



**HAL**  
open science

# Amélioration d'une stratégie d'identification par l'erreur en relation de comportement modifiée en dynamique transitoire pour des mesures corrompues

Pierre Feissel, Olivier Allix, Hong Minh Nguyen

## ► To cite this version:

Pierre Feissel, Olivier Allix, Hong Minh Nguyen. Amélioration d'une stratégie d'identification par l'erreur en relation de comportement modifiée en dynamique transitoire pour des mesures corrompues. 7e colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2005, Giens, France. hal-01812993

**HAL Id: hal-01812993**

**<https://hal.science/hal-01812993>**

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

---

# Amélioration d'une stratégie d'identification par l'erreur en relation de comportement modifiée en dynamique transitoire pour des mesures corrompues

Pierre Feissel — Olivier Allix — Hong Minh Nguyen

*LMT-Cachan  
ENS de CACHAN/CNRS/Université Paris VI  
61, avenue du Président Wilson, F-94235 Cachan Cedex  
pierre.feissel@lmt.ens-cachan.fr  
olivier.allix@lmt.ens-cachan.fr*

---

*RÉSUMÉ. Une stratégie d'identification adaptée au traitement de mesures corrompues en dynamique transitoire a été proposée et étudiée précédemment. Une amélioration est discutée ici sur des exemples. L'idée est de chercher à tirer le meilleur parti de la formulation pour son caractère régularisant des mesures tout en conservant une identification basée sur les erreurs de modèle.*

*ABSTRACT. An identification strategy dedicated to the treatment of corrupted measurements in transient dynamics has been proposed in a previous study. Here an enhancement of the method is discussed on various examples. The main idea is to base the approach on its regularization ability while basing the identification on the model errors alone.*

*MOTS-CLÉS : Identification inverse, corruption de mesure, dynamique transitoire.*

*KEYWORDS: Inverse identification, corrupted measurements, transient dynamics.*

---

## 1. Introduction

Ce travail est motivé par l'identification de modèle d'endommagement dynamique [ALL 97], destiné notamment à la description de la rupture des composites, par exemple pour la simulation du crash. Lors d'une étude précédente, les difficultés expérimentales rencontrées nous ont amenés à une réflexion sur la prise en compte de mesures expérimentales fortement incertaines, ou corrompues, dans une démarche d'identification par approche variationnelle.

La prise en compte des perturbations de mesure dans les approches inverses a donné lieu à de nombreux travaux dont l'efficacité est souvent améliorée par une connaissance *a priori*. Le filtrage des données expérimentales suppose souvent une description probabiliste du bruit pour obtenir un filtrage optimal tel que celui de Kalman [KAL 60], appliqué en dynamique dans [COR 00]. L'approche de régularisation de Tikhonov [TIK 77, AND 95] introduite au départ pour rétablir la continuité vis-à-vis des données dans les problèmes inverses mal posés s'adapte au traitement des perturbations sur les données et est améliorée par une connaissance du niveau de bruit [ORK 96], où l'accent est mis sur la pondération entre le modèle et les mesures. L'idée de ne pas imposer de façon forte les mesures dans l'étape inverse est utilisée dans [CIM 00], en couplant approche de Tikhonov et stratégie itérative.

Dans notre contexte, l'absence de connaissance *a priori* sur les perturbations, nous a conduits à chercher une méthode favorisant le traitement de perturbations élevées. C'est le cas des approches de recalage proposées dans [LAD 94] et qui ont principalement été développées dans le domaine vibratoire [DER 02]. L'extension de la méthode au cas de la dynamique transitoire avait été proposé dans [ALL 03], avec des résultats concluants pour des niveaux de perturbation élevés et [ALL ss] discute de la stratégie de résolution numérique associée. Dans ce papier, une amélioration de la stratégie initiale est proposée et les deux approches sont comparées sur des exemples. L'idée de cette modification est d'exploiter le caractère régularisant de la méthode tout en limitant la pollution de l'étape d'identification par les mesures.

## 2. Stratégie d'identification

L'approche proposée entre dans le cadre des approches inverses variationnelles pour l'identification de paramètres matériau, à partir de données expérimentales redondantes. Ce type d'approche peut se schématiser en deux étapes. Dans une première étapes, les données expérimentales sont confrontées au modèle et à ses paramètres, pour un jeu de paramètres fixé. Cette étape se fait généralement au travers d'un ou plusieurs calculs. Dans une seconde étape, l'identification se mène en recherchant le minimum d'une fonction coût qui mesure la compatibilité des paramètres du modèle avec les mesures, et dont l'évaluation fait appel aux résultats de la première étape.

Afin de définir les deux étapes, la démarche s'appuie sur le principe d'erreur en relation de comportement dont l'idée sous-jacente est la séparation des quantités, tant

théoriques qu'expérimentales, en un groupe fiable et un groupe non fiable. Dans l'ensemble de la démarche, seules les quantités fiables sont vérifiées exactement.

La stratégie est présentée dans le cas de l'élasticité linéaire unidimensionnelle en dynamique transitoire. Les mesures sont alors les conditions aux limites en déplacement et en effort aux deux extrémités d'une barre caractérisée par son module d'Young, sur un intervalle de temps  $[0, T]$ ; c'est cette redondance qui rend l'identification possible. Dans ce cas, les deux groupes sont donnés tableau 2.

Fiable	Non fiable
Équilibre : $\rho.\ddot{u} - \sigma_{,x} = 0$	Relation de comportement : $\sigma = E.u_{,x}$
Conditions initiales : $u(x, 0) = u_0$ $\dot{u}(x, 0) = \dot{u}_0$	Conditions aux limites : $\tilde{u}_d$ and $\tilde{f}_d$

**Tableau 1.** Quantités fiables et non fiables dans le cas unidimensionnel élastique

La définition du problème de base qui constitue la première étape de la méthode se base sur cette séparation et est la suivante :

**Trouver** les champs  $u(E)$ ,  $\sigma(E)$ ,  $u_d(E)$ ,  $f_d(E)$  minimisant :

$$J(\sigma, u, u_d, f_d) = \frac{1}{2} \int_0^T \left\{ \int_0^L E^{-1} (\sigma - E.u_{,x})^2 dx + A. \left| (u_d - \tilde{u}_d)^2 \right|_0^L + B. \left| (f_d - \tilde{f}_d)^2 \right|_0^L \right\}$$

sous les contraintes :

$$u = u_d \quad \text{et} \quad \sigma.n = f_d \quad \text{en} \quad \{0, L\}, \quad \rho.\ddot{u} - \text{div} \sigma = 0, \quad u|_{t=0} = u_0, \quad \dot{u}|_{t=0} = \dot{u}_0 \quad [1]$$

Notons que les champs solution ne satisfont pas la relation de comportement et que la fonctionnelle introduite contient un terme d'erreur de modèle et un terme d'erreur de mesure. Ce dernier permet la régularisation des conditions aux limites.

Dans l'approche standard, l'identification se fait avec la même fonctionnelle :

$$E_S = \underset{E}{\text{Arg min}} g_2(E) = \underset{E}{\text{Arg min}} J(u(E), \sigma(E), u_d(E), f_d(E)) \quad [2]$$

Il a été montré sur divers exemples, homogènes et hétérogènes que ce choix de fonction coût conduit à une stratégie d'identification peu sensible aux mesures corrompues. Ceci est illustré sur la figure 1-(a), où le minimum bien marqué de la fonction coût en fonction du rapport du module d'Young au module de référence (utilisé pour fabriquer les mesures) permet une identification pertinente jusqu'à des niveaux de bruit élevés. Le choix de la pondération entre mesure et modèle a également été discuté. De plus, l'usage de la même fonctionnelle dans les deux étapes permet une estimation immédiate du gradient à partir des champs solution de [1].

Cependant, si le terme de distance aux mesures s'avère nécessaire pour régulariser les conditions aux limites [FEI 03], la question peut se poser de son sens dans l'étape

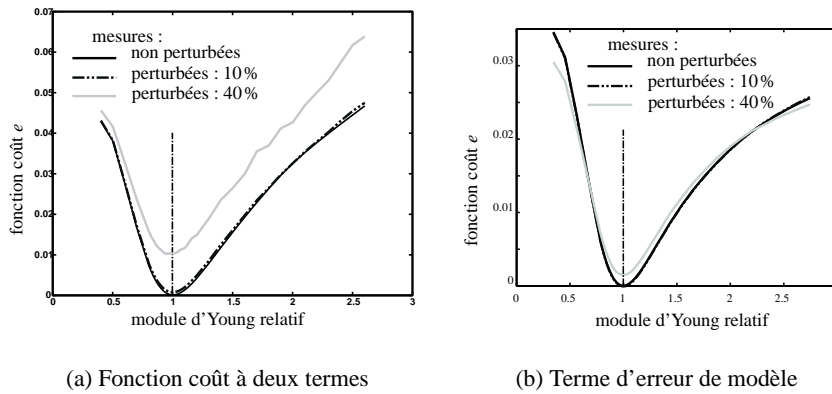
d'identification du modèle et ainsi conduit à proposer une formulation mixte où le terme d'erreur de mesure ne figure que dans le problème de base :

$$E_S = \text{Argmin}_E \int_0^T \int_0^L \frac{E^{-1}}{2} (\sigma(E) - E \cdot u(E)_{,x})^2 dx dt \quad \text{avec } \sigma(E), u(E) \text{ solution de [1]}$$

Ce choix entraîne la perte de l'évaluation immédiate du gradient. Ceci peut alourdir la démarche, même si des approches de type état adjoint sont envisageables. Cependant, les exemples ci-dessous illustrent la robustesse accrue de la méthode mixte.

### 3. Identification par l'erreur de modèle : illustrations

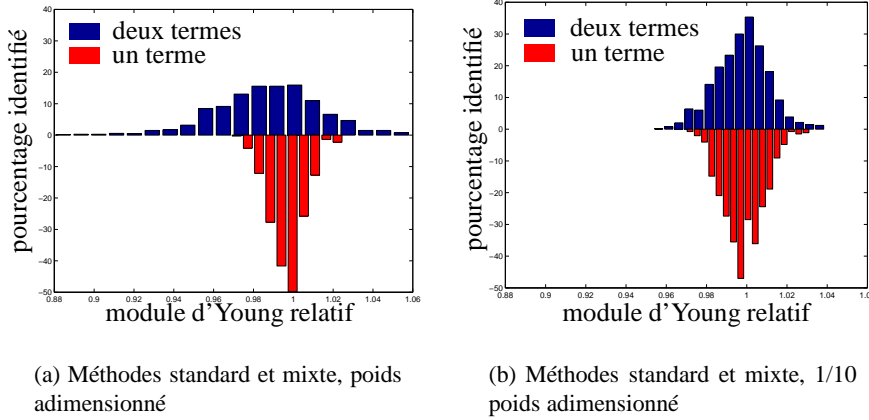
Dans le cas idéal, les erreurs de modèle ne devraient affecter que le premier terme tandis que les perturbations devraient avoir une influence uniquement sur le terme de distance aux mesures. Ce n'est pas exactement le cas, et on observe une pollution des mesures sur le premier termes et des erreurs de modèle sur le second. Cependant, si cette pollution reste limitée, l'idée de la formulation mixte semble pertinente. Ceci est confirmé sur les trois exemples suivants.



**Figure 1.** Identification en élasticité : choix de la fonction coût

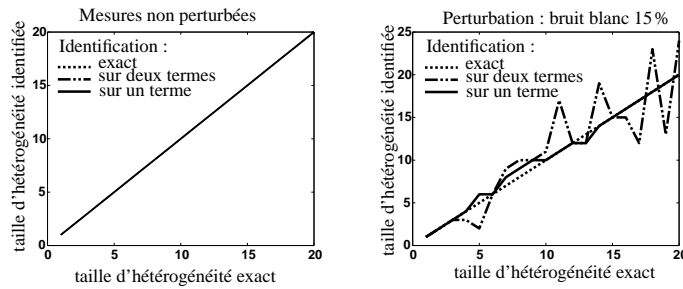
La figure 1 présente la fonction coût à deux termes et le terme d'erreur de modèle seul dans le cas d'une perturbation par un bruit blanc uniforme à différents niveaux. Le terme de modèle reste très insensible aux perturbations, confirmant une pollution limitée.

Le deuxième exemple s'appuie sur une approche de Monte Carlo sur les perturbations. Pour chaque tirage de perturbation, l'identification est menée avec la fonction coût à deux termes et à un terme, en testant, pour les deux, deux poids différents entre



**Figure 2.** Distribution de  $E$  identifiés 1 200 tirages de bruit blanc Gaussien,  $\sigma_0 = 20\%$

les deux termes. Les distributions de module d'Young figure 2 montre qu'un choix judicieux du poids permet une efficacité accrue de la méthode standard qui atteint alors les performances de la méthode mixte qui, elle, ne nécessite pas cette optimalité du poids aux mesures.



**Figure 3.** Identification de la taille d'hétérogénéité

Le dernier exemple est celui de l'identification de la taille d'une hétérogénéité deux fois plus souple que le reste de la barre, en son milieu. La figure 3 présente les valeurs identifiées par les deux méthodes en fonction de la valeur ayant servi à fabriquer les mesures. Les deux approches qui sont équivalentes en absence de perturbation, se distinguent en présence de perturbations où la méthode mixte s'avère plus robuste.

Ces exemples encouragent à poursuivre l'étude de la stratégie d'identification mixte, qui semble particulièrement appropriée en absence d'information *a priori* sur les erreurs de mesure.

#### 4. Conclusion

Cette étude a présenté une stratégie d'identification peu sensible au fort niveau de perturbations, répondant aux questions soulevées au départ. La proposition d'une méthode alternative couplant une fonctionnelle régularisante à une identification sur les erreurs de modèle seules semble convenir au cas où le bruit est particulièrement prépondérant et en absence d'information sur celui-ci. Les conclusions demandent à être confirmées sur d'autres exemples. Les développements à venir de la méthode devrait se tourner vers les comportements non linéaires et le traitement de problème bidimensionnel autorisant le traitement du cas des mesures de champs.

#### 5. Bibliographie

- [ALL 97] ALLIX O., DEÛ J., « Delay-damage modeling for fracture prediction of laminated composites under dynamic loading », *Engineering Transactions*, vol. 45, 1997, p. 29-46.
- [ALL 03] ALLIX O., FEISSEL P., THÉVENET P., « A delay-damage meso modeling of laminates under dynamic loading : basic aspects and identification issues. », *Computers and Structures*, vol. 81, n° 12, 2003, p. 1177-1191.
- [ALL ss] ALLIX O., FEISSEL P., NGUYEN H., « Identification strategy in the presence of corrupted measurements », *Engineering Computations*, , in press.
- [AND 95] ANDRIEUX S., VOLDOIRE F., « Stress identification in steam generator tubes from profile measurements », *Nuclear Engineering and Design*, vol. 158, n° 2-3, 1995, p. 417-427.
- [CIM 00] CIMETIÈRE A., DELVARE F., PONS F., « Une méthode inverse à régularisation évanescence », *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIB - Mechanics*, vol. 328, n° 9, 2000, p. 639-644.
- [COR 00] CORIGLIANO A., MARIANI S., ORSATTI B., « Identification of Gurson-Tvergaard material model parameters via Kalman filtering technique. I. Theory », *International journal of fracture*, vol. 104, n° 4, 2000, p. 349-373.
- [DER 02] DERAEMAER A., LADEVÈZE P., LECONTE P., « Reduced bases for model updating in structural dynamics based on constitutive relation error », *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 191, n° 21-22, 2002, p. 2427-2444.
- [FEI 03] FEISSEL P., « Vers une stratégie d'identification en dynamique rapide pour des données incertaines », Thèse de doctorat, 135 pages, LMT-ENS Cachan, 2003.
- [KAL 60] KALMAN R., « A new approach to linear filtering and prediction problems », *Trans. ASME J. Basic Engineering*, vol. 82, 1960, p. 35-45.
- [LAD 94] LADEVÈZE P., REYNIER M., MAIA N., « Error on the constitutive relation in dynamics », H.D. BUI M. T. . A., Ed., *Inverse problems in Engineering*, p. 251-256, 1994.
- [ORK 96] ORKISZ J., SKRZAT A., « Reconstruction of residual stresses in railroad vehicle wheels based on enhanced saw cut measurements, formulation and benchmark tests », *Wear*, vol. 191, n° 1-2, 1996, p. 188-198.
- [TIK 77] TIKHONOV A., ARSENIN V., *Solutions of Ill-Posed Problems*, Winston and Sons, 1977.