



Super-élément fini perforé non-linéaire pour la modélisation des assemblages dans les calculs de structures

NGUYEN

Phuc Viet Khoa

1^{ère} année

DMAS/CRD

Mail : phuc_viet_khoa.nguyen@onera.fr

Tél. : 6900

Directeur(s) de thèse

LECONTE, Nicolas, ONERA-DMAS/CRD
MASSA, Franck, LAMIH - UPHF

Encadrant(s) ONERA

LANGRAND, Bertrand, ONERA-DMAS

Encadrant(s) Extérieur(s)

HUBERT, Cédric, LAMIH - UPHF

Site

Lille

Thèse financée par

Onera - Région Hauts de France

Mots clés : Méthode de Trefftz, Calcul non-linéaire, Transformation Field Analysis, Réduction de modèle, Concentrations de contraintes

Contexte

Les zones d'assemblages rivetés jouent un rôle crucial dans les calculs de structures, nécessitant une discrétisation fine pour une modélisation précise des phénomènes physiques à l'échelle de l'assemblage via la simulation numérique. Toutefois, en raison de l'incompatibilité entre la taille des zones d'assemblage et l'échelle globale de la structure complète, un nombre considérable d'éléments et un pas de temps très court (dans le contexte du calcul dynamique explicite) seraient requis pour obtenir des résultats convenables. Une approche basée sur la modélisation des zones d'assemblages par des super-éléments est donc considérée. Ce genre d'élément a été élaboré au sein de différentes thèses menées à l'ONERA [1, 2] et est intégré dans Z-set. Cependant, la validation de ce super-élément de plaque perforée est restreinte aux calculs en élasticité linéaire. Dans ce contexte, il est indispensable d'étendre la formulation du super-élément afin de prendre en considération des non-linéarités géométriques et matérielles.

Objectifs scientifiques

Il a été montré que l'élément est restreint à l'élasticité linéaire, car la formulation repose sur la méthode de Trefftz [3]. Le champ de déplacement est considéré comme une combinaison de deux composantes indépendantes : un champ de déplacement à l'intérieur de l'élément \mathbf{u} , qui satisfait l'équation d'équilibre a priori et un champ de déplacement inter-élément $\tilde{\mathbf{u}}$, qui répond à la condition de continuité des déplacements entre les éléments (cf. figure 1).

Le champ de déplacement $\tilde{\mathbf{u}}$ est choisi de manière à être compatible avec les éléments finis conventionnels voisins :

$$\tilde{\mathbf{u}} = \tilde{\mathbf{N}}\mathbf{q}$$

où $\tilde{\mathbf{N}}$ est la matrice des fonctions d'interpolation usuelles associées aux éléments finis classiques voisins et \mathbf{q} est le vecteur des déplacements nodaux.

Le champ de déplacement à l'intérieur du domaine est décomposé comme la somme d'une partie homogène et d'une partie particulière.

$$\mathbf{u} = \underset{\text{particulière}}{\mathbf{u}^p} + \underset{\text{homogène}}{\mathbf{N}\mathbf{c}}$$

Dans cette expression, \mathbf{u}^p représente la solution d'une plaque perforée soumise à un chargement particulier. Cette solution est purement analytique et dépend du type de chargement appliqué à la perforation. La partie homogène,

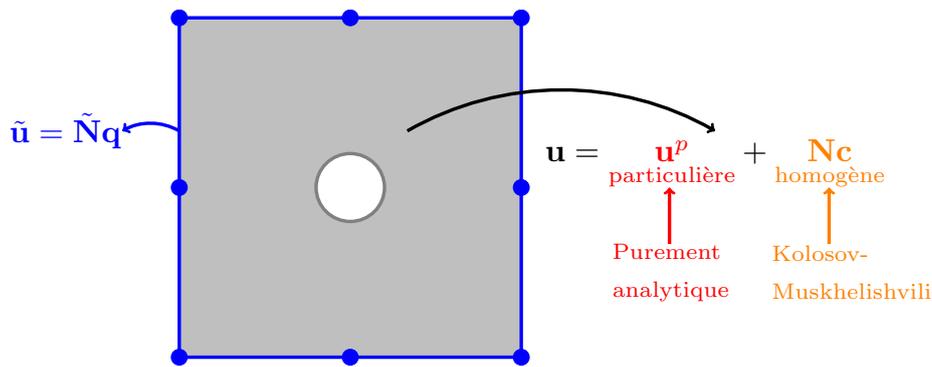


FIGURE 1 – Champs de déplacement, compatibilité et méthode de Trefftz

quant à elle, correspond à la solution d'une plaque perforée dont la perforation est libre de chargement (solution de Kolosov-Muskhelishvili [1]). La matrice \tilde{N} est constituée des fonctions d'interpolation spéciales dépendant de la géométrie et des caractéristiques matérielles de la plaque [2]. Le vecteur q est le vecteur des degrés de liberté généralisés.

Cependant, dans les calculs non-linéaires, la partie homogène ne peut pas être formulée sur la base d'une solution analytique comme précédemment. L'objectif principal est donc de revoir la stratégie numérique afin d'intégrer les modes non-linéaires d'une plaque perforée dans la formulation du super-élément.

Démarche, déroulement et principaux résultats obtenus

La première étape de cette thèse consiste en un état de l'art couvrant tous les aspects potentiels liés à la problématique. Des approches très prometteuses ont été récemment proposées, en particulier :

- **Correction des modes élastiques** : Développement d'un facteur de correction basé sur l'évolution des facteurs de concentration de contraintes. Le champ plastique serait maintenant approximé par un produit du facteur de correction et du champ élastique.
- **Génération des modes non-linéaires par des méthodes d'homogénéisation** : Création de modes non-linéaires en utilisant, par exemple, la méthode TFA-NTFA [4].
- **Construction d'un modèle réduit des modes non linéaires** : Création d'une base réduite qui contient les modes les plus significatifs en régime non linéaire. En particulier, la méthode POD [5] est considérée.
- **Apprentissage automatique** : Homogénéisation du comportement d'un matériau non linéaire en utilisant des réseaux de neurones [6].

Références

- [1] N. Leconte, *Eléments finis hybride déplacement perforés pour le calcul des structures aéronautiques rivetées*, Phd thesis, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis (novembre 2008).
- [2] C. Hennuyer, *Super-élément fini de tôles rivetées pour le calcul des structures*, Phd thesis, Université de Valenciennes (juin 2015).
- [3] N. Leconte, B. Langrand et E. Markiewicz, *Hybrid displacement FE formulations including a hole*, Structural Engineering and Mechanics, 31 (4), pp. 439–451 (mars 2009).
- [4] N. Leconte, B. Langrand et S. Kruch, *An iterative plane stress integrated Transformation Field Analysis for Equivalent Homogeneous Medium characterization and localization — Application to structural holes*, International Journal of Solids and Structures, 285, p. 112559 (décembre 2023).
- [5] Y. C. Liang, H. P. Lee, S. P. Lim, W. Z. Lin, K. H. Lee et C. G. Wu, *Proper orthogonal decomposition and its applications - part 1 : Theory*, Journal of Sound and Vibration, 252 (3), pp. 527–544 (mai 2002).
- [6] H. J. Logarzo, G. Capuano et J. J. Rimoli, *Smart constitutive laws : Inelastic homogenization through machine learning*, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 373, p. 113482 (janvier 2021).