

Méthodes de point intérieur pour le calcul non linéaire des structures : de la programmation conique au recalage paramétrique à grande échelle

AGNÈS FLISCOUNAKIS

Strains, Paris, France — agnes.fliscounakis@strains.fr

Mini-symposium : *Quelques applications réelles de l'optimisation et du contrôle optimal* — Org. : M. Haddou (INSA Rennes, IRMAR)

Le logiciel DIGITAL STRUCTURE, développé par la société Strains, repose sur une approche radicalement différente des solveurs éléments finis classiques : les problèmes de mécanique non linéaire des structures (élastoplasticité, contact, calcul à la rupture) sont reformulés comme des programmes d'optimisation conique — SOCP et SDP — résolus par un algorithme de point intérieur primal-dual développé en interne [1, 2]. Pour le critère de von Mises, la loi d'écoulement plastique s'exprime comme une condition de complémentarité sur un cône de Lorentz : $\|\varepsilon^P\| \leq \gamma$, $\|s_{\varepsilon^P}\| \leq s_\gamma$, $(\gamma, \varepsilon^P) \circ (s_\gamma, s_{\varepsilon^P}) = \eta e$, où \circ désigne le produit de Jordan et $\eta \rightarrow 0$ à convergence. En choisissant des éléments finis cinématiques (en déplacement) et statiques (en équilibre), on obtient simultanément une borne *supérieure* et une borne *inférieure* de la solution exacte, fournissant un **encadrement garanti** de la charge de ruine.

Ce cadre est illustré sur un **assemblage acier** 3D issu d'une étude d'ingénierie réelle [1]. Le calcul dual fournit un encadrement de la résistance ultime, validé par comparaison avec Abaqus et les recommandations de l'Eurocode 3. L'extension au béton armé, via un critère de Mohr-Coulomb tronqué enrichi par des faces de glissement (*sliding faces*) rendant compte de l'anisotropie induite par la fissuration, a été développée dans [3].

Nous présentons ensuite deux développements récents visant le passage à l'échelle :

(i) **Passage à l'échelle sur GPU.** Le système KKT résolu à chaque itération IPM est décomposé par sous-structuration en blocs indépendants, chacun factorisé sur GPU. Le couplage aux interfaces est traité par complément de Schur. Cette décomposition améliore à la fois la robustesse numérique de la convergence IPM et la capacité de traitement, permettant d'atteindre des maillages de plusieurs millions de tétraèdres.

(ii) **Perspective : recalage paramétrique à grande échelle.** En couplant l'approche adjointe avec la décomposition par sous-structuration, on peut calculer efficacement la sensibilité des fréquences propres et déformées modales par rapport aux rigidités locales et anisotropes de chaque élément. Cela ouvre la voie au recalage de modèles volumiques à partir de mesures accélérométriques *in situ*, visant la détection et la caractérisation directionnelle de l'endommagement structural.

Références

- [1] C. El Boustani, J. Bleyer, M. Arquier, M.-K. Ferradi, K. Sab, Elastoplastic and limit analysis of 3D steel assemblies using SOCP and dual finite-elements, *Eng. Struct.*, **221**, 111041, 2020.
- [2] C. El Boustani, J. Bleyer, M. Arquier, K. Sab, Extending interior-point methods to nonlinear SOCP: application to finite-strain elastoplasticity, *Int. J. Numer. Meth. Engng*, **122**(1), 270–293, 2020.
- [3] A. Fliscounakis, M. Arquier, M.-K. Ferradi, 3D Limit Analysis of reinforced concrete with sliding along smeared cracks, *Comput. Struct.*, 2024.