



HAL
open science

Patrimoine bois & mécanique des structures : deux cas d'étude en restauration de mobilier bois

Raphaëlle Simmonds, Élise Bachelet, Thibault Roure, Lisa Ghilardi, Sandie Le Conte, Julien Colmars

► To cite this version:

Raphaëlle Simmonds, Élise Bachelet, Thibault Roure, Lisa Ghilardi, Sandie Le Conte, et al.. Patrimoine bois & mécanique des structures : deux cas d'étude en restauration de mobilier bois. 11e Journées Scientifiques du Groupement De Recherches (GDR) des Sciences du Bois, Nov 2022, NICE, France. . hal-04035067

HAL Id: hal-04035067

<https://hal.science/hal-04035067>

Submitted on 17 Mar 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

Patrimoine bois & mécanique des structures : deux cas d'étude en restauration de mobilier bois.

SIMMONDS Raphaëlle¹, BACHELET Élise¹, ROURE Thibault²,
GHILARDI Lisa², LE CONTE Sandie³, COLMARS Julien⁴

INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
LYON

inp Institut national
du patrimoine

¹ Ancienne élève INP, Département Restauration, Atelier Mobilier, 93300 Aubervilliers, France
² Ancien-ne élève INSA Lyon, Département Génie Mécanique, 69621 Villeurbanne, France

³ Laboratoire de l'INP, 93300 Aubervilliers, France
⁴ Univ Lyon, INSA Lyon, CNRS, LaMCoS, UMR5259, 69621 Villeurbanne, France

Le contexte : restauration à l'atelier mobilier de l'INP

Durant leur dernière année au département restauration de l'Institut National du Patrimoine (INP), les élèves mènent un projet de conservation-restauration autour d'un objet choisi avec l'équipe encadrante. En parallèle de l'étude historique et du travail de conservation-restauration, chaque élève réalise **une étude scientifique** de l'objet considéré. Certains de ces projets de restauration soulèvent des **problématiques de mécanique des matériaux et des structures, parfois autour du matériau bois**. C'est notamment le cas dans l'**atelier restauration mobilier de l'INP**.

Dans ce poster, nous présentons le travail effectué sur deux structures bois restaurées récemment à l'atelier mobilier de l'INP. Il s'agit notamment de revenir sur le **travail collaboratif de quatre élèves (2 restauratrices et 2 ingénieurs-e-s)** et de discuter de l'intérêt des approches mécaniques et de sciences du bois dans la conservation-restauration du patrimoine.

Cas d'étude n°1 : maquette du musée de la Marine



(←) Maquette en bois du Musée National de la Marine, datée autour de 1800, et restaurée par Élise Bachelet durant son année de diplôme (Bac2021). Il représente les premières étapes de la mise en chantier d'un vaisseau. L'objet est constitué de plusieurs **dizaines de poutres en bois de différentes essences** (if, peuplier, noyer, tilleul) assemblées entre elles par des pointes métalliques, et fixées de la même manière sur un large plateau de résineux. Le constat d'état de cette œuvre avait mis en évidence des ruptures de certaines pièces, ainsi que des écarts importants à ce qui aurait dû être la configuration initiale (à sa création) de la maquette ; la configuration actuelle de la maquette laissait supposer un état de contraintes internes important dans la structure. **Un des objectifs de la restauration était de repositionner la maquette sur les différents points d'appui du support, afin d'atteindre un état mécanique avec moins de contraintes internes.**

Bachelet, E., *Étude et conservation-restauration d'un modèle de vaisseau de 80 canons en construction (Arsenal de Toulon, XVIII^e siècle, Paris, Musée National de la Marine) Modélisation mécanique avec simulation par éléments finis d'une maquette, comme outil de réflexion pour la réintégration d'éléments détachés, Mémoire de master en conservation-restauration, INP (2021)*

inp Restauration, essais : Élise Bachelet (2020-2021)

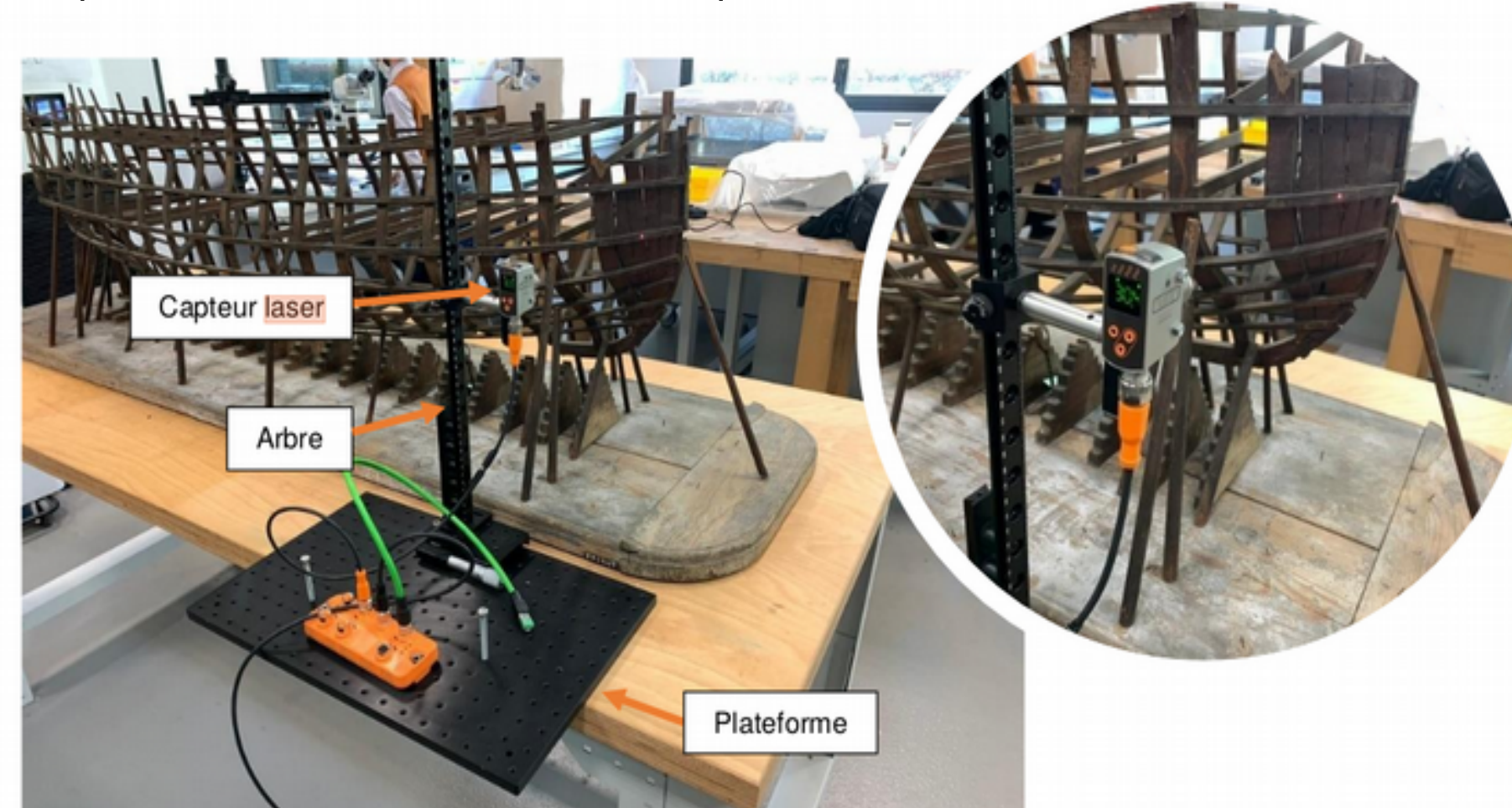
Calcul de structures (FEM) : Thibault Roure (2021)

INSA



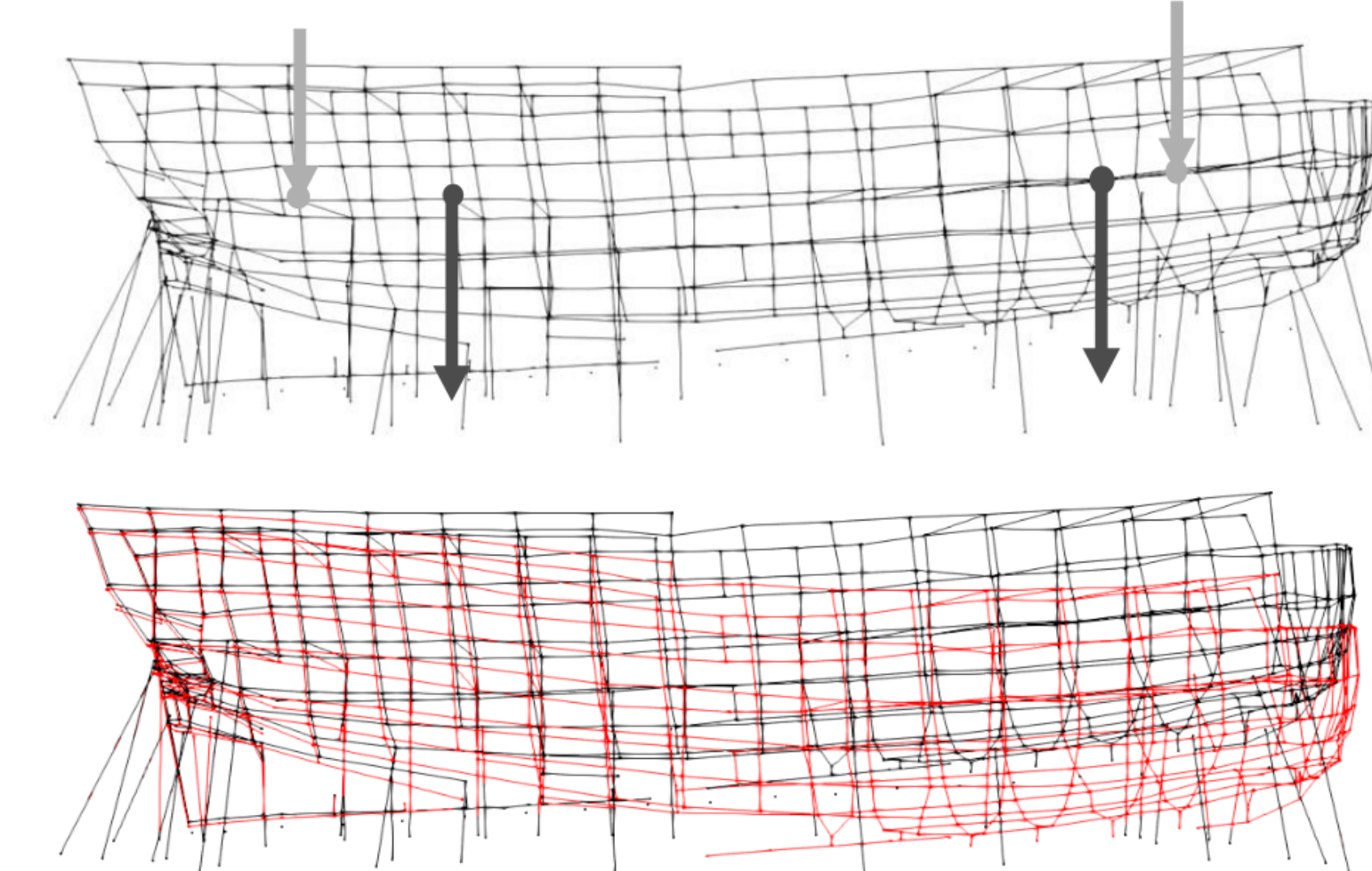
(↑) Le travail de restauration a couvert de nombreux aspects « non mécaniques » (dépoussiérage, traitement de corrosions, nettoyage, consolidation, etc.). La problématique mécanique portait sur le **repositionnement de la maquette** sur les accords (tiges latérales) et les fins (socles inférieurs). C'est dans cet objectif que les simulations par éléments finis ont permis de tester différents scénarios de manipulations.

(↓) Des mesures à l'intersection des poutres, à l'aide d'un capteur laser, ont permis de reconstituer le squelette du bateau.



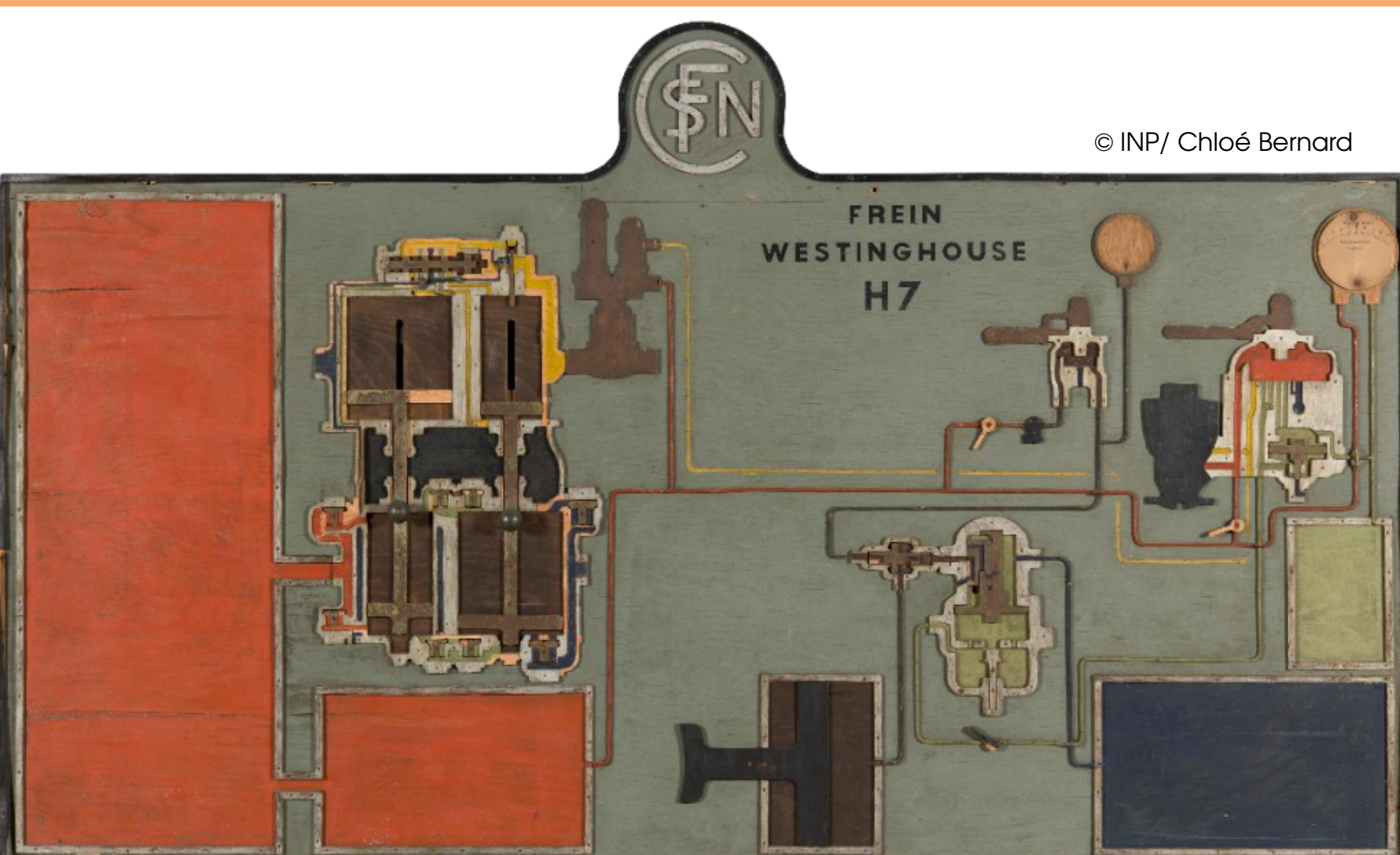
(←) Des échantillons déjà désolidarisés de la maquette ont été caractérisés par méthode vibratoire, en vue de déterminer un module moyen des poutres de la structure (If, 5-6 GPa).

(↓) Un **modèle éléments finis de poutres** a été mis en place dans le logiciel **Cast3m**. La raideur des assemblages a été calibrée sur des tests sur la maquette réelle. Le modèle FEM ainsi validé a permis de **simuler l'effet de différents scénarios de restauration** sur l'objet.



Roure T., *Suivi numérique de la restauration d'une maquette de bateau du Musée de la Marine, Mémoire de projet de fin d'étude, INSA Lyon (2021)*.

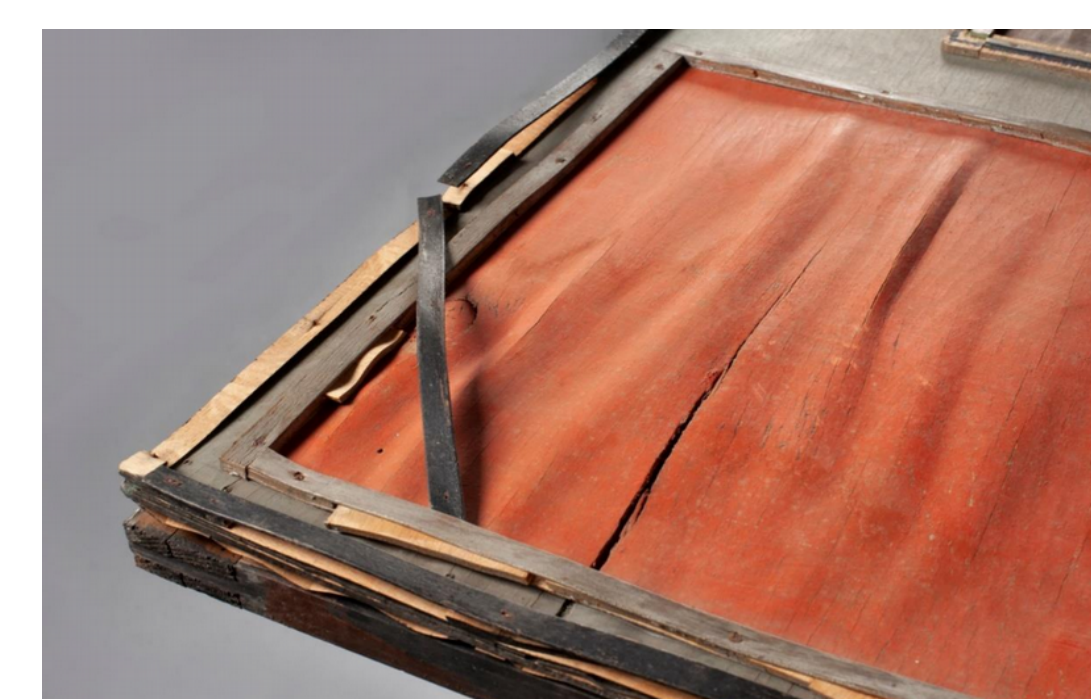
Cas d'étude n°2 : panneau pédagogique de la SNCF



(←) Il s'agit d'un panneau pédagogique de la SNCF, conservé au Musée National de l'Éducation à Rouen. Cet objet était utilisé dans la première moitié du XX^e siècle pour la formation des mécaniciens au modèle de frein Westinghouse. Il a été restauré par Raphaëlle Simmonds durant son année de diplôme (Sim2022). L'objet est constitué d'un large panneau de contreplaqué de hêtre sur lequel des éléments rapportés ont été cloutés pour constituer la maquette du système de freinage. Le constat d'état a mis en évidence des décollements des plis du contreplaqué, et des déformations résiduelles (courbures, fissures, allongements, etc.). L'objectif de la restauration était une remise à plat des plis du contreplaqué.

Lors du constat d'état, il a été noté que les différents plis de contreplaqués, originellement collés ensemble, n'avaient plus des dimensions compatibles. Les **élongations résiduelles** de ces plis ont été imputées à **des contraintes résiduelles** (liées au procédé d'obtention des placages), ou à des **couplages hygromécaniques**, plus particulièrement au **compression-set** (Maz2014). Durant la partie technico-scientifique de (Sim2022), il a été décidé de ramener tous les plis à la même longueur lors de la mise à plat et avant collage, en utilisant le phénomène de compression-set (gonflement empêché).

Mazzanti, P., Colmars, J., Gril, J., Hunt, D. et Uzielli, L., *A hygro-mechanical analysis of poplar wood along the tangential direction by restrained swelling test. Wood Science and Technology. Vol. 48, no 4, p. 673-687 (2014).*



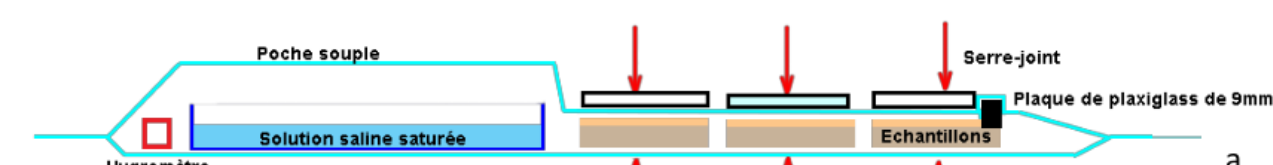
inp Restauration, essais : Raphaëlle Simmonds (2021-2022)

Calcul de structures (FEM) : Lisa Ghilardi (2022)

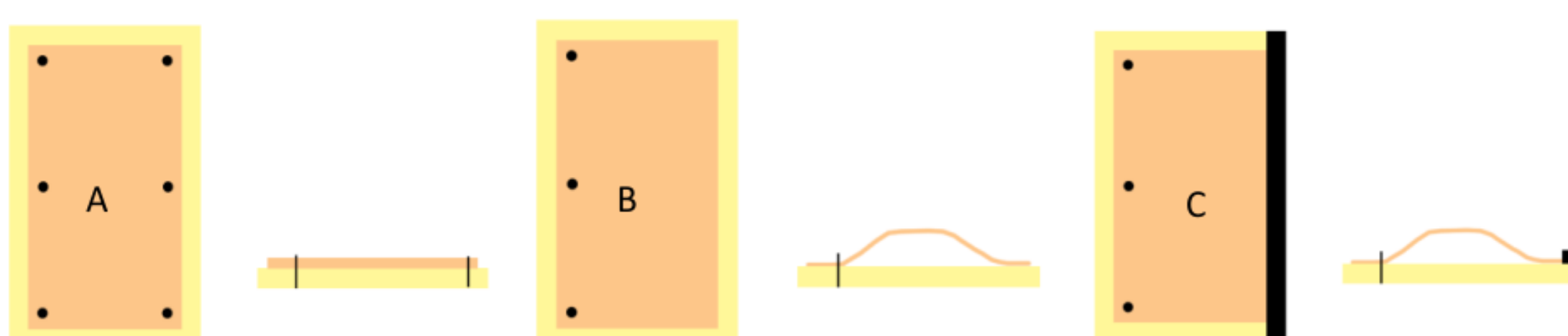
INSA



(←) Le protocole de remise à plat a été testé au travers d'une campagne d'essais en atmosphère contrôlée. Plusieurs chambres climatiques ont été construites avec des films pare-vapeur et des solutions salines, le tout placé dans l'atmosphère contrôlée en température de l'atelier mobilier de l'INP.



Des tests de flambement ont été réalisés sur des **échantillons de placage de hêtre déroulé**, soumises à des cycles d'humidification contrôlés et différents **conditions aux limites** (encastrement par clous, retrait empêché) représentatives des configurations présentes sur l'objet d'étude.

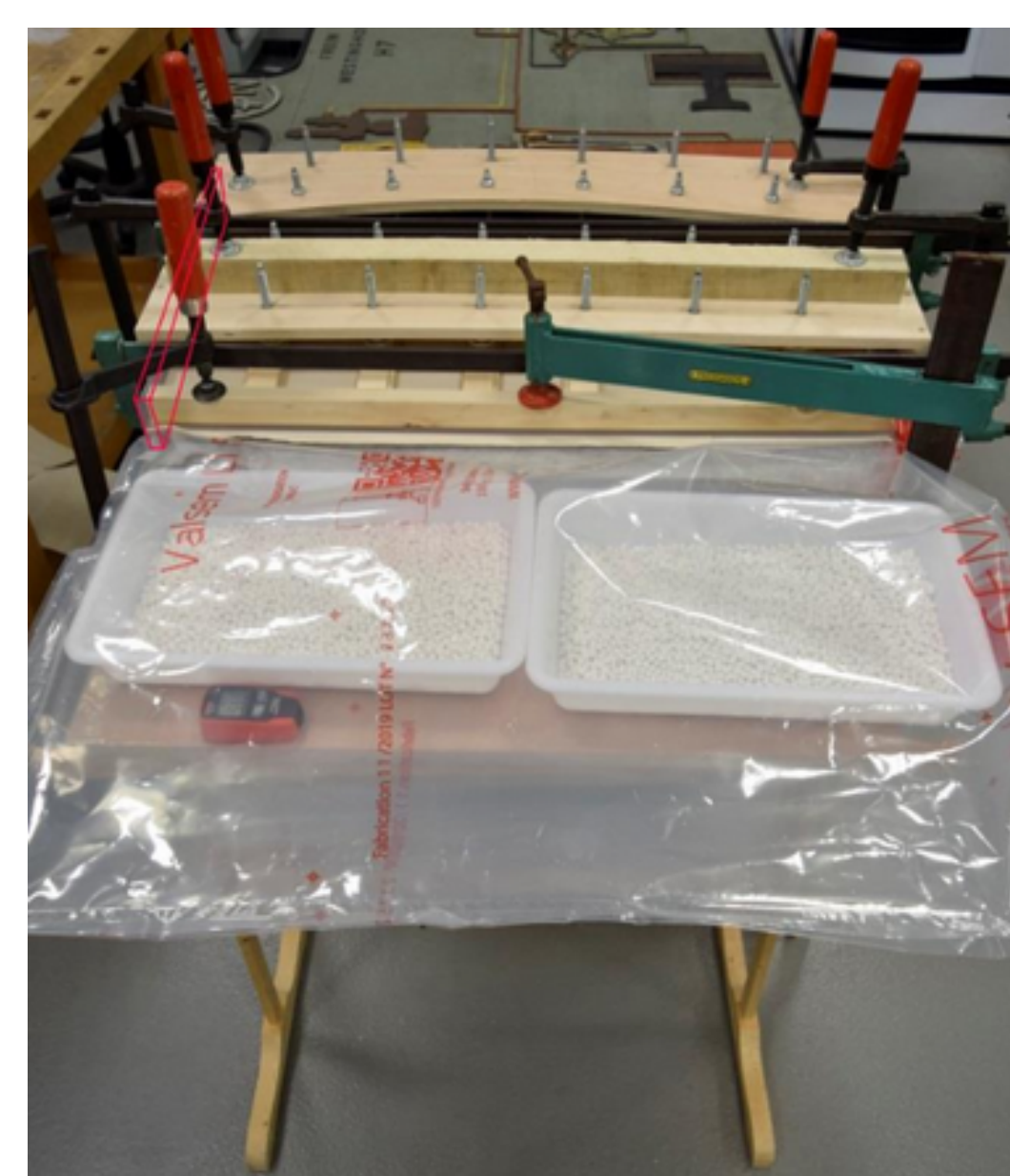


Les échantillons ainsi obtenus ont été utilisés pour tester un **protocole de remise à plat** et de **correction des longueurs par compression set**. Les niveaux de compression set observés sur les échantillons témoins ont permis d'optimiser le cycle d'humidité à faire subir au panneau lors de la restauration (→). Le protocole ainsi déterminé a permis une remise à plat du panneau et un rattrapage des longueurs

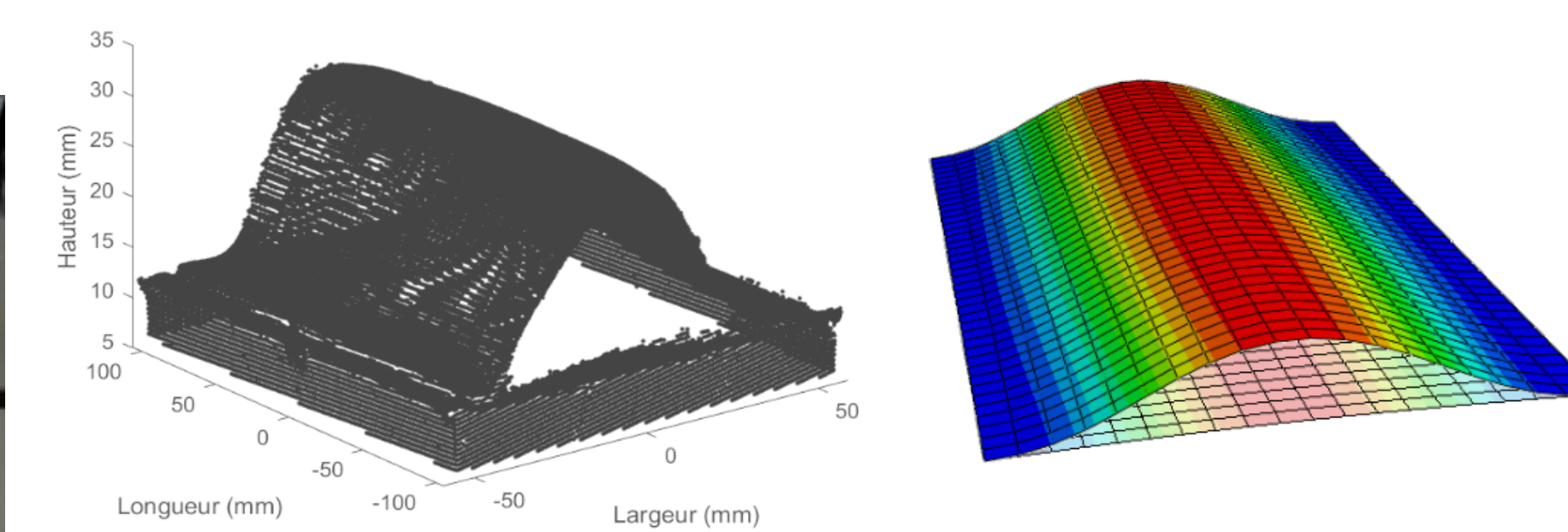
Simmonds, R., « Pour ou contreplaqué ? ». *Étude et conservation-restauration d'un panneau pédagogique « Frein Westinghouse H7 » provenant des formations d'apprentis SNCF (1937-1957, Rouen, Musée national de l'Éducation) Étude des déformations sous contrainte du bois de hêtre déroulé ; recherche et mise en œuvre d'une méthode de remise à plat.*, Mémoire de master en conservation-restauration, INP (2022).



(←) Les courbures résiduelles des échantillons ont été caractérisées par des mesures par scan laser (Einscan pro 2X).



Les données de courbure ont servi à recalculer des modèles éléments finis de coque multicouche mis en place dans Abaqus (↓).



Ghilardi, L., *Étude numérique d'une maquette de frein à air comprimé (musée SNCF), Mémoire de projet de fin d'étude, INSA Lyon (2022).*

Conclusions :

- Deux exemples de collaboration entre le milieu de la restauration et l'ingénierie mécanique ;
- Apports des sciences du bois pour la compréhension des phénomènes mécaniques dans les objets patrimoniaux ;
- Des protocoles de restauration originaux, guidés par l'analyse mécanique ;
- Des supports pédagogiques très riches pour les formations en ingénierie mécanique.

