



Une approche de réduction de modèles en temps et espace pour le calcul de l'endommagement par fatigue

Mainak Bhattacharyya

Résumé

L'objet de ce projet de recherche est de prédire la durée de vie d'éléments mécaniques qui sont soumis à des phénomènes de fatigue cyclique. L'idée est de développer un schéma numérique novateur pour prédire la rupture de structures sous de tels chargements. Le modèle est basé sur la mécanique des milieux continus qui introduit des variables internes pour décrire l'évolution de l'endommagement. Le défi repose dans le traitement des cycles de chargement pour la prédiction de la durée de vie, particulièrement pour la prédiction de la durée de vie résiduelle de structures existantes.

Les approches traditionnelles de l'analyse de la fatigue sont basées sur des méthodes phénoménologiques utilisant des relations empiriques. De telles méthodes considèrent des approximations simplificatrices et sont incapables de prendre en compte aisément des géométries ou des charges complexes associées à des problèmes d'ingénierie réels. Une approche basée sur la description de l'évolution thermodynamique d'un milieu continu est donc utilisée pour modéliser le comportement en fatigue. Cela permet de considérer efficacement des problèmes d'ingénierie complexe et la détérioration des propriétés du matériau due à la fatigue peut être quantifiée à l'aide de variables internes. Cependant, cette approche peut être numériquement coûteuse et, par conséquent, des approches numériques sophistiquées doivent être utilisées.

La stratégie numérique sur laquelle ce projet est basé est singulière par rapport aux schémas incrémentaux en temps usuellement utilisés pour résoudre des problèmes élasto-(visco)plastique avec endommagement dans le cadre de la mécanique des milieux continus. Cette stratégie numérique appelée méthode LATIN (Large Time Increment method) est une méthode non-incrémentale qui recherche la solution de manière itérative sur l'ensemble du domaine spacio-temporel. Une importante innovation de la méthode LATIN est d'incorporer une stratégie de réduction de modèle adaptative pour réduire de manière très importante le coût numérique. La Décomposition Propre Généralisée (PGD) est une stratégie de réduction de modèle a priori qui sépare les quantités d'intérêt spacio-temporelles en deux composantes indépendantes, l'une dépendant du temps, l'autre de l'espace, et estime

itérativement les approximations de ces deux composantes. L'utilisation de l'approche LATIN-PGD a montré son efficacité depuis des années pour résoudre des problèmes élasto-(visco)plastiques. La première partie de ce projet vise à étendre cette approche aux modèles incorporant de l'endommagement.

Bien que l'utilisation de la PGD réduise les coûts numériques, le gain n'est pas suffisant pour permettre de résoudre des problèmes considérant un grand nombre de cycles de chargement, le temps de calcul peut être très conséquent, rendant les simulations de problèmes de fatigue intraitables même en utilisant les techniques LATIN-PGD. Cette limite peut être dépassée en introduisant une approche multi-échelle en temps, qui prend en compte l'évolution rapide des quantités d'intérêt lors d'un cycle et leur évolution lente au cours de l'ensemble des cycles. Une description type « éléments finis » en temps est proposée, où l'ensemble du domaine temporel est discrétisé en éléments temporels, et seulement les cycles nodaux, qui forment les limites des éléments, sont calculés en utilisant la technique LATIN-PGD. Puis, des fonctions de forme classiques sont utilisées pour interpoler les quantités d'intérêt à l'intérieur des éléments temporels.

Cette stratégie LATIN-PGD à deux échelles permet de réduire le coût numérique de manière significative, et peut être utilisée pour simuler l'évolution de l'endommagement dans une structure soumise à un chargement de fatigue comportant un très grand nombre de cycles.

mots clés: méthode LATIN, mécanique de l'endommagement, (visco)plasticité, fatigue des métaux, réduction d'ordre de modèle, PGD, échelle multi-temporelle