

## Sur le couplage mécano-fiabiliste

R. LAGGOUNE

Laboratoire de Modélisation et d'Optimisation des Systèmes (LAMOS)  
Université de Béjaïa, Béjaïa 06000, Algérie  
Tél. (213) 34 21 51 88,  
email : r.laggoune@yahoo.fr

**Résumé** La conception des systèmes mécaniques consiste à assurer les ressources nécessaires pour satisfaire aux besoins tout au long de la durée de vie espérée. Dans un monde où règnent d'irréductibles incertitudes, le processus de conception doit prendre des mesures contre les aléas afin d'augmenter les chances de réussite, c'est ce qu'on appelle la marge de sûreté.

Dans l'approche classique, on procède à un léger surdimensionnement par l'introduction d'un facteur de majoration appelé "coefficient de sécurité" dans les modèles de comportement (EF), tout en supposant que les variables de conception sont déterministes.

L'augmentation des performances des machines de calcul de nos jours, ont fait qu'on recourt de plus en plus à l'analyse fiabiliste pour l'intégration du caractère incertain des variables de conception. Ce qui permet une meilleure connaissance des aléas et par conséquent la définition de la meilleure performance, permettant d'établir un compromis raisonnable entre des besoins contradictoires, tels que la fiabilité et le coût.

**Mots Clés :** Fiabilité mécanique, incertitudes, couplage mécano - fiabiliste

### 11.1 Introduction

Dans le cadre de l'étude de systèmes mécaniques par la méthode des éléments finis, une des principales hypothèses faites est que le modèle est déterministe. Même si on arrive aujourd'hui à traiter des modèles éléments finis de grande taille, il est très difficile de prendre en compte le caractère incertain des informations données par les mesures. Les incertitudes peuvent être classées en quatre grandes catégories :

- Les paramètres aléatoires : Ce sont par exemple les cotes d'une pièce dont on connaît la tolérance, ou bien le module d'Young ou la masse volumique d'un matériau.
- Les paramètres mal connus : Le cas des conditions aux limites est un problème typique (un encastrement correspond a une raideur de très grande valeur, mais dont on ne connaît au mieux qu'un ordre de grandeur). De même, les différents types d'assemblage, tels que soudage, collage, boulonnage, etc... sont difficiles à modéliser, et il apparaît que les valeurs déterministes utilisées pour représenter ces phénomènes sont largement insuffisantes.

- Les paramètres variables : On peut distinguer ici les paramètres qui peuvent être variables dans le temps, et qu'on ne maîtrise pas ou mal (typiquement la dégradation ou le vieillissement d'un matériau), et les paramètres dont on peut connaître la valeur a un moment donné ( force d'excitation : passage d'un train sur un pont, une quantité de carburant dans un réservoir).
- Les incertitudes de modèle : Ce sont par exemple les lois de comportement choisies qui représentent mal ou de façon incomplète les phénomènes physiques, les erreurs dues au choix du maillage éléments finis, de sa finesse, des éléments choisis.

## 11.2 Couplage mécano-fiabiliste

Un système est en état de bon fonctionnement tant qu'il respecte des conditions spécifiques appelées : "états limites" ou "fonctions de performance" ; dans le cas contraire, on dit qu'il y a "défaillance". L'objectif de la fiabilité est de garantir un certain niveau de performance et de permettre d'optimiser l'équilibre entre les ressources et les besoins, en donnant des indications sur l'importance des variables. Quand le fonctionnement du système dépend de son état mécanique, il existe une interdépendance entre les rôles mécanique et fiabiliste des variables de conception, c'est le couplage mécano-fiabiliste.

### 11.2.1 Fondements des méthodes de fiabilité en mécanique

L'objectif de l'analyse fiabiliste est de déterminer la probabilité de succès (ou de gagner contre les effets de l'environnement), ou la probabilité de défaillance (probabilité d'échec). Or, pour calculer cette dernière, nous devons, tout d'abord, répondre à ces trois questions :

1. Qu'est ce que c'est que la défaillance ?
2. Comment le système évolue-t-il jusqu'à la défaillance ?
3. Pourquoi arrive-t-on à la défaillance ?

La réponse à la première question consiste à définir l'état de sûreté et l'état de défaillance. La frontière entre ces deux états est la surface d'état limite. Nous définissons la fonction d'état limite ou fonction de performance  $G(\cdot)$ , telle que  $G(\cdot) > 0$  indique l'état de sûreté et  $G(\cdot) \leq 0$  indique la défaillance ; la frontière  $G(\cdot) = 0$  correspond à l'état limite lui-même. Notons que la fonction  $G(\cdot)$  est également vue comme une marge de sûreté.

La réponse à la deuxième question réside dans la nature du comportement mécanique (physique) du système. Sous l'effet des actions extérieures, la structure va parcourir une certaine trajectoire pour arriver à la défaillance. Notre capacité à prévoir le comportement

structural est un élément crucial pour dire comment la défaillance est atteinte et surtout le degré de sensibilité de cette défaillance par rapport aux variables de base.

La réponse à la troisième question est l'essence même des méthodes fiabilistes. Ce sont les aléas et les incertitudes qui font qu'un système bien conçu dévie de sa trajectoire déterministe prévisionnelle. Pour répondre à la question posée, il faut identifier les variables de conception  $X_i$  traduisant un niveau significatif de fluctuation ou d'incertitude. Ces variables, dites de base, peuvent être les actions extérieures (charges, vent, séisme), les caractéristiques géométriques (dimensions, moment d'inertie, élancement) ou les propriétés des matériaux (limite élastique, module de Young, coefficient de Poisson). Pour chacune de ces variables  $X_i$ , nous affectons une loi de probabilité représentant l'aléa associé. Bibliographie

L'objectif du couplage mécano-fiabiliste consiste à définir la meilleure stratégie pour l'analyse des systèmes industriels, sur la base des critères d'efficacité, de précision et de robustesse. Cette stratégie est d'autant plus importante que le modèle éléments finis devient complexe, surtout lorsque le modèle probabiliste présente un grand nombre de variables aléatoires.

Le couplage mécano-fiabiliste est une tâche délicate qui mobilise des ressources numériques considérables. La capacité à traiter des modèles industriels de taille importante reste une des difficultés majeures ; elle doit être résolue sur les deux plans : algorithmique et informatique.

## Références

1. Ditlevsen O. and Madsen H.O. Structural Reliability Methods. John Wiley and Sons, 1996.
2. Hasofer A.M. and Lind N.C. An exact and invariant first order reliability format. J. Eng. Mech., ASCE, 100, EMI, pp. 111-121, 1974.
3. Muzeau J.P., Lemaire M. and El-Tawil K. Méthode de Surface de Réponse Quadratique (SRQ) et Evaluation des Règlements. Construction Métallique, CTICM, No 3, Paris, September, 1992.
4. Scheffer Franck - "Approche par éléments finis stochastiques de la fiabilité des composants mécaniques" - Laboratoire de Recherches et Applications en Mécanique Avancée, IFMA-UBP, Clermont-Ferrand, 20 juin 1997.
5. Kharmanda Mohamed-Ghias - "Optimisation et CAO des structures fiables", Laboratoire de Recherches et Applications en Mécanique Avancée, Clermont-Ferrand, 23 juin 2003.
6. Mohamed Alaa - "Fiabilité des structures pour la conception et l'optimisation robuste". Rapport d'activité scientifique (HDR). Laboratoire de Recherches et Applications en Mécanique Avancée, Clermont-Ferrand,