

Most of the time, basic assumptions are made for the study of timber structures. Joints are supposed to be moment free or fully restrained. Of course, these assumptions simplify the study but most of the joints are in fact partially restrained. For those, relative deflections may appear between connected beams. First, a short comment on the classical approach with EC5 will be done. In a second time, this paper presents a modified finite element approach to take into account inside the computations the bending behaviour of the joints. The idea consists in the implementation of a particular finite element linking the freedom degrees of adjoining beams. This element has a specific stiffness matrix obtained from embedding tests. This approach allows to introduce in a quite easy way the orthotropic behaviour of the joint and also its plasticity.

## Introduction

Les assemblages par goussets consistent à assembler deux ou plusieurs membrures à l'aide de panneaux de bois (OSB, KERTO, ...) venant moiser les poutres et assemblés généralement à l'aide de clous ou de vis. Abondamment utilisés, ces assemblages présentent un comportement semi-rigide bien marqué dont il est rarement tenu compte faute de moyens.

Actuellement, les impératifs économiques ou encore la nécessité de calculs pointus (réponse spectrale d'une ossature par exemple) imposent d'inclure le comportement flexionnel des assemblages dans l'analyse globale de la structure. Dans le contexte général du développement de la construction à ossature bois et de l'emploi généralisé des méthodes de calcul par éléments finis, il s'avère particulièrement opportun de développer un outil spécifique à la modélisation de tels assemblages.

## Modélisation des assemblages dans les structures

Pour permettre l'intégration du comportement flexionnel des assemblages dans l'analyse globale de la structure, un travail préalable de caractérisation est généralement nécessaire :

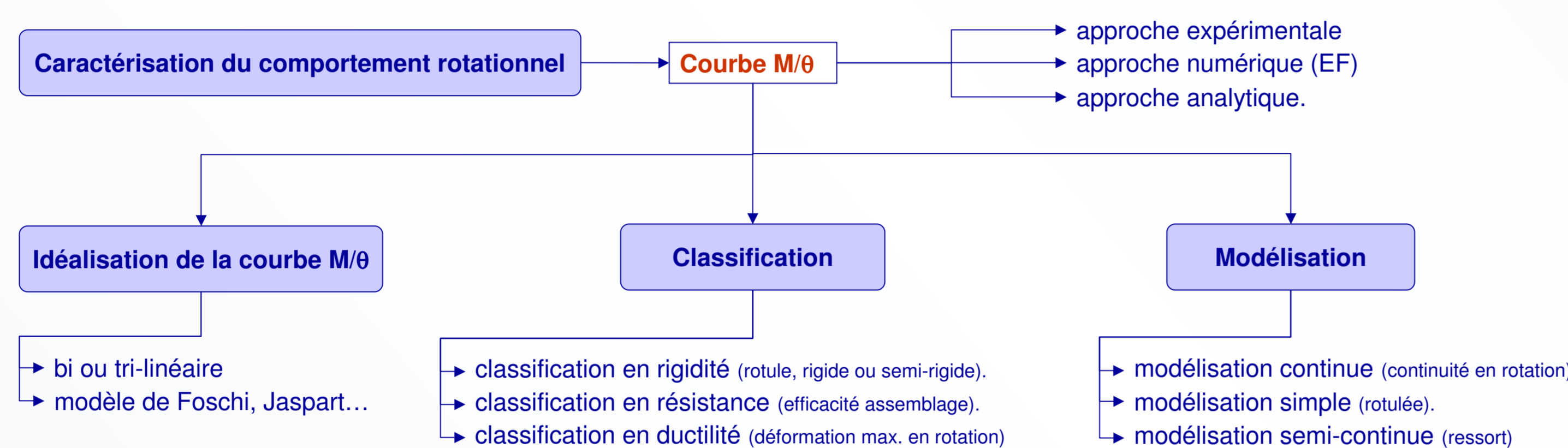


Fig 1: Schéma d'étude préalable nécessaire à l'approche traditionnelle de vérification des structures.

L'approche « traditionnelle » de vérification des structures en bois envisage deux hypothèses simplificatrices pour la modélisation des assemblages. La raideur est calculée (indépendamment de la direction de chargement) à l'aide d'un module de glissement  $K_{ser}$  [N/mm] défini par tige et par plan de cisaillement. Le dimensionnement des éléments et des assemblages est alors effectué en série de telle manière que la modélisation de l'assemblage par une rotule ou un encastrement est une hypothèse qui se doit d'être vérifiée à posteriori grâce au calcul de  $K_{ser}$ . L'approche proposée dans ce travail permet de s'affranchir de ces hypothèses et fournit une technique générale d'estimation de la rigidité des assemblages par connecteurs de type tige.

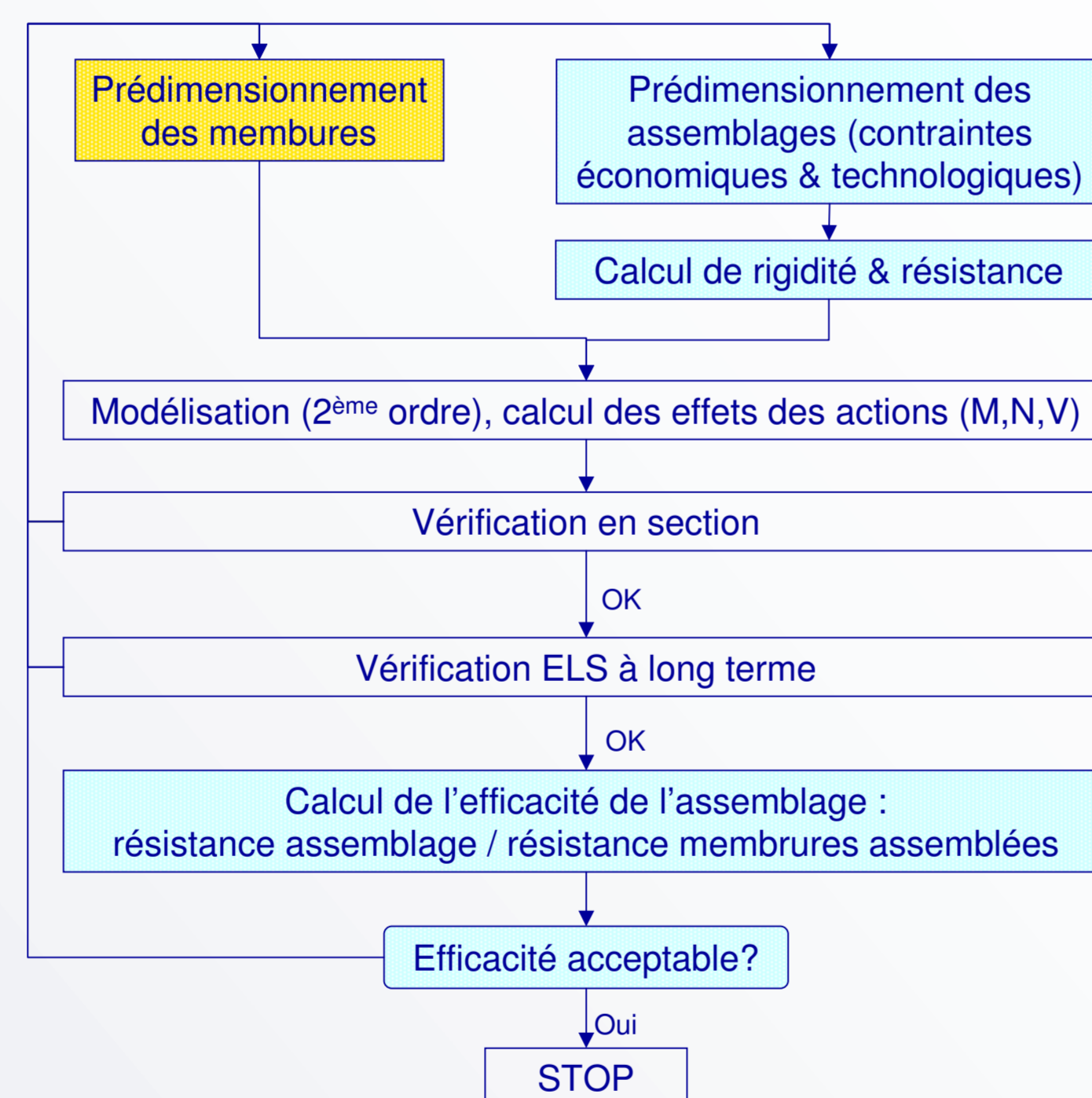


Fig 2: Schéma de principe de vérification semi-rigide des structures en bois.

## Définition d'un EFSR

La procédure développée propose d'intégrer directement la rigidité de l'assemblage dans l'analyse de la structure (Fig. 2). Pour cela, un élément fini semi-rigide (EFSR) particulier est défini. Sa matrice de rigidité spécifique permet d'associer les déplacements nodaux du gousset aux efforts transmis par celui-ci.

Soit deux bois assemblés à l'aide d'un gousset et de 8 clous (Fig. 3). Afin d'être facilement généralisable à des assemblages de plusieurs membrures, la modélisation envisage deux demi-goussets. En deux points de référence, on considère un système d'axes locaux (1 et 2) reliés chacun à une membrure (bois 1 et bois 2). Chaque clou  $i$  est repéré dans ce système par ses coordonnées  $x_i$  et  $y_i$ .

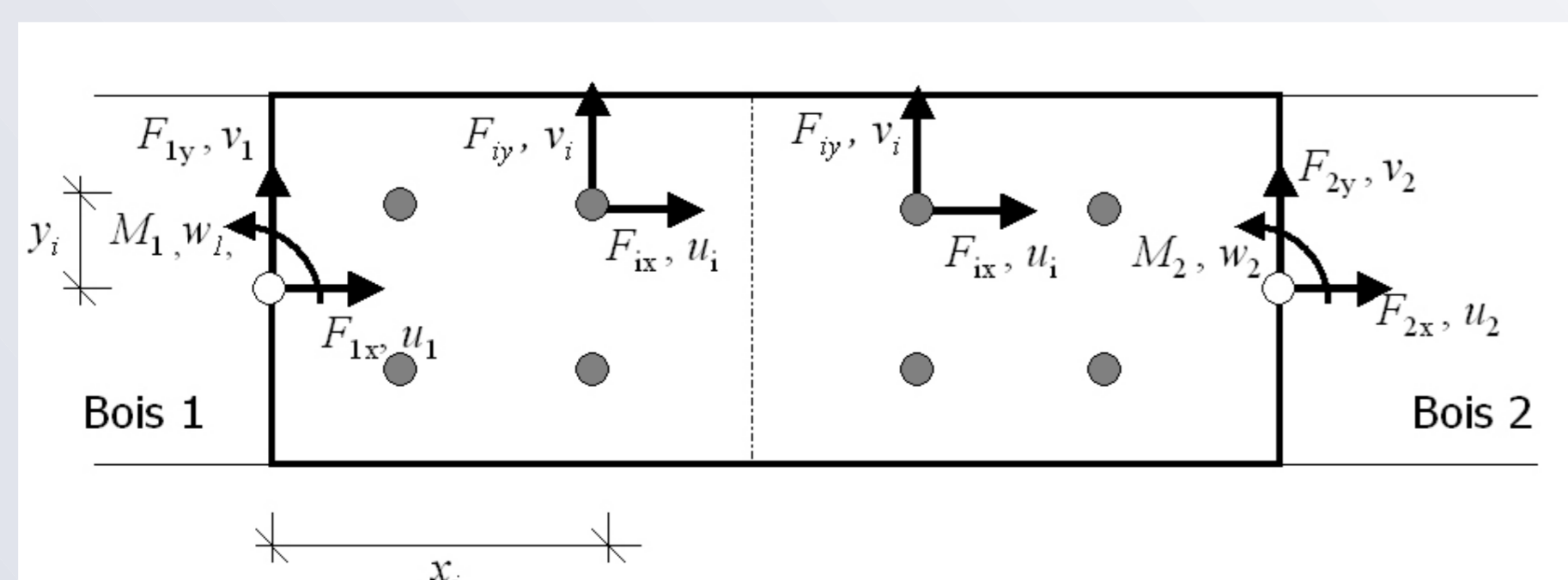


Fig 3: Assemblage de deux membrures par un gousset et 8 clous.

Le gousset pouvant être supposé rigide, une simple relation cinématique permet d'exprimer les déplacements ( $u_i, v_i$ ) de chacun des clous du demi-gousset dans les repères 1 ou 2. A chaque degré de liberté ( $u_i, v_i, w_i$ ) défini au nœud de référence peut être associé un effort ( $F_{ix}, F_{iy}, M_i$ ).

Si on admet un découplage des raideurs translationnelles (terme en  $k_{21}$  et  $k_{12}$  nuls), pour chaque tige, forces et déplacements sont liés par une loi non linéaire pouvant être obtenue par un simple essai d'embedding dans les directions parallèle (raideur  $k_{11}$ ) et perpendiculaire (raideurs  $k_{22}$ ) aux fibres. On peut dès lors écrire la relation liant force et déplacement dans le repère 1 :

$$\begin{bmatrix} F_{1x} \\ F_{1y} \\ M_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n k_{11}^i(u_i) & 0 & 0 \\ 0 & \sum_{i=1}^n k_{22}^i(v_i) & 0 \\ 0 & 0 & \sum_{i=1}^n (k_{11}^i(u_i)y_i^2 + k_{22}^i(v_i)x_i^2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ w_1 \end{bmatrix} = K(U)^* \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ w_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Une relation semblable entre forces et déplacement du demi-gousset lié au bois 2 peut être écrite de telle manière que la relation caractéristique de l' EFSR reliant les nœuds 1 et 2 s'écrit :

$$\begin{bmatrix} K(U)^* & -K(U)^* \\ -K(U)^* & K(U)^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{1x} \\ F_{1y} \\ F_{2x} \\ F_{2y} \\ M_1 \\ M_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

La phase d'assemblage du système est ensuite menée classiquement. L'introduction dans la formulation même de l'EFSR de la loi de comportement réelle du clou conduit à la résolution d'un système non linéaire par la méthode de Newton Raphson.

## Validation expérimentale

La structure modélisée (MATLAB) est une poutre de 4x14cm de section et d'une longueur totale de 2,1 mètres. Son module d'élasticité est de 7000N/mm<sup>2</sup>. L'assemblage, d'une longueur totale de 43cm, est situé au milieu de la poutre. L'assemblage est constitué de 32 clous disposés selon les prescriptions de l'EC5. La disposition des charges correspond à un essai de flexion 4 points de manière à solliciter l'assemblage en flexion pure. Le module d'élasticité ainsi que les raideurs  $k_{22}$  et  $k_{11}$  ont été mesurés expérimentalement. Les raideurs ont été approchées analytiquement par un modèle de Foschi ajusté de manière à approcher au mieux le domaine élastique de l'assemblage (Fig 4.a)

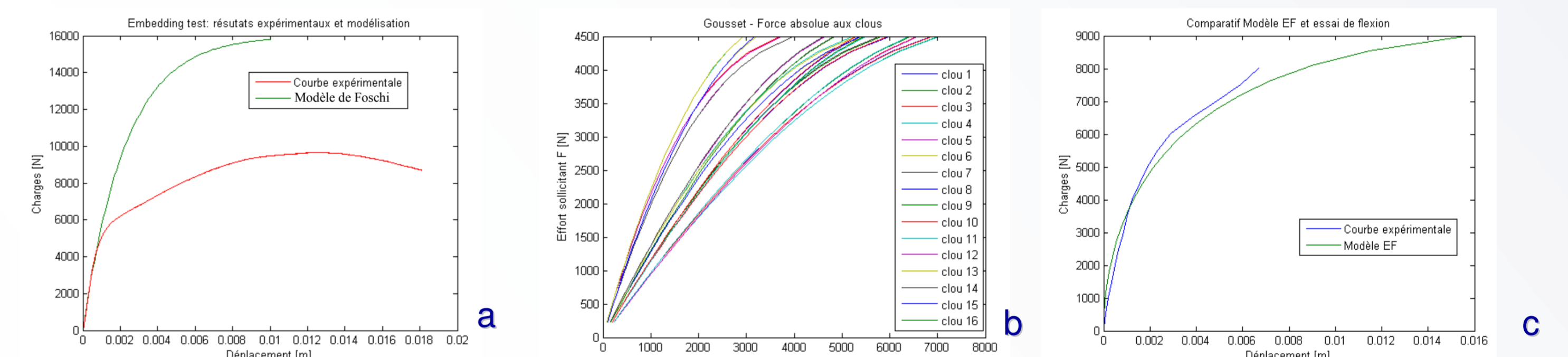


Fig 4: Modélisation de la courbe d'embedding - Efforts aux clous - Essai de flexion 4 points.

La figure 4.b présente les efforts mesurés au niveau des clous du demi gousset. L'évolution de ceux-ci montre la plastification progressive de l'assemblage et le taux de chargement différentiel des clous selon leur position. La figure 4.c compare l'évolution du déplacement vertical sous le point d'application de la charge obtenue lors d'un essai en laboratoire et par simulation numérique à l'aide de l'EFSR.

## Conclusion et perspectives

L'introduction d'un EFSR permet la prise en compte aisée de l'anisotropie de l'assemblage et de son comportement non linéaire. De plus, celui-ci simplifie grandement le travail préalable de classification des assemblages.

Dans l'état actuel de la recherche, la prédiction du comportement à la rupture de l'assemblage nécessite un ajustement des raideurs  $k_{22}$  et  $k_{11}$ . Cet ajustement a pour conséquence la surestimation de la charge à la rupture au niveau des clous. Les modes de ruptures observés dans l'essai d'embedding et lors de l'essai de flexion sur la poutre assemblée sont cependant différents, ce qui pourrait partiellement expliquer ces écarts. Une nouvelle campagne d'essai s'avère dès lors nécessaire.

Bien que cette approche nécessite encore des investigations complémentaires et des validations sur des structures plus complexes, les résultats préliminaires s'avèrent néanmoins très encourageants.

- [1] Huber G., Kronenberg H.J., Weynand K. Representation of Joints in the Analysis of Structural Systems COST C1 - Control of the Semi-Rigid Behaviour of Civil Engineering Structural Connections - Proceedings of the International Conference. Liège, Belgium, 105-114.
- [2] Descamps T., Datoussaïd S., Van Parys L., Développement d'un élément fini semi-rigide pour l'étude des structures planes en bois, Proceedings of the National Congress of Mechanics, Grenoble - France, august 2007.
- [3] Leijten A.J.M. Densified veneer wood reinforced timber joints with expanded tube fasteners - Phd Thesis, TU Delft 1998.
- [4] Nielsen J., Ellegaard P., Design and modelling of knee joints - Department of Building Technology and Structural Engineering Aalborg University, Denmark.
- [5] Ellegaard P., Analysis and design of modified attic trusses with punched metal plate fasteners - Department of Building Technology and Structural Engineering Aalborg University, Denmark.
- [6] Jensen J.L., Larsen H.J., Modelling of semi-rigid joints and their influence on the behaviour of structures - Proceedings of the 5th World Conference on Timber Engineering, Montreux - Switzerland, august 1998.
- [7] Hakkarainen H., Jerkku L., Kevanmäki A. The comparison of the semi-rigid and pin-connected joint models in the designing of nail plates structures - Proceedings of the International Conference COST C1. Liège, Belgium, 105-114.
- [8] Peterson H., Olsson K-G. Connection modelling for roof truss analysis - Proceedings of the International Conference COST C1 - Liège, Belgium, 105-114.