

## Une technique de couplage non-intrusif et son application à la plasticité localisée

L. Gendre<sup>1</sup>, O. Allix<sup>1</sup>, P. Gosselet<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LMT-Cachan, ENS Cachan/UPMC/CNRS/PRES UniverSud Paris, France, {gendre,allix,gosselet}@lmt.ens-cachan.fr

**Résumé** — Nous présentons une technique permettant de tester des modèles ou des techniques innovantes au sein de problèmes industriels existants. Cette technique consiste à créer un « patch » local séparé, contenant les améliorations souhaitées et muni de son propre code, et à le coupler au modèle industriel à l'aide d'un algorithme de couplage de codes non-intrusif, ne nécessitant aucune modification des logiciels ou des jeux de données existants. Différentes variantes de cet algorithme sont présentées et leurs performances sont comparées.

**Mots clés** — Méthodes numériques, Fiabilité.

Dans ce travail, nous présentons une stratégie de calcul destinée à tester des modèles de comportement innovants ou des techniques de résolution avancées sur des problèmes existants, dans un environnement de calcul industriel. Cette stratégie repose sur deux observations. Premièrement, dans les simulations industrielles, les phénomènes à l'origine des coûts (par exemple non-linéaires, ou demandant une discrétisation très fine) sont souvent *localisés* dans une petite partie de la structure. Deuxièmement, les logiciels de simulation utilisés dans l'industrie sont rarement assez flexibles pour que l'on puisse y implanter directement des techniques innovantes. Nous proposons donc une approche *non-intrusive* : au lieu de modifier directement le modèle ou le logiciel existants, nous proposons de créer un « patch » local séparé, contenant les améliorations souhaitées, limité à la zone où elles sont nécessaires, et muni de son propre code de calcul. Ce patch est alors couplé au modèle industriel par un algorithme de couplage de codes, ce qui permet une flexibilité et une modularité maximales.

L'application présentée ici concerne l'introduction d'une zone plastique dans un modèle global élastique linéaire. Elle présente une différence fondamentale avec la plupart des problèmes couplés : la zone d'intérêt est décrite *dans les deux modèles*, avec des maillages, des géométries et des comportements différents, voir Figures 1(a) et 1(b). Pour cette raison, afin d'assurer la flexibilité de l'approche, on utilise un formalisme « par morceaux » [5] : le problème de référence est défini par la *substitution* du problème local au sein du problème global (Figure 1(c)), et il s'agit donc d'un problème partitionné avec couplage surfacique, pouvant être résolu par un algorithme itératif. Ainsi, nous utilisons une *méthode de Newton modifiée* [5, 10] qui ne nécessite aucune modification des modèles ou des solveurs : elle demande uniquement d'échanger des déplacements et des efforts nodaux entre les deux logiciels, qui peuvent être utilisés comme « boîtes noires ». Par conséquent, cette stratégie est plus simple à mettre en œuvre que

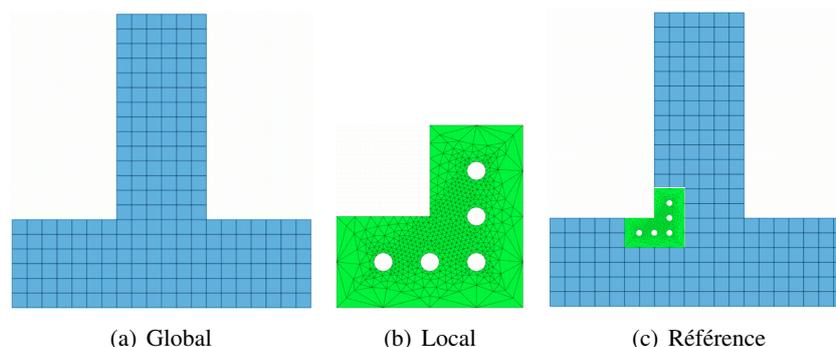


FIGURE 1 – Problèmes global, local et de référence.

les méthodes multi-échelles hiérarchiques ou de « patches » [1, 4], qui demandent d'adapter modèles et logiciels. De plus, le solveur local étant non-linéaire, le traitement de la non-linéarité est plus efficace que si l'on se contentait d'effectuer des itérations globales [3].

L'efficacité de la méthode peut être améliorée de deux façons. Premièrement, l'algorithme de Newton modifié qui effectue le couplage peut être changé en un *algorithme quasi-Newton* à l'aide de techniques d'algèbre linéaire simples [9], sans remettre en question l'aspect non-intrusif de la méthode. Cela accélère nettement la convergence des échanges, pour un surcoût par itération négligeable [5]. Deuxièmement, la *condition aux limites* utilisée pour transférer la solution globale au modèle local joue un rôle fondamental : le choix le plus simple est d'utiliser une condition de Dirichlet (déplacement imposé), mais une condition de Robin (mixte) mène théoriquement à la convergence en une seule itération si l'on utilise, comme rigidité d'interface, le *complément de Schur* du reste de la structure. Toutefois, cette quantité est généralement trop coûteuse à calculer sur de grands problèmes, et nous utilisons donc des approximations. Les méthodologies classiques [8, 7] étant ici insuffisantes, nous proposons une approximation « à deux échelles » [6] qui mène à une convergence très rapide pour des coûts modérés.

Des résultats sont présentés sur un problème simple 2D et un problème complexe 3D fourni par notre partenaire Snecma, qui utilisent deux instances Abaqus/Standard comme solveurs. On montre que l'approche représente un moyen simple d'améliorer la précision et la fiabilité des techniques descendantes couramment utilisées dans l'industrie, comme le *submodeling* [2].

## Références

- [1] H. Ben Dhia. *Multiscale mechanical problems : the Arlequin method*, Comptes-rendus de l'Académie des Sciences, **326** :899–904, 1998.
- [2] N.G. Cormier, B.S. Smallwood, G.B. Sinclair, G. Meda. *Aggressive submodelling of stress concentrations*, International Journal for Numerical Methods in Engineering, **46** :889–909, 1999.
- [3] P. Cresta, O. Allix, C. Rey, S. Guinard. *Nonlinear localization strategies for domain decomposition methods : application to post-buckling analyses*, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, **196(8)** :1436–1446.
- [4] J. Fish. *The s-version of the finite element method*, Computers and Structures, **43(3)** :539–547, 1992.
- [5] L. Gendre, O. Allix, P. Gosselet, F. Comte. *Non-intrusive and exact global/local techniques for structural problems with local plasticity*, Computational Mechanics, **44(2)** :233–245, 2009.
- [6] L. Gendre, O. Allix, P. Gosselet. *A two-scale approximation of the Schur complement and its use for non-intrusive coupling*, à paraître dans International Journal for Numerical Methods in Engineering.
- [7] P. Ladevèze, D. Dureisseix. *A micro/macro approach for parallel computing of heterogeneous structures*, International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, **1** :18–28, 2000.
- [8] F. Magoulès, F.X. Roux, L. Series. *Algebraic approximation of Dirichlet-to-Neumann maps for the equations of linear elasticity*, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, **195** :3742–3759, 2006.
- [9] H. Matthies and G. Strang. *The solution of nonlinear finite element equations*, International Journal for Numerical Methods in Engineering, **14** :1613–1626, 1979.
- [10] J.D. Whitcomb. *Iterative global/local finite element analysis*, Computers and Structures, **40(4)** :1027–1031, 1991.