

Rapport sur le mémoire de thèse de :  
**Monsieur Nicolas RELUN**

Ayant pour sujet :  
« Approche multiparamétrique pour la conception robuste en fatigue »

Rapport réalisé par :  
**Jean-Yves COGNARD**, Professeur des Universités  
Laboratoire Brestois de Mécanique et des Systèmes  
ENSTA Bretagne, Brest

Le travail présenté par Nicolas RELUN concerne la prise en compte des incertitudes liées à la modélisation du comportement non linéaire des matériaux pour le calcul des probabilités de défaillance de structures de type aéronautique. La stratégie proposée dans le travail, réalisé dans le cadre du projet ANR APPROFI, est de résoudre le problème mécano-probabiliste par la résolution d'un problème déterministe pour de nombreux jeux de valeur des paramètres d'entrée en se basant sur des plans d'expériences complets. L'objectif de la thèse est d'utiliser les possibilités de la méthode LATIN couplée avec une stratégie « multiparamétrique » pour réduire le coût de ces simulations. Des approches initialement proposées pour les matériaux de type visco-élastique ont été adaptées aux modèles visco-plastiques et aux approches « multiparamétriques ». Les améliorations proposées ont été intégrées au logiciel basé sur la plateforme C++ du LMT-Cachan pour évaluer les possibilités de l'approche proposée. Cette étude comporte plusieurs aspects : une partie bibliographique, une partie développement de stratégie de calcul et une partie développement numérique dans un code de calcul éléments finis.

Le document de thèse est organisé en 6 chapitres qui présentent le contexte et l'objectif du travail puis les différentes étapes du travail. Les références bibliographiques sont au nombre de 100 (environ). L'ensemble constitue un document d'environ 110 pages.

Le premier chapitre présente l'étude bibliographique sur les « méthodes pour la propagation des incertitudes ». Une présentation du contexte de l'étude est proposée et une présentation rapide de la modélisation probabiliste des incertitudes est réalisée. Le calcul de la probabilité de défaillance en fatigue est très rapidement abordé. Le calcul de la réponse stochastique est abordé en présentant brièvement les principales méthodes utilisées. En conclusion du chapitre, l'intérêt des méthodes FORM/SORM est souligné du fait du faible nombre d'appel au modèle physique.

Il aurait été intéressant d'avoir une analyse plus précise des modes de défaillance en fatigue et des modèles probabilistes développés pour estimer les durées de vie en fatigue pour des chargements complexes en temps (associé au sujet du projet et au titre de la thèse).

Le second chapitre est intitulé « Méthode LATIN et stratégie multiparamétrique ». Le chapitre débute par un rappel des grandes lignes de la méthode LATIN pour le cas des matériaux

viscoplastiques, basés sur des lois d'états linéaires (pouvant être obtenus par un changement de variable). Des directions de recherche permettant de simplifier l'écriture des deux étapes de la méthode LATIN sont proposées dans cette étude ; de plus, la direction de recherche est seulement réactualisée périodiquement au cours des itérations en se basant sur un critère d'erreur. Pour assurer la convergence de la méthode une régularisation est utilisée sur le calcul des corrections. Le principe de la stratégie multiparamétrique est ensuite rapidement présenté.

Il aurait été intéressant de présenter rapidement l'intérêt de la stratégie du choix des directions de recherche (variante simplifiée et constante pour plusieurs itérations) sur le nombre d'itérations de la méthode LATIN, sur le coût numérique et sur le coût de stockage.

Le troisième chapitre est intitulé « Réduction de modèle et stratégies multirésolutions ». Le chapitre présente les grandes lignes des techniques de représentation en fonction des types de problèmes résolus. De plus, deux exemples de type Gradient Conjugué sont présentés comme des approches multirésolutions.

Le quatrième chapitre est intitulé « Méthode LATIN, PGD, et stratégie multiparamétrique ». Le chapitre présente le calcul des corrections des contraintes et des déformations en utilisant une représentation en temps et en espace à partir de la minimisation d'une erreur en direction de recherche. La première phase consiste à rechercher des fonctions du temps en utilisant les fonctions d'espace existantes ; puis une seconde phase est proposée pour compléter la représentation des corrections si nécessaire ; cette étape, résolue par une méthode itérative, est beaucoup plus coûteuse que la phase précédente. Un exemple permet d'illustrer la démarche. L'analyse de l'influence de différents paramètres est proposée. Les performances de la stratégie multiparamétrique sont présentées à partir d'un exemple dans le cas d'un plan d'expérience ordonné et pour un plan d'expérience aléatoire dans le cas d'une variation importante de 3 paramètres.

Il aurait été intéressant de présenter plus en détail le calcul des variables internes et le coût associé à la non utilisation de la technique de représentation en temps et en espace de ces variables. De plus, il aurait été intéressant d'avoir une idée de l'état de sollicitation de la structure pour les différents cas de chargements sachant qu'il y a une variation importante des paramètres du calcul.

Le chapitre cinq est intitulé « Diminution du temps de calcul de la décomposition PGD ». Une présentation de régularisation de la direction de recherche est dans un premier temps proposée. Des techniques de calcul des fonctions du temps sont proposées suite à des travaux antérieurs mais par manque de stabilité, elles ne sont pas utilisées dans l'étude. Pour le calcul des fonctions de l'espace trois techniques sont détaillées. Une évaluation des performances, sous différentes conditions, est réalisée à partir d'un exemple 3D soumis à 2 cycles de chargement. De plus, une comparaison en temps de calcul par rapport à une simulation avec le code Abaqus est proposée dans le cas d'un calcul.

Il aurait été intéressant de présenter les états de sollicitations dans la structure étudiée.

Le sixième chapitre est intitulé « Application au cas test du projet APPROFI ». A partir d'un exemple, d'une complexité similaire à l'exemple précédent, quelques résultats numériques sont présentés. Pour un calcul unique, la méthode LATIN est plus rapide que la simulation avec le code Abaqus. Pour un exemple de 1000 calculs pour des variations assez importantes de 3 paramètres, un gain de l'ordre de 30 est obtenu avec la méthode multiparamétrique par rapport à la résolution sans stratégie multiparamétrique.

Comme pour l'exemple du chapitre quatre, il aurait été intéressant d'avoir une idée de l'état de sollicitation de la structure pour les différents cas de chargements sachant qu'il y a une variation importante des paramètres du calcul.

En conclusion, Nicolas RELUN a réalisé un travail important associé à la mise en place d'une stratégie de résolution multiparamétrique basée sur la méthode LATIN pour des structures à comportement viscoplastique. Une présentation plus détaillée de la mise en œuvre numérique de la méthode proposée aurait permis de mettre plus en valeur le travail numérique associé au travail. Durant le travail, différents problèmes complexes ont été traités. En conséquence, je donne donc un avis favorable à la soutenance de la thèse de Nicolas RELUN en vue de l'obtention du titre de Docteur de Ecole Normale Supérieure de Cachan.

Fait à Brest le 10 Novembre 2011,

Jean-Yves COGNARD, Professeur des Universités

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'J. Cognard', with a stylized, flowing script.