HAL
open science

Analyse fiabiliste des prévisions des calculs des modèles phénoménologiques: cas du modèle isotrope linéaire

Ramzi Rajhi, Abdelkhalak Elhami, Lakhdar Taleb

To cite this version:

Ramzi Rajhi, Abdelkhalak Elhami, Lakhdar Taleb. Analyse fiabiliste des prévisions des calculs des modèles phénoménologiques: cas du modèle isotrope linéaire. 7e colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2005, Giens, France. hal-01813015

HAL Id: hal-01813015

https://hal.science/hal-01813015v1

Submitted on 12 Jun 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

Analyse fiabiliste des prévisions des calculs des modèles phénoménologiques : cas du modèle isotrope linéaire

Ramzi RAJHI, Abdelkhalak ELHAMI, Lakhdar TALEB

Institut National des Sciences Appliquées de Rouen (INSA – Rouen)
✉ : LMR / INSA – ROUEN / Technopôle du Madrillet, BP 08, Avenue de L'Université.
76801 Saint Etienne du Rouvray cedex FRANCE

Ramzi.Rajhi@insa-rouen.fr
Lakhdar.Taleb@insa-rouen.fr
Abdelkhalak.Elhami@insa-rouen.fr

RÉSUMÉ. *La prédiction des états des structures est directement dépendante de la finesse des modèles considérés et leurs capacités à englober l'ensemble des phénomènes mis en jeu au sein de leurs modélisations. Ces modèles font intervenir plusieurs paramètres qui sont souvent connus avec une certaine incertitude et qui sont souvent dépendants de certaines variables physiques tels que la température. Tous ces aspects ont une incidence directe sur la validité des prédictions des calculs tant que les simulations du comportement des structures dépendent fortement de la valeur de ces paramètres. Par conséquent, il est nécessaire de quantifier la fiabilité de ces modèles phénoménologiques. Nous nous intéressons dans cette application au cas d'une structure axisymétrique soumise à un chargement thermomécanique cyclique : La structure Bi-tube à travers laquelle le cas du modèle isotrope linéaire sera étudié moyennant diverses techniques fiabilistes.*

ABSTRACT. *The prediction of the structures states is directly dependent on the efficiency of the considered models of behavior and their capacities to involve the whole ensemble of phenomena intervening within the structures modeling. These models utilize several parameters which are often known with a certain uncertainty and which are often dependent on certain physical variables such as the temperature. All these aspects have a direct incidence on the accuracy of calculation predictions as long as simulations of the structures behavior depend strongly on values of these parameters. Consequently, it is necessary to quantify the reliability of these phenomenological models. In our work, we are interested in the case of an axis-symmetric structure subjected to a cyclic thermomechanical loading: The Bi-tube structure through which the case of Linear Isotropic model will be studied applying various reliability techniques.*

MOTS-CLÉS : *Modèle isotrope linéaire, structure, fiabilité.*

KEY WORDS: *Isotropic Linear Model, structure, reliability.*

1. Introduction

En subissant des chargements cycliques, les structures mécaniques peuvent se comporter de différentes manières, certaines d'entre-elles travaillent dans le domaine élastique, d'autres se plastifient en certains endroits tout en montrant une accommodation au bout d'un certain nombre de cycles. Une troisième catégorie concerne les structures dont certains points se plastifient continuellement jusqu'à la rupture. Il est clair que chacun de ces critères : plastification, rochet, rupture peut constituer selon les limites que l'on s'impose un critère de défaillance. Cette défaillance est certes attribuée à la structure, mais qu'en est-il pour le modèle de comportement et qu'en est t-il pour le calcul de structure?

Supposons que l'expérience confirme le résultat prévu par un calcul et qui correspondrait à une défaillance de cette structure. Le modèle auquel on a fait appel est forcément fiable ou du moins assez fiable pour décrire le comportement de cette structure bien que celle-ci est défaillante.

L'idée de départ consiste à prévoir l'état de contrainte et\ou de déformation dans la structure et de le comparer à ce que nous obtenons en réalisant l'expérience en question. Il est clair que les valeurs théoriques doivent au moins être égales, sinon supérieures, aux valeurs déduites de l'expérience. Le cas contraire conduit à la sous-estimation des champs mécaniques ce qui constitue un des critères de défaillance du modèle phénoménologique. La simple différence entre les quantités théorique et les quantités expérimentale définit les états limites dont la spécification est nécessaire à toute étude de fiabilité.

2. Structure considérée : Le Bi-tube

La structure « Bi-tubes » [TAL 98], & [GAT 93] a été réalisée à l'INSA de Lyon. Elle est composée de deux cylindres du même matériau (l'acier inoxydable 316L). Ces cylindres sont coaxiaux et sont rigidement fixés au niveau de leurs bases afin d'avoir un même déplacement global à chaque instant. Cet ensemble est soumis à une force constante et d'un gradient thermique. L'échauffement local est en dents de scie et la température maximale atteint 450°C au niveau de la partie centrale du tube et au milieu de chaque cycle. Le tube intérieur est maintenu à une température ambiante.

Vu la symétrie que présente le bi-tube, la modélisation axisymétrique paraît suffisante pour constituer le modèle mécanique, de plus le plan perpendiculaire à cet axe et passant par le milieu de la structure est un plan de symétrie. Par la suite la géométrie qui sera soumise à un modèle éléments finis est celle indiquée ci dessous (figure 1).

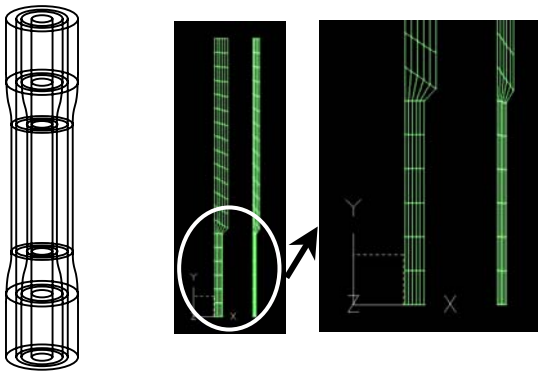

Figure 1. *Structure Bi-tube : géométrie et maillage*

3. Variabilité des paramètres matériaux

Chacun des modèles phénoménologiques de comportement fait appel à certains paramètres qui lui sont propres. La plupart des paramètres matériaux dépendent de la température. Un calcul de structure tenant compte des variations thermiques doit tenir compte de cette dépendance.
A cela viennent s'ajouter les l'incertitudes sur la valeur d'un paramètre donné et à température constante. Même à température fixe, chaque paramètre tel que le module de Young ou la limite élastique (à titre d'exemples) présente différentes valeurs chacune relative à un test d'identification bien donné. Un test de traction monotone sur une première éprouvette permet d'identifier des paramètres matériaux qui peuvent être légèrement différent de ceux identifiés suite au même test appliqué sur une deuxième éprouvette. On se propose dans ce travail de tenir compte de l'effet de l'ensemble de ces aléas lors de l'étude de la fiabilité des modèles de comportement ainsi que leurs sensibilités aux paramètres matériaux.

4. Scénario de défaillance

Le critère de défaillance consiste au fait qu'au point où l'expérience prévoit un premier résultat maximal, le calcul en prévoit un deuxième dont la valeur n'excède pas celle du premier. C'est pour cela que nous nous sommes intéressé aux déformations plastiques uniquement au point où celles-ci sont maximales. Pour chaque calcul mécanique, Nous avons évalué la différence entre les déformations prévues et celles déduites de l'expérience.
Un vecteur aléatoire sera donnée par :

$$X = \left(E\ ,\ \sigma_y\ ,\ E_t\ ,\ \alpha\ ,\ \lambda\ ,\ \rho C_p\right)$$

La fonction d'état limite est la suivante : $G(X) = \varepsilon_{plas\,th}^{\max} - \varepsilon_{plas\,\exp}^{\max}$

La probabilité de défaillance est donnée par :

$$P_f = P\left[G(X) \leq 0\right] = P\left[\left(\varepsilon_{plas\,th}^{max} - \varepsilon_{plas\,exp}^{max}\right) \leq 0\right]$$

et la fiabilité sera donc donné par : $P_r = 1 - P_f$ [FLO 94]

5. Affectation des densités de probabilité

Nous avons considéré des lois de distribution normales en raison de l'hypothèse sur la symétrie des minimas et des maximas par rappport aux moyennes

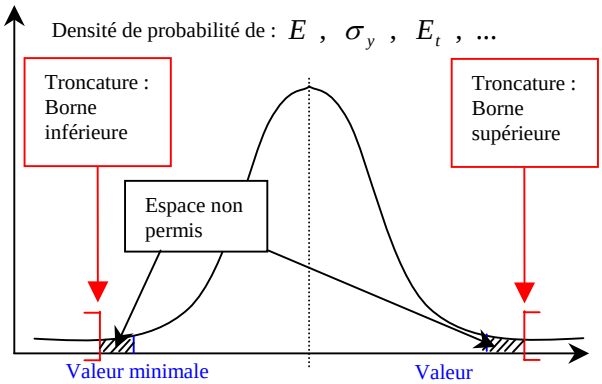

Figure 3. *Distribution d'une variable aléatoire*

Afin de déterminer les écarts-types, notre choix à été fait de façon à attribuer à l'intervalle séparant chaque valeur minimale de la valeur maximale qui lui correspond la mesure de 3,2 écarts-types et d'imposer les troncatures par ces valeurs minimales et maximales. Cette valeur « 3,2 » permet de considérer que les valeurs potentielles de chaque paramètre, limitées par l'identification minimale et maximale, correspondent à 90% de l'ensemble des valeurs possibles.

6. Résultats de l'étude fiabiliste – Application sur modèle : Cas de l'isotrope linéaire

Nous avons fait appel à la fois aux techniques de simulations ainsi qu'aux méthodes directes. L'indice de fiabilité β est par définition la distance euclidienne de l'origine de l'espace normal standard à la surface d'état limite $H(U) = 0$ [ELH 97] & [MOR 2000]. Déterminer β revient donc à résoudre le problème d'optimisation suivant :

$$\begin{cases} \beta = \min\sqrt{u^t.u} \\ H(u) = 0 \end{cases} \text{ ou encore : } \begin{cases} \beta = \min(u^t.u) \\ H(u) = 0 \end{cases}$$

Concernant les techniques de simulation, six méthodes ont été appliquées pour chaque modèle à savoir : la méthode de Monte Carlo classique, le tirage d'importance, les simulations conditionnelles, les simulations directionnelles, les tirages adaptatifs et la méthode du pavé.

				P_f	β	N^{bre} d'itérations N^{bre} de simulations
Méthodes directes	Rackwitz - Fiessler	FORM		0,1119	1,2162	2 itérations 42 calculs déterministes
		SORM	Hyper-Sphère	0,1107	1,2229	
			Breitung	0,1059	1,2488	
			Tvedt	0,1035	1,2618	
	Abdo - Rackwitz	FORM		0,1119	1,2162	2 itérations 42 calculs déterministes
		SORM	Hyper-Sphère	0,1107	1,2229	
			Breitung	0,1059	1,2488	
			Tvedt	0,1035	1,2618	
	BFGS	FORM		0,1119	1,2166	2 itérations 42 calculs déterministes
		SORM	Hyper-Sphère	0,1107	1,223	
			Breitung	0,1061	1,2477	
			Tvedt	0,1038	1,2602	
	SQP	FORM		0,114	1,2054	2 itérations 84 calculs déterministes
		SORM	Hyper-Sphère	0,1136	1,2077	
			Breitung	0,112	1,2161	
			Tvedt	0,1111	1,2206	
Simulations	Monte Carlo			0,1021	1,2697	1000 calculs déterministes
	Tirage d'importance			0,1133	1,2093	500 calculs déterministes
	Simulations conditionnelles			0,129	1,1311	500 calculs déterministes
	Simulations directionnelles			0,0924	1,3264	500 calculs déterministes
	Tirages adaptatifs			0,0704	1,4732	500 calculs déterministes
	Méthode du pavé			0.1295	1,1289	500 calculs déterministes

T

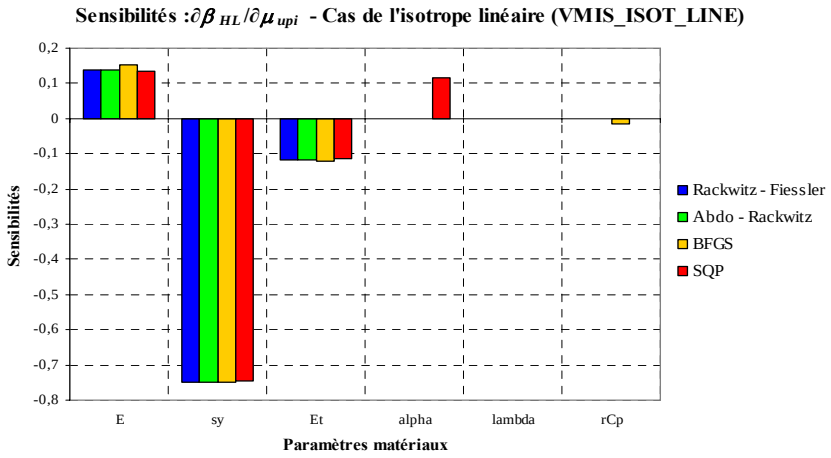

Figure 4. *Sensibilité des paramètres matériaux*

7. Conclusion

Nous avons fait appel à la fois aux techniques de simulations ainsi qu'aux méthodes directes. Quatre algorithmes ont été appliqué (Rackwitz – Fiessler, Abdo – Rackwitz, BFGS et SQP) et testé chacun dans le cas des approximations du premier ordre (FORM) et du second ordre (SORM). Les quatre algorithmes utilisés donnent dans la majeure partie des cas les mêmes résultats. Exception faite pour l'algorithme de programmation quadratique séquentielle (SQP) qui diffère des autres au sujet des résultats relatifs au coefficient d'expansion thermique α .

Le module de Young E en augmentant tend à diminuer les valeurs des déformations plastiques, par contre, la limite d'élasticité σ_y ainsi que le module tangent E_t tendent tous deux à l'augmenter. Par conséquent Le module de Young est un paramètre de résistance alors que la limite d'élasticité et le module tangent sont des paramètres de sollicitation.

Concernant les techniques de simulation, six méthodes ont été appliquées pour chaque modèle à savoir : la méthode de Monte Carlo classique, le tirage d'importance, les simulations conditionnelles, les simulations directionnelles, les tirages adaptatifs et la méthode du pavé.

Les valeurs de P_f des différentes techniques sont conformes les une aux autres. Ceci nous permet d'affirmer que la fonction d'état limite peut se confondre avec sa tangente (approximation FORM) au niveau du point de conception et que la majeure partie des valeurs potentielles des variables aléatoires est située dans un voisinage réduit du point de tangence. Les valeurs trouvées permettent également de quantifier la fiabilité des calculs de structure ce qui répond à notre objectif principal.

8. *Bibliographie*

[ELH 97] A.EL HAMI, L.FINCK, « Reliability of a contact between two deformable solids », Clermont Ferrand, *Euromech 372, Reliability in Nonlinear Structural Mechanics*, 21-24 Octobre1997.

[FLO 94] Flores Macias, Modèles fiabilistes et mécanique – éléments finis stochastiques. Méthodes de couplage et application, Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal Clermont – Ferrand II, N°d'ordre 657 \ 15 novembre 1994.

[GAT 93] J. M. Gatt, M. T. Cabrillat and L. Taleb, « Assessment of progressive deformation on the basis of elastic analysis », *SMIRT – 12*. E05/2 \ Mars 1993.

[MOR 2000] T.MORO, A. EL HAMI. « Couplage mécano-fiabiliste ». *Revue Française de Mécanique.* Volume : 2000-4.

[TAL 98] L. TALEB, « Metallic structures subjected to cyclic loadings – II. A new approach to assess the steady state », *International Journal of Pressure Vessels and Piping* 75 (1998) 181 – 190.