

Superposition des champs de déformation



Encadrants:
Pierre-Olivier BOUCHARD et Guillaume CORVEC



M2 IM INUM 2024-2025 Mohamad SAMMAN et Qinyan YANG

Plan

Introduction

Concepts de base

Protocole expérimental

Superposition des champs de déformation

Résultats et conclusions

Références

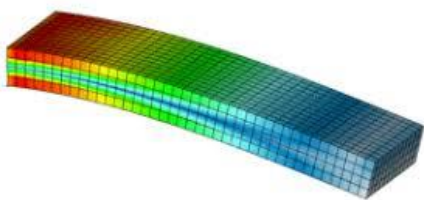
Introduction



Contexte et objectifs

Identifier les paramètres d'un matériau à l'aide d'une analyse inverse:

- A l'aide de la courbe force-déplacement : manque de richesse d'information
- Solution ? Ajouter les champs de déformation
- Comment faire dialoguer les champs numériques et expérimentaux ?
- Quelle fonction coût ?



Concepts de base

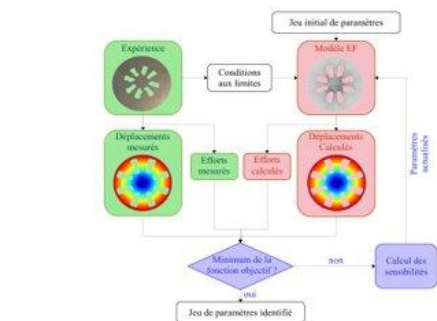
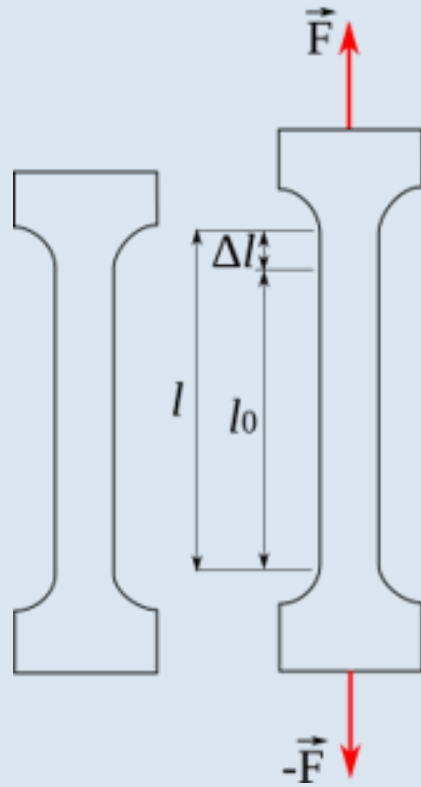


FIG. 1.4 – Schéma de principe de la méthode inverse de type recilage de modèle Éléments Finis (FEU-U-F) utilisée dans le présent travail de thèse.

Mécanique : essai de traction



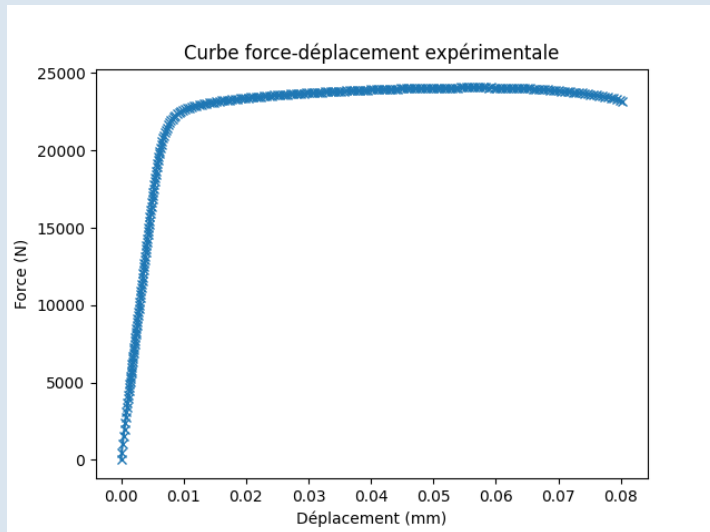
Nous exerçons une **force** sur l'**épreuve**. Elle s'allonge et se déforme.

F : Force

l^0 : longueur initiale de l'éprouvette

l : longueur après application de la force

Mécanique : force-déplacement et contrainte déformation



$$\varepsilon_E = \frac{L - L_0}{L_0}$$

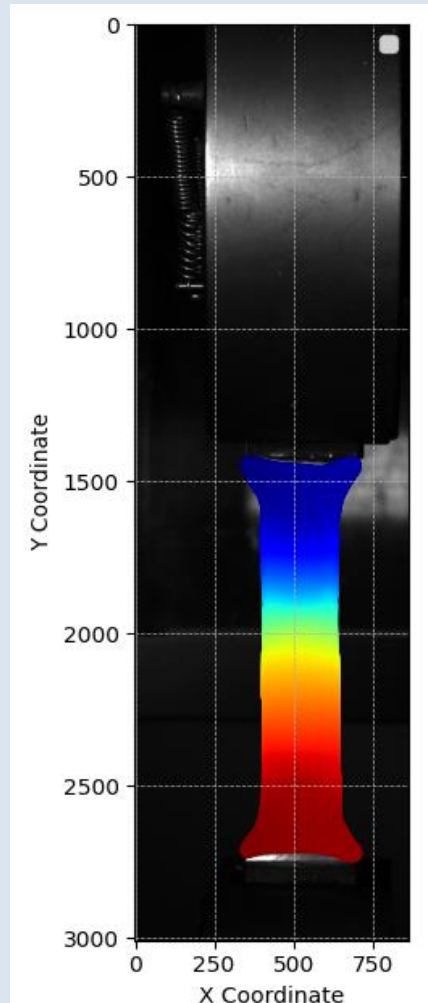
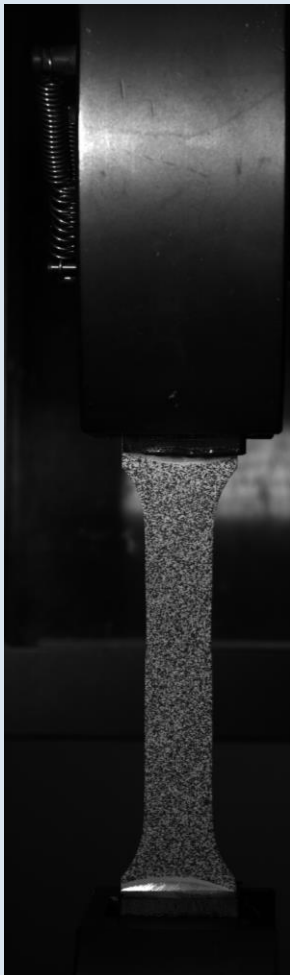
$$\varepsilon_T = \ln\left(\frac{L}{L_0}\right)$$

$$\sigma_E = \frac{F}{S_0}$$

$$\sigma_T = \frac{F}{S}$$

$$1\text{MPa} = 1\text{N/mm}^2$$

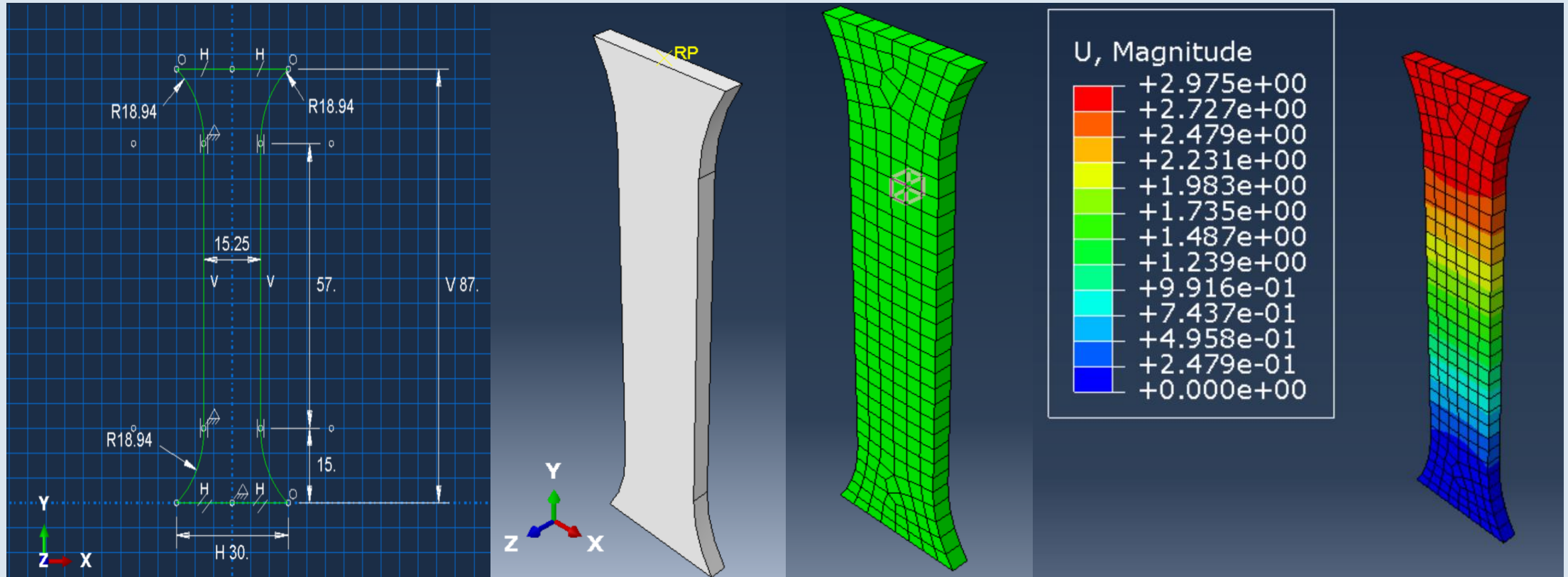
DIC : Corrélation d'image digitale



- **Introduction à la DIC :**
 - Technique optique pour mesurer les déformations et les déplacements à la surface d'un matériau.
 - Utilisation d'images capturées avant et après déformation.
- **Image de DIC avec Région d'Intérêt (ROI) :**
 - **ROI :** Zone spécifique sur l'image où les mesures sont effectuées.
 - **Explication :** La ROI est analysée pour suivre les déplacements et calculer les déformations.

Eléments finis

Construction du modèle d'éléments finis par Abaqus :



Analyse inverse : le modèle direct

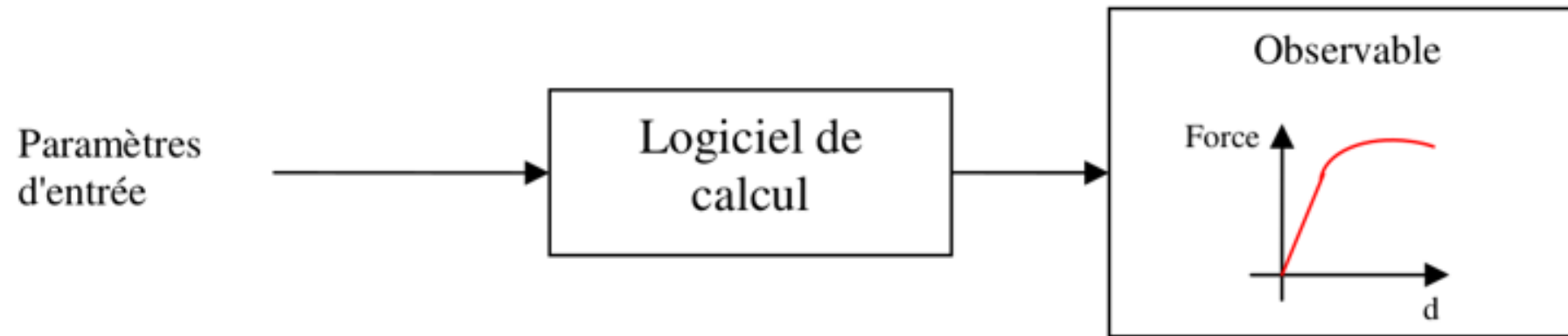


Figure 4-2: Définition du modèle direct

Analyse inverse : la boîte noire

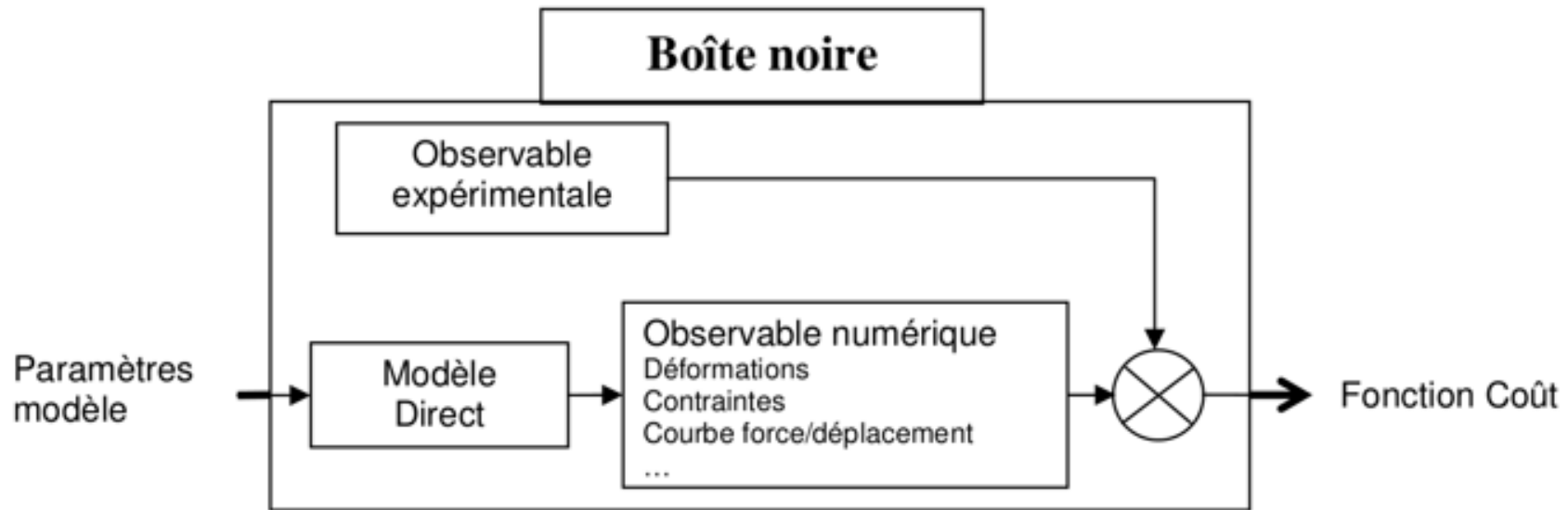


Figure 4-4 : Définition de la "boîte noire" pour l'analyse inverse

Protocole expérimental



Matériau : Aluminium 7075-T6

Propriétés	Alu 7075-T6
Module de Young (E)	71,7 GPa
Limite élastique (σ)	503 MPa
Module de Poisson (ν)	0,33

Loi de Johnson Cook

$$\sigma = (A + B\varepsilon^n)(1 + C \ln \dot{\varepsilon})(1 - T^m)$$

Dispositif expérimental

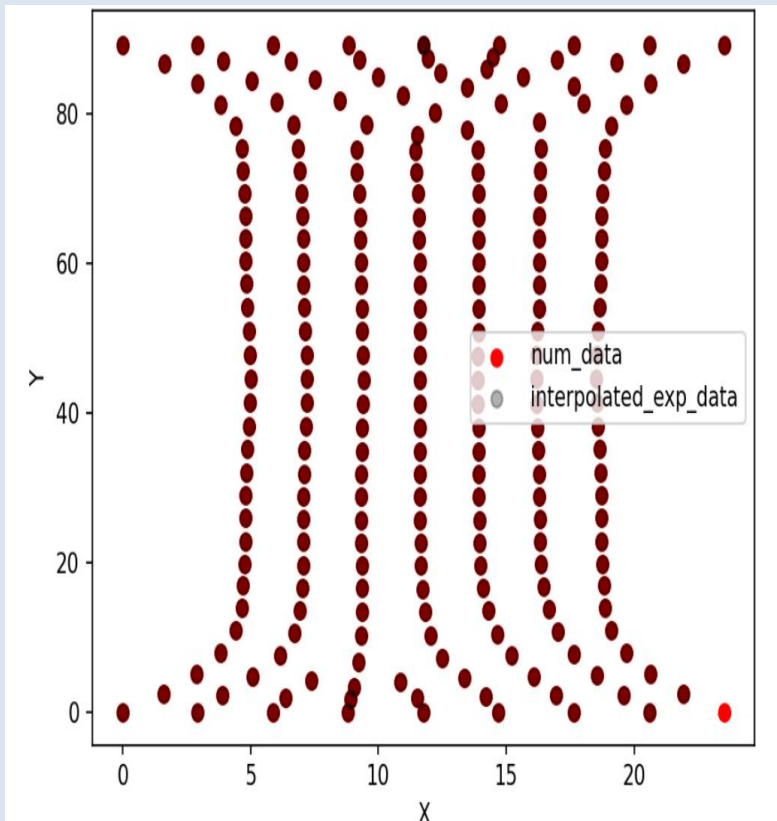


- **Machine de traction** : Applique une force contrôlée sur l'éprouvette.
- **Caméra haute résolution** : Capture des images de la surface de l'éprouvette avant et après déformation.
- **Système DIC** : Logiciel pour analyser les images et mesurer les déplacements et déformations.

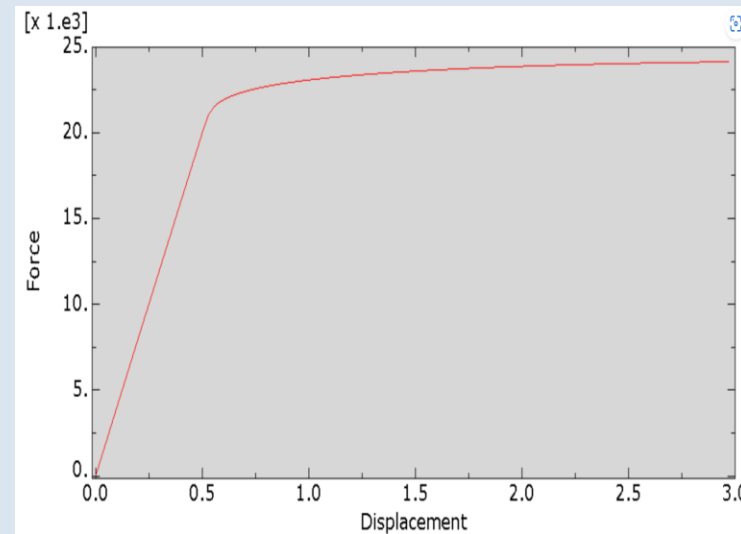
Superposition des champs de déformation



Données FEM

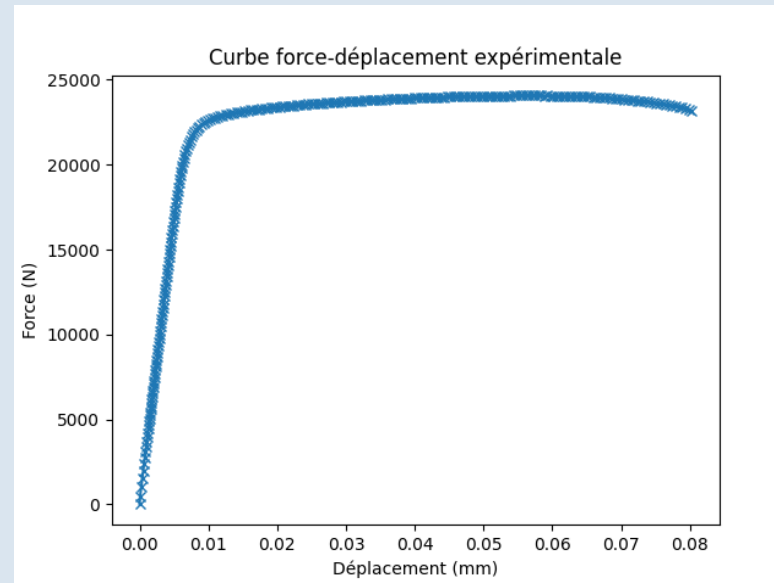
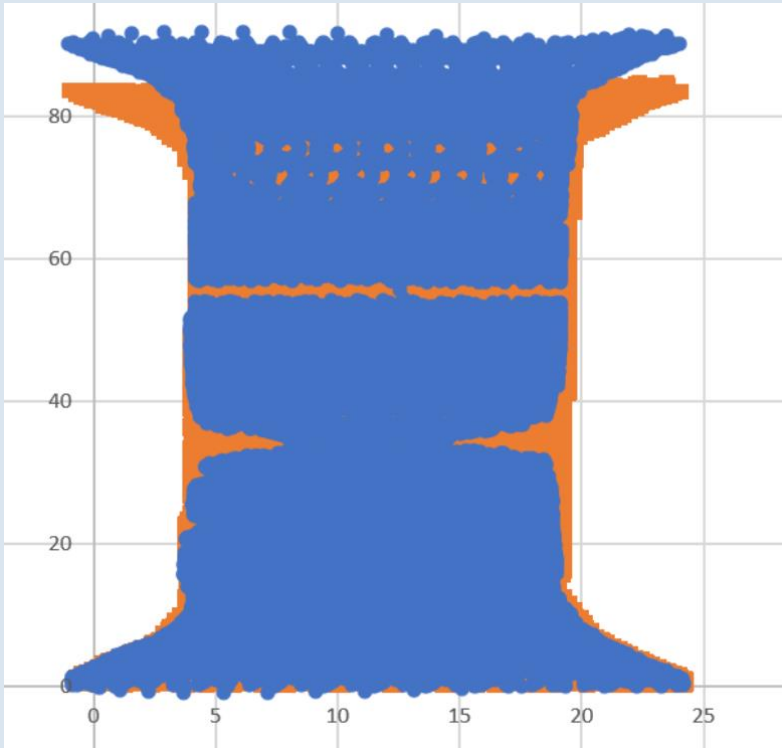


- Force - Déplacement
- Coordonnées des nœuds (mm)
- Déplacement de chaque nœud (mm)



Données DIC

- Force - Déplacement
- Coordonnées des nœuds (pixel)
- Déplacement de chaque nœud (pixel)



Protocole de superposition

1. Interpolation spatiale DIC
(données manquantes)
2. Interpolation temporelle
(temps Abaqus)
3. Interpolation spatiale FEM sur
la grille expérimentale

Tableau blanc



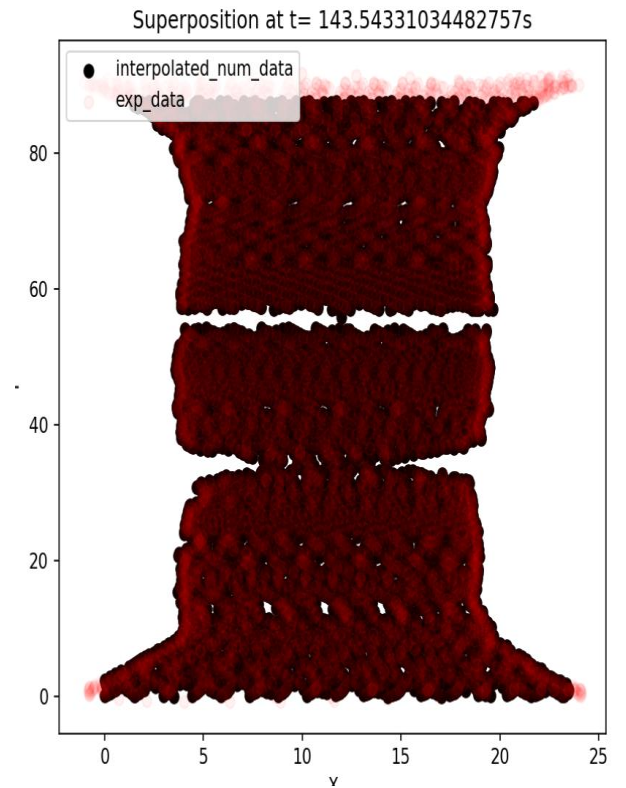
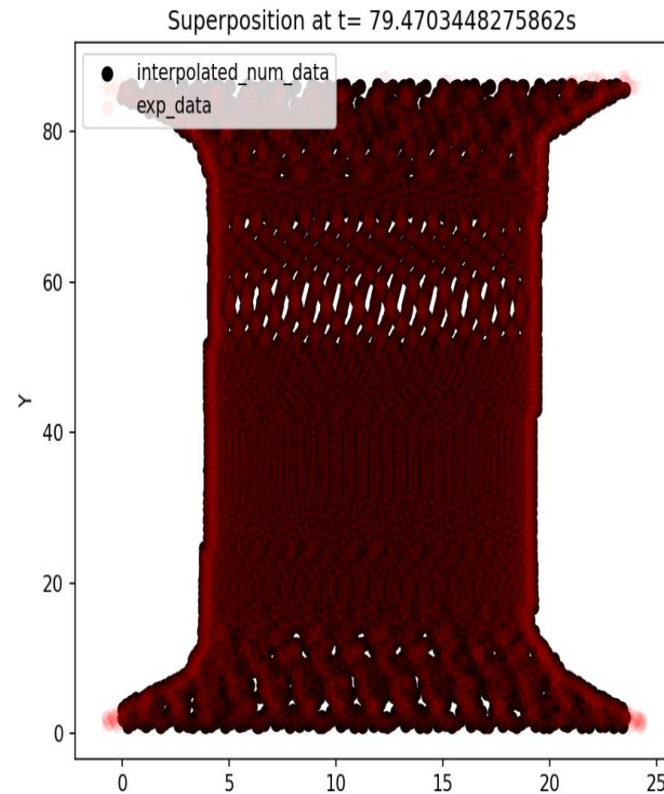
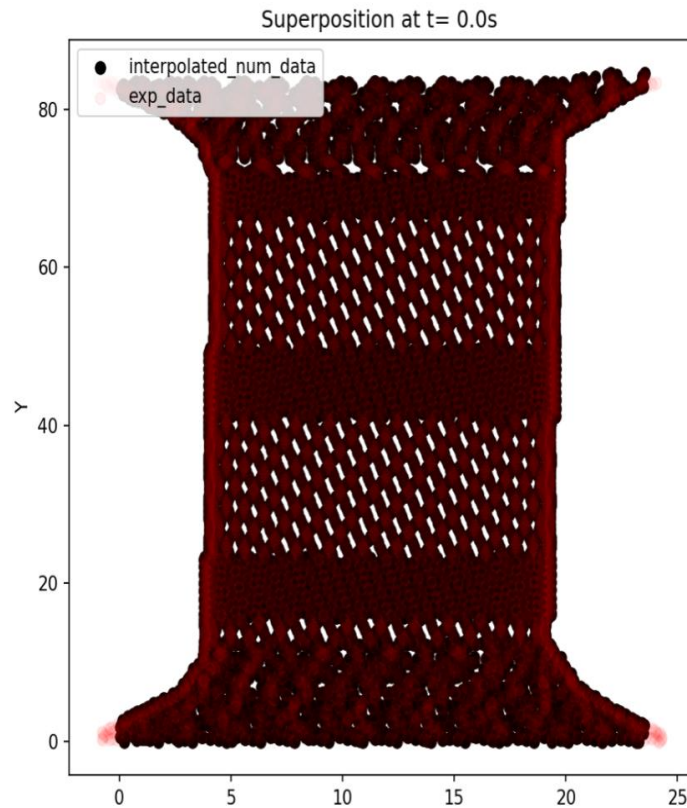
Calcul de la fonction coût

$$D = \sum_{i=1}^n \left((x_i^{\text{exp}})^2 + (y_i^{\text{exp}})^2 \right)$$

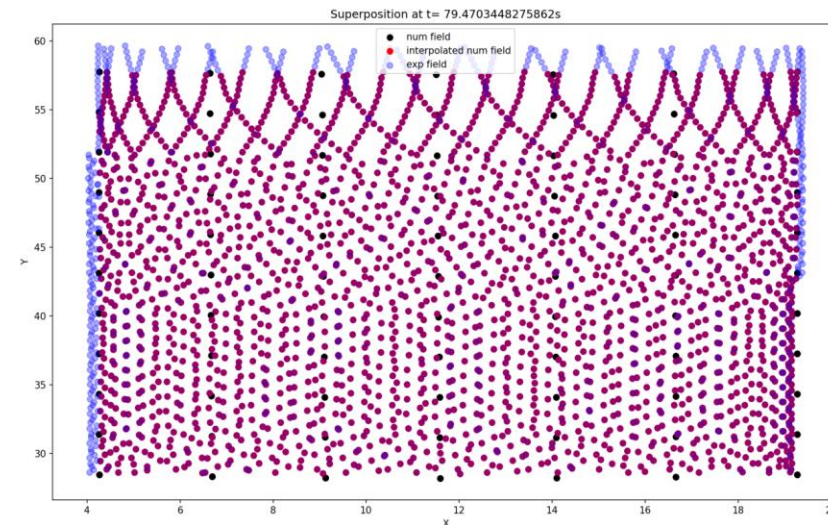
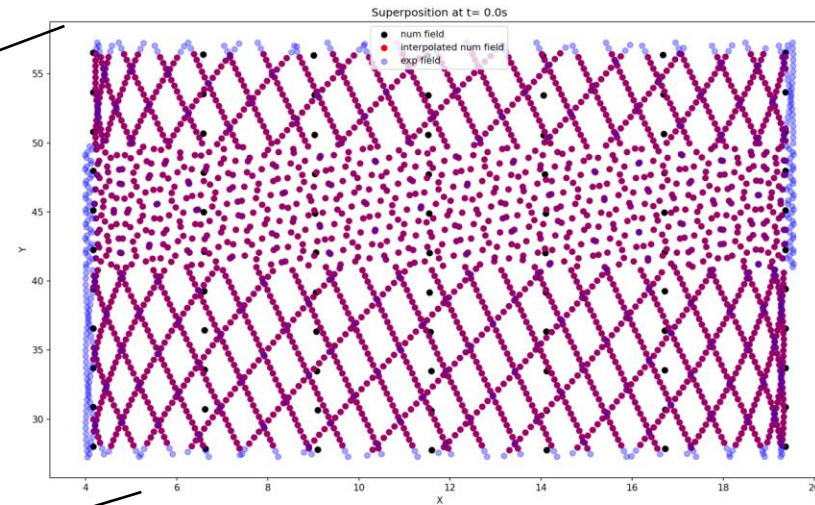
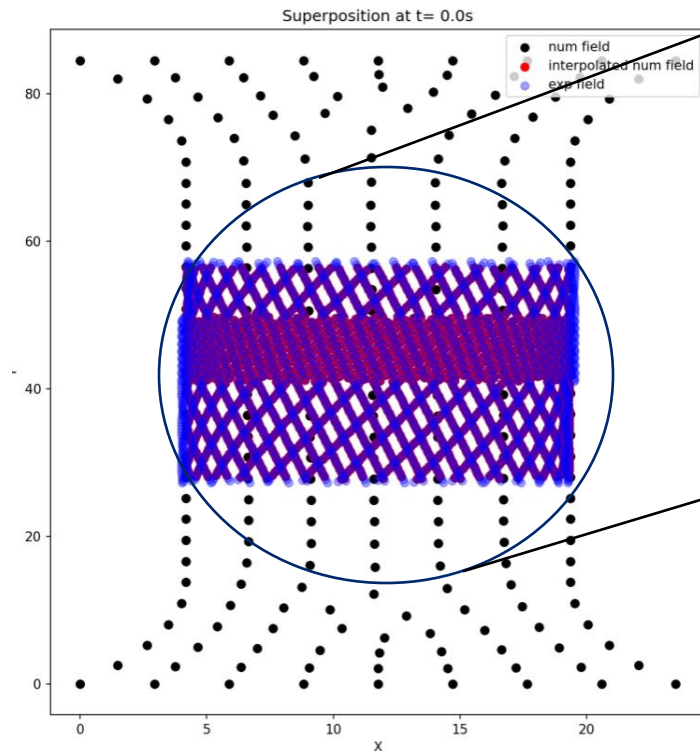
$$N = \sum_{i=1}^n \left[\left(x_i^{\text{exp}} - x_i^{\text{interp_num}} \right)^2 + \left(y_i^{\text{exp}} - y_i^{\text{interp_num}} \right)^2 \right]$$

$$\text{Error} = \frac{\sqrt{N}}{\sqrt{D}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\left(x_i^{\text{exp}} - x_i^{\text{interp_num}} \right)^2 + \left(y_i^{\text{exp}} - y_i^{\text{interp_num}} \right)^2 \right)}{\sum_{i=1}^n \left((x_i^{\text{exp}})^2 + (y_i^{\text{exp}})^2 \right)}}$$

Résultats : superposition



Résultats : superposition en zone utile



Conclusion

- **Résumé des Travaux :**
 - Utilisation de la **corrélation d'image digitale (DIC)** pour mesurer les déformations.
 - **Superposition des champs de déformation** expérimentaux et numériques.
 - Code Python d'analyse inverse pour identifier les paramètres matériaux.
- **Principaux Résultats :**
 - Dialogue entre les données expérimentales et numériques.
 - Calcul de la **fonction coût** pour quantifier les écarts.
 - 3 itérations d'optimisation pour valider le code python
- **Perspectives Futures :**
 - Tenter de minimiser la fonction coût
 - Intégration de données thermiques pour une analyse multi-physique.
 - Extension à d'autres types de matériaux et essais mécaniques.

Merci !

Références

- [1] **Roux, E.** *"Assemblage Mécanique : Stratégies d'optimisation des procédés et d'identification des comportements mécaniques des matériaux"* , Thèse à l'Ecole nationale supérieur des mines de Paris (2011)
- [2] **Pottier, T.** . *"Identification paramétrique par recalage de modèles éléments finis couplée à des mesures de champs cinématiques et thermiques"* , Thèse de l'Université de Savoie. (2010)
- [3] **Robert, L., Velay, V., Decultot, N., & Ramde, S.** *"Identification of hardening parameters using finite element models and full-field measurements: some case studies"*, Journal of Strain Analysis for Engineering Design, Vol. 47, N° 1, pp. 3-17, 2012.
<https://doi.org/10.1177/0309324711430022>
- [4] **Martins, J. M. P., Andrade-Campos, A., & Thuillier, S.** . *"Comparison of inverse identification strategies for constitutive mechanical models using full-field measurements"* , International Journal of Mechanical Science, Vol. 145, pp. 330-345, 2018