

INTRODUCTION AUX PROBLEMES INVERSES EN MECANIQUE DES MATERIAUX

Huy Duong BUI

Notes de lecture

par Philippe PASQUET, CISI

Le calcul de structures a, de manière communément admise, trois applications principales : vérification, dimensionnement et expertise. Chronologiquement, on a commencé par vérifier la tenue d'une structure déjà conçue, le calcul arrivant en fin de conception. Les deux autres applications, d'apparition plus récente, nécessitent la connaissance de paramètres supplémentaires : dans le cas du dimensionnement, il s'agit d'envisager toutes les solutions possibles ; dans celui de l'expertise, on connaît au moins une solution qu'il faut tenter d'expliquer. Les paramètres en question sont évidemment les données qui conduisent aux solutions supposées ou à la solution constatée.

Résoudre ces problèmes revient à poser un problème inverse. On voit peu à peu apparaître des stratégies de résolution et l'ouvrage de Huy Duong Bui, **Introduction aux problèmes inverses en mécanique des matériaux** (paru aux éditions EYROLLES), est l'occasion d'une mise à niveau tout à fait salubre dans ce domaine peu exploré par la littérature.

On y apprend qu'un problème inverse peut s'écrire de la même façon qu'un problème direct, c'est-à-dire très schématiquement :

$$Ax = d$$

où d représente une donnée (on dira plus à propos un terme source ou une observation), x est inconnue et A un opérateur dépendant du problème. Si A est parfaitement connu et si l'on dispose de suffisamment d'observations, la résolution ne présente pas de difficulté particulière. Malheureusement, ces conditions se vérifient rarement ensemble, ce qui introduit dans notre solution un défaut d'unicité et une sensibilité importante à toute variation des paramètres, qu'ils soient au premier ou au second membre de l'équation. On trouve là une caractéristique générale des problèmes inverses : ils se présentent souvent comme des problèmes mal posés.

Afin que chacun saisisse bien la signification de ces remarques, il est temps de poser un problème inverse dont la solution est connue : peut-on déterminer la forme d'un tambour d'après le son qu'il émet ? Les inconnues semblent beaucoup plus nombreuses que les données. C'est néanmoins ce genre de questions que se posent avec succès les spécialistes du recalage ou de l'identification.

Est-on si loin de la mécanique qu'il y paraît ? Les problèmes inverses y sont nombreux : ainsi l'auteur, ayant longtemps travaillé dans le domaine de la mécanique de la rupture, nous indique que des mesures de vibrations – assez fines certes – peuvent conduire à la détection de fissures. Les plus anciens, les cinéphiles ou les lecteurs de Vincenot (*Mémoires d'un enfant du rail*) se souviennent certainement des cheminots tapant sur les roues des wagons ... Autre exemple en mécanique vibratoire : la mesure des oscillations propres permet d'évaluer l'état de contraintes et, à partir de ces résultats, de déduire par extrapolation une charge critique ; ce que l'auteur résume assez joliment par la formule suivante : "*Peut-on entendre une charge critique ?*".

C'est en partant d'exemples simples comme ceux-là que l'auteur nous livre un exposé des méthodes les plus pertinentes qui font souvent appel aux opérateurs adjoints ou aux méthodes duales. Il est bien rare, d'ailleurs, que méthodes numériques et expérimentales ne soient pas mises en parallèle, ce qui n'est pas pour nous déplaire. Les premières s'enrichissent des secondes qui, à leur tour, permettent de valider les premières. Les méthodes numériques proposées sont pour la plupart connues mais, pour certaines, encore peu utilisées bien que leur champ d'applications déborde largement les problèmes inverses : quasi-Newton, BFGS, contrôle optimal, programmation quadratique, minimisation ...

Non seulement le sujet est original mais encore, bien des auteurs de livres techniques pourraient s'inspirer de la façon d'aborder la description des phénomènes. La facilité aurait été de décrire d'un point de vue mathématique un ensemble de formalismes, puis quelques applications. M. Bui a ici choisi une démarche "inverse" : à partir d'exemples au demeurant fort nombreux, il développe petit à petit l'ensemble des méthodes disponibles. Ce procédé nous permet de suggérer au lecteur un exercice fort enrichissant : aborder à son tour chaque problème par une méthode différente de celle choisie par l'auteur. Avec une lecture de ce type, chacun peut ainsi consolider son acquis malgré l'absence des habituels exercices de révision.

Ce petit livre (220 pages) n'est certes qu'une introduction, mais l'auteur nous fait profiter de son immense culture en nous proposant une bibliographie impressionnante concernant, outre la mécanique, d'autres domaines scientifiques ou industriels comme la gravimétrie ou la reconnaissance de formes.

Il faut tout de même indiquer que cet ouvrage comporte en fait deux parties très distinctes. Les problèmes inverses n'apparaissent qu'au chapitre 5. Les quatre premiers sont consacrés au comportement mécanique des matériaux hétérogènes et traitent de méthodes permettant d'établir des lois de comportement en élasticité, plasticité, rupture, endommagement : autant de notions qui seront utilisées comme exemples de problèmes inverses.

Signalons aussi un chapitre sur les méthodes de régularisation des problèmes mal posés dont on retient en premier lieu que, avant de prétendre résoudre un problème inverse mal posé, il faut d'abord être parfaitement sûr de savoir bien poser le problème direct. Dans tous les cas, l'important est de formuler la bonne équation, ce qui est plus facile pour les problèmes directs.

Pourvu que les calculateurs et les codes de calcul soient suffisamment ouverts à ces techniques un peu novatrices, les méthodes introduites dans cet ouvrage devraient rapidement se généraliser et devenir aussi indispensables que les calculs de sensibilité ou l'utilisation des plans d'expériences.

En conclusion, comment ne pas appliquer à ce livre, qui nous dévoile à point nommé le mystère des méthodes inverses, la phrase de Stefan Zweig : *"Ce qui est clair et évident s'explique de soi-même, mais le mystère exerce une action créatrice" ?*