éd. Dordrecht : Springer Netherlands, 2010.
- [2] NF EN 1995-1-1 : Design of timber structures – General – Common rules and rules for buildings, 2005.
- [3] SIA 265 : Construction en bois, Norme Suisse SN 505265 : 2012.
- [4] Surowiec I., Vikström L., Hector G., Johansson E., Vikström C. et Trygg J., « Generalized Subset Designs in Analytical Chemistry », Analytical Chemistry, 89 (12), 2017.