CSMA 2011
10e Colloque National en Calcul des Structures
9-13 Mai 2011, Presqu'île de Giens (Var)

Méthodes de décomposition de domaine primale et mixte pour la simulation de grandes structures avec instabilités.

J. Hinojosa[1], O. Allix[1], P.-A. Guidault[1], P. Cresta[2]

[1] *LMT-Cachan, ENS Cachan/UPMC/CNRS/PRES UniverSud Paris, France, {hinojosa,allix,guidault}@lmt.ens-cachan.fr*
[2] *EADS Innovation Works, France, Philippe.Cresta@eads.net*

La conception des structures complexes telles que celles rencontrées dans l'aéronautique (constituées d'éléments élancés susceptibles de flamber au-delà d'une charge critique) nécessitent un grand nombre d'essais jusqu'à rupture, de l'échelle du matériau à l'échelle de la structure complète, en passant par toutes les échelles intermédiaires. Lors des essais structuraux de certification, réalisés sur des fuselages complets, on observe localement l'apparition de zones de flambage de la peau, formant des cloques entre les raidisseurs. Ces zones exhibant un comportement non-linéaire peuvent s'étendre et provoquer des redistributions de contraintes dans la structure. Même si les matériaux restent dans le domaine élastique, elles peuvent provoquer des concentrations de contraintes à la base des raidisseurs et induire des décollements locaux menant à la rupture globale. Afin de réduire les coûts et la durée de développement,, les industriels mettent en avant les simulations numériques dans le processus de conception pour guider, compléter ou remplacer une partie de l'approche expérimentale.

Le calcul direct à l'échelle fine des structures industrielles est encore inaccessible en raison du coût de calcul prohibitif et/ou de la capacité de mémoire insuffisante, malgré l'architecture parallèle des calculateurs d'aujourd'hui. Cette limitations conduisent à conserver une description hiérarchique, multiécheles, de modèles "emboîtés" (modèles "gigogne") allant de modèles "grossier" de la structures à des modèles locaux raffinés.

Dans le domaine non-linéaire, le besoin d'approches multi-échelles est sans doute encore plus important. Elles sont cependant très souvent restreintes aujourd'hui à des approches descendantes, c'est-à-dire du global vers le local, le "retour" (approche ascendante) étant souvent ignoré faute de méthodes adéquates ou de temps. En pratique, ces approches consistent à conduire dans un premier temps une simulation simplifiée (géométrie et comportement, sur la structure tout entière). Les phénomènes locaux sont ensuite étudiés plus en détail à partir de modèles (géométrie et comportement) plus fins en tenant compte des conditions aux interfaces du bord de la zone d'intérêt, conditions obtenues par le calcul global initial. Ces méthodes n'offrent qu'un dialogue limité entre les échelles introduites et ne peuvent traiter efficacement que les non-linéarités localisées ayant peu d'influence sur la réponse globale.

Dans une première partie, on étudie une nouvelle stratégie [1] basée sur la méthode NKS (Newton-Krylov-Schur) [2, 3]. Cette nouvelle méthode s'appuie sur des résolutions non-linéaires locales par sous-structures. Le but recherché est de concentrer l'effort numérique sur les zones le nécessitant au moyen d'itérations locales, par sous-structure, c'est-à-dire à une échelle pertinente vis-à-vis du phénomène, et permettant de vérifier le comportement non-linéaire. Les itérations globales ont alors pour objectif d'assurer le couplage entre les sous-structures. La figure 1 présente schématiquement les étapes des méthodes avec relocalisation non-linéaire. Contrairement aux approches NKS qui propose de sous-structurer le problème tangent issu de la linéarisation de la méthode de Newton, la sous-structuration est ici formellement réalisée sur le problème non-linéaire d'origine [4]. Deux méthodes de décomposition de domaine sont analysées : une méthode « primale » et une méthode « mixte » [1]. Une version « duale » est présentée dans [4].

Les enjeux abordés dans cette étude sont : la robustesse et la performance de la méthode vis-à-vis des instabilités et l'utilisation de méthodes de continuation [5] dans le cadre de la sous-structuration.

Cette étude a été menée sur des structures exhibant des comportements globaux non-linéaires (« snap-through », « snap-back »), avec flambage au niveau local.

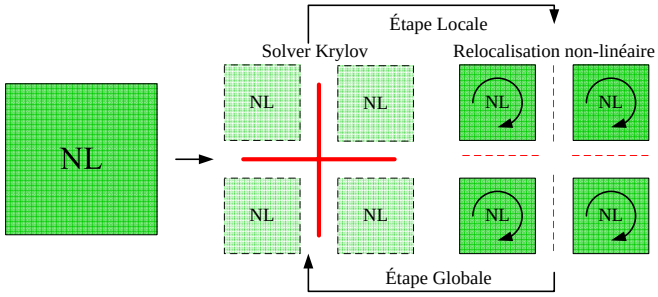

FIGURE 1 – Etapes de résolution des stratégies avec relocalisation non-linéaire.

Une autre enjeu, plus pratique, consiste en la parallélisation de la stratégie pour des architectures de type cluster afin de simuler le comportement post-flambage de grandes structures raidies proches de structures industrielles (figure 2).

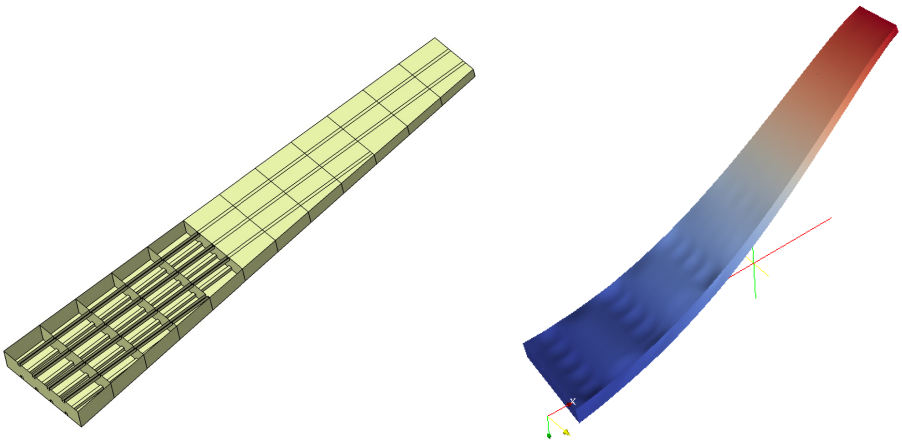

FIGURE 2 – Modéle 3D du caisson de voilure et déformée totale de la structure

Références

[1] P. Cresta, O. Allix, C. Rey and S. Guinard, Nonlinear localization strategies for domain decomposition methods : Application to post-buckling analysis. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* 196, 1436-1446 (2007).

[2] Y.-H. De Roeck, P. Le Tallec and M. Vidrascu, A domain-decomposed solver for nonlinear elasticity. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* 99, 187-207 (1992).

[3] C. Farhat, M. Lesoine and K. Pierson, A scalable dual-primal domain decompoition method. *Numerical Linear Algebra with Applications* 7, 687-714 (2000).

[4] J. Pebrel, C. Rey, and P. Gosselet, A nonlinear dual domain decomposition method : application to structural problems with damage. *International Journal of Multiscale Computational Engineering* 6(3), 251-262 (2008).

[5] M. A. Crisfield, A fast incremental/iterative solution procedure that handles 'snap-through'. *Computers and Structures* 13, 55-62 (1981).