

RAPPORT

De Prof. Pierre VILLON, Université de Technologie de Compiègne (UTC), nommé par le Directeur de l'ENS de Cachan pour examiner la thèse de M. Hong-Minh NGUYEN, ayant pour sujet :

Une stratégie d'indentification robuste pour la localisation et la rupture

La connaissance des paramètres matériau est indispensable pour prédire le comportement des structures. De nombreux travaux portent sur l'identification ou le calage de modèle. Cependant, la volonté de prendre en compte de plus en plus de phénomènes physiques à toutes les échelles et les moyens de calcul qui augmentent conduisent à des modèles très complexes. L'identifiabilité dans ce contexte n'est pas facile à établir. Par ailleurs, l'automatique linéaire classique fournit des outils efficaces, mais ceux-ci ne s'appliquent pas directement en mécanique non linéaire. La thèse de Monsieur Hong-Minh Nguyen porte sur l'adaptation de la théorie du régulateur linéaire quadratique (LQR) à des problèmes de mécanique non linéaire. La clé proposée, et c'est une première, à ma connaissance, est d'utiliser la méthode LATIN pour linéariser les équations d'état. Ce faisant, on obtient une suite de problèmes de contrôle optimal dont les solutions convergent vers les paramètres cherchés dans les deux principaux exemples étudiés. Ces résultats sont très encourageants.

Le mémoire de thèse se décompose en cinq chapitres

Le chapitre 1 présente une synthèse bibliographique assez consistante. Une première partie traite des problèmes inverses en identification et des méthodes de résolution : champs auxiliaires, quasi-réversibilité, filtre de Kalman. La deuxième partie décrit l'erreur en loi de comportement (ERDC) et les méthodes déjà développées pour résoudre le problème d'optimisation associé.

Le chapitre 2 expose le travail qui avait déjà été accompli, principalement dans la thèse de Pierre Feissel, sur l'identification des paramètres élastiques d'une poutre en élasticité linéaire. Les méthodes explorées et les résultats obtenus permettent de dégager les directions qui vont être explorées par la suite : EDRC et équation de Riccati.

Le chapitre 3 comporte trois études :

Le premier exemple consiste à revisiter l'identification du module d'Young d'une poutre élastique linéaire. Les mesures sont fabriquées numériquement et perturbées aléatoirement. Le critère à minimiser est baptisé EDRC modifié. Les conditions d'optimalité du premier ordre conduisent à un système linéaire état-état adjoint $(x(t), \lambda(t))$ avec condition finale sur l'état adjoint et condition initiale sur l'état : *le système aux deux bouts*. La résolution passe par le découplage $\lambda(t) = P(t)x(t) + r(t)$. $P(t)$ est la matrice solution de l'équation différentielle rétrograde de Riccati. Lorsque le système est stable, $P(t)$ se stabilise en tendant vers P , la solution de l'équation stationnaire, appelée ici équation algébrique de Riccati. Après comparaison entre plusieurs méthodes, l'auteur propose l'approche hybride $\lambda(t) = P x(t) + r(t)$. On économise énormément en temps calcul et en stockage mémoire sans dégrader trop la solution dans le cas étudié (cf figures p89). Une comparaison avec un filtre de Kalman tourne à l'avantage de la méthode hybride, mais,

comme le note l'auteur, le choix de l'initialisation par la matrice de variance-covariance estimée du bruit conditionne complètement les performances du filtre.

Le deuxième exemple est une extension au cas bidimensionnel. La méthode hybride est encore plus justifiée par le grand nombre de degrés de libertés. Les résultats sont comparables à ceux obtenus en 1D (cf p97), sauf pour le coefficient de Poisson.

Le troisième exemple est la poutre 1D hétérogène. Le problème est résolu en boucle ouverte par une méthode de descente combinant un gradient à pas optimal et BFGS. Sans surprise, les résultats sont améliorés par rapport à la méthode du gradient à pas fixe développée auparavant (cf p100).

Le chapitre 4 est le cœur du travail de Monsieur Nguyen : l'identification robuste pour un problème de mécanique non linéaire. L'exemple choisi ici est une poutre en viscoplasticité. Les paramètres inconnus p sont ceux des lois d'évolution, les autres paramètres matériau sont supposés déjà connus. La fonction coût $J(p)$ à minimiser est du type ERDC et la résolution se fait en boucle ouverte, étant donné le caractère non linéaire des équations d'état. Le gradient de J s'obtient par la résolution du système aux deux bouts (S2B), qui, cette fois-ci, est non seulement non linéaire mais aussi non stationnaire (coefficients dépendant du temps). Afin de pouvoir utiliser la méthode robuste étudiée au chapitre 3, la linéarisation de S2B est faite à l'aide de la méthode LATIN. On est donc amené à construire itérativement un grand vecteur contenant toutes les variables en temps-espace. L'auteur a apporté un soin particulier à bien décrire les opérateurs H^+ et H^- qui s'alternent dans l'algorithme de résolution. Avec un choix judicieux des termes de la fonction coût (partie 4.4), celle-ci se révèle strictement convexe (fig 4.20 p 138) dans le domaine d'étude, ce qui assure la robustesse des résultats, comme le montrent les figures 4.21 p 138. Les résultats sont donc très positifs.

Le chapitre 5 expose reprend la même démarche qu'au chapitre précédent, mais cette fois-ci pour identifier les paramètres d'un modèle de rupture dans le cas d'un composite stratifié. La loi d'évolution est définie p151 et l'on doit identifier les deux paramètres a et τ_c . Le choix du critère et des opérateurs H^+ et H^- sont bien détaillés. On constate encore ici une bonne convexité d'où la robustesse.

Les résultats obtenus sont très encourageants (robustesse jusqu'à 20% de perturbations) et permettent d'envisager une suite à ce travail. Un des principaux challenges sera de passer en dimension 2 puis 3, ce qui nécessitera de paralléliser au maximum les calculs et d'optimiser l'occupation mémoire. Monsieur Nguyen a amplement montré la faisabilité mathématique et algorithmique de cette démarche.

La démarche de modélisation et d'optimisation présentée dans ce mémoire est assez générale, ce qui ouvre des perspectives intéressantes. A la lecture, il apparaît que ce travail a été mené avec rigueur, sérieux et créativité. Les exemples sont assez convaincants.

C'est pourquoi je donne un avis favorable à la soutenance de la thèse de Mr Hong-Minh NGUYEN.

Compiègne, le 28 Novembre 2006,

Pierre VILLON