

Modélisation ARMAX de signaux d'émission acoustique

C. DONCARLI - J.M. PIASCO

LAN (ENSM/CNRS), 1 rue de la Noë, 44072 NANTES CEDEX

RESUME

Le succès de la classification des signaux d'émission acoustique repose sur le choix de leur espace de représentation. On peut choisir une approche purement descriptive (non paramétrique) qui risque d'être sensible aux bruits affectant les échantillons, ou une approche analytique (paramétrique) basée sur l'existence d'un modèle. On montre ici que les modèles ARMAX sont tout-à-fait capables de représenter correctement des salves d'émission acoustique, mais qu'ils ne permettent pas une classification correcte.

SUMMARY

Classification of acoustic emission signals is based on the choice of the representation space. One can choose a descriptive (non parametric) approach which is very dependant on the noises, or an analytic (parametric) one, based on a mathematical model. We show the good capacity for ARMAX models to represent acoustic emission burst, but the classification deduced from those parameters is unsuccessful.



I - INTRODUCTION

L'émission acoustique est un phénomène de libération d'énergie au sein d'un matériau soumis à des sollicitations mécaniques [1]. La détection et l'analyse de tels signaux permet d'obtenir des informations sur la nature du processus physique mis en jeu : déformation plastique (dislocation, maclage, glissements aux joints de grains), amorçage et propagation de fissures, ruptures d'inclusions, etc... Au cours des essais de fatigue, le signal se présente sous forme de salves individualisées, séparées par du bruit de fond. C'est l'analyse de ces salves qui permet, après apprentissage sur une population étudiée par un expert, d'envisager une classification automatique du type de phénomène affectant le matériau [2].

La première étape de la classification consiste à décrire la salve dans un espace de représentation (paramètres). On distingue alors deux approches : l'une ne fait pas appel à la notion de modèle mathématique (approche purement descriptive), alors que l'autre suppose une contrainte de structure, due à la forme du modèle retenu (approche analytique). Parmi les représentations descriptives utilisées en émission acoustique, on citera l'étude fréquentielle (calcul de la densité spectrale d'énergie par transformation de Fourier [3], et l'étude temporelle (temps de montée de la salve, durée, nombre d'alternances [4]. Comme pour toutes les méthodes de ce type, les paramètres extraits sont relativement sensibles au bruit et à l'échantillon étudié. On se propose donc d'introduire la contrainte du choix d'un modèle, dans le but de réduire la dispersion des paramètres obtenus. On peut toutefois observer que l'analyse de Fourier pourrait être considérée comme présentant la contrainte d'une décomposition harmonique des salves. Plus généralement, on cherchera donc à décomposer le signal à paramétrer sur une base de fonctions (polynômes orthogonaux, exponentielles complexes, etc...). Il est alors clair que le choix d'une base d'exponentielles complexes [5] revient à modéliser la salve par la réponse impulsionnelle d'un modèle ARMAX, et c'est cette approche que nous avons retenue.

Après avoir très rapidement rappelé la méthode d'estimation paramétrique des modèles ARMAX utilisée (maximum de vraisemblance), on présente les détails de mise en oeuvre (segmentation des signaux bruts, choix de l'ordre) et les résultats obtenus sur des signaux réels d'éprouvettes de traction (§2). On s'intéressera ensuite à la classification des salves à partir des paramètres issus de la modélisation ARMAX, en comparaison avec les résultats obtenus par analyse fréquentielle, et on dégagera en conclusion (§3) les effets de l'adoption d'une contrainte de structure dans un but de classification.

II - Identification du modèle ARMAX

L'identification des paramètres d'un modèle ARMAX par maximum de vraisemblance hors-ligne est une technique tout-à-fait classique faisant appel à un algorithme de programmation non linéaire [6], et que nous ne rappellerons pas ici. Le problème pratique qui se pose dans le cas des signaux d'émission acoustique est de bien détecter le début des salves, de manière à maîtriser les termes de retard pur dans les transmittances identifiées. Dans ce but, on propose un traitement heuristique qui consiste à multiplier le signal brut par une fenêtre de type Hamming, centrée sur l'amplitude maximale de la bouffée, et de longueur sensiblement égale. On observera sur les figures 1 et 2 les effets d'une telle opération sur deux types de salves.

Il est ensuite aisé d'effectuer une troncature à gauche pour fixer le début du signal. Ces opérations de fenêtrage et de troncature sont indispensables pour assurer le succès de l'étape suivante (identification paramétrique).

Plusieurs ordres de transmittances ont été essayés, et les tests classiques d'adéquation de d'ordre ont conduit à retenir un numérateur d'ordre 3 (4 coefficients) et un dénominateur d'ordre 7 (6 coefficients). La validation de la modélisation se fait alors par comparaison directe des salves mesurées et des réponses impulsionnelles reconstruites à partir des coefficients estimés.

On trouvera figures 3 à 5 les signaux réels et les signaux reconstruits dans diverses configurations de salves. L'examen de ces réponses montre la parfaite capacité des modèles ARMAX à décrire les signaux de type salve rencontrés lors de l'étude des phénomènes d'émission acoustique.

III - CLASSIFICATION

L'étude d'une famille d'individus (salves) a été menée à partir des paramètres des modèles ARMAX identifiés dans le but de dégager des classes de phénomènes permettant le diagnostic (déformation élastique, plastification, fissuration).

Il a malheureusement été constaté une grande dispersion des coefficients des transmittances, ce qui n'est pas rédhibitoire en soi, mais indique simplement que l'espace de représentation est mal choisi. On a donc opté pour une classification à partir des poles et des zéros des modèles identifiés, ce qui, par expérience, est certainement mieux adapté. Toutefois, l'analyse typologique de la population montre, là encore, l'absence d'information discriminante dans l'espace des poles et des zéros ce qui, cette fois, nous fait condamner définitivement l'approche "modélisation ARMAX" dans le but de classifier les salves d'émission acoustique.

En effet, on a, sur la même population, mené une analyse discriminante sur la base des densités spectrales d'énergie obtenues par analyse de Fourier. Le choix de paramètres liés à l'énergie relative par bande de fréquences définit aisément un espace de représentation dans lequel apparaissent très clairement des informations discriminantes sur les classes. On peut en effet constater (figure 6) que les salves correspondant à des conditions expérimentales comparables se trouvent regroupées dans le plan factoriel principal, alors que ce n'était pas le cas lors des représentations précédentes.

IV - CONCLUSIONS

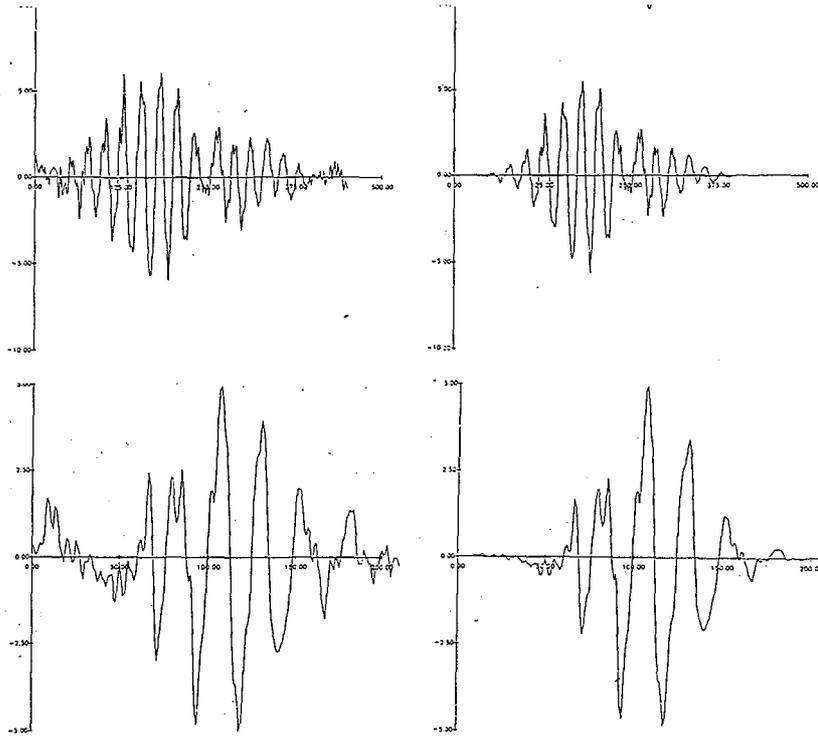
La représentation des individus est un problème primordial en classification, et il est naturel de tenter de limiter les effets des bruits en imposant une contrainte de structure, c'est-à-dire un modèle paramétrique. Toutefois, et l'étude présentée ici le montre clairement, il est nécessaire d'observer, pour la structure retenue, une certaine bijectivité entre les paramètres et les individus, faute de quoi aucune information discriminante ne peut être extraite des paramètres identifiés, bien que ceux-ci permettent sans problème de reconstruire les individus.

En ce qui concerne les salves d'émission acoustique, la modélisation ARMAX s'avère inefficace dans le but de classification (de même que d'autres modélisations essayées, par exemple une décomposition sur une base de polynôme de Legendre) et une approche purement descriptive basée sur le spectre d'énergie est beaucoup plus performante.

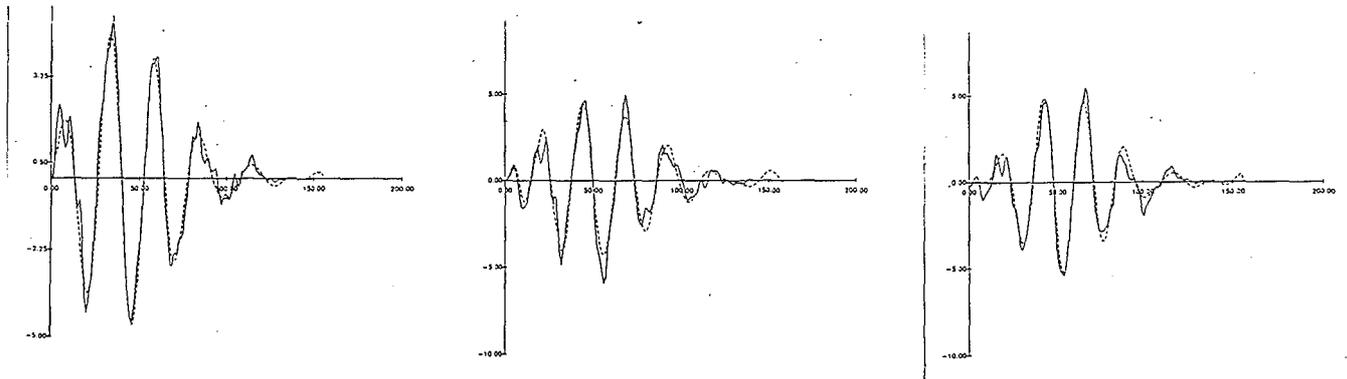
Ce travail a été effectué dans le cadre d'une collaboration contractuelle entre l'ECAN d'INDRET et l'ENSM.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] A.C. LUCIA - G. REDONDI
"On the interpretation of the Acoustic Emission Signals"
Journal of Pressure Vessel Technology - August 1976
- [2] A.C. LUCIA - R. BRUNNHUBER - G. REDONDI
"Stress wave emission, source location and characterization by digital methods"
Second symp. on Acoustic Emission Tokyo 1974
- [3] M. CHERFAOUI - J. ROGET - O.F. CHRETIEN - P. GAILLARD
"Application des techniques d'analyse de données aux signaux d'émission acoustique lors des essais de fatigue"
6ème conférence internationale sur les méthodes de contrôle non destructif. Strasbourg 1986.
- [4] F. LEFEVRE - P. GAILLARD
"Traitement des signaux d'émission acoustique par des méthodes d'analyse de données"
9ème Colloque GRETSI - 1983
- [5] L. R. RABINER - B. GOLD
"Theory and application of digital signal processing"
Prentice Hall Inc. 1975
- [6] L. LJUNG
"System identification theory for the user"
Prentice Hall Inc. 1987.



Figures 1 et 2 : Effets de fenêtrage



Figures 3, 4 et 5 : Reconstruction de salves d'émission acoustique par modélisation ARMAX

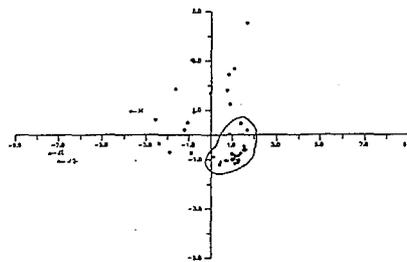


Figure 6 : Classification des salves par analyse fréquentielle (plan principal d'inertie).

