

# PROGRAMMATION ORIENTÉE OBJET DE LA MÉTHODE DES ÉLÉMENTS FINIS APPLIQUÉE À L'ÉTUDE DE MULTICOUCHES POROÉLASTIQUES

Pierre Lamary (\*) (\*\*) - Imad Tawfiq (\*\*) - Jean-Baptiste Casimir (\*\*) - Yvon Chevalier (\*\*)

\* DASSAULT AVIATION, Département des Etudes Scientifiques Amonts, 78 quai Marcel Dassault, 92214 Saint-Cloud, France

\*\* ISMCM-CESTI, Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Mécaniques et des Matériaux, 3 rue Fernand Hainaut, 93407 Saint-Ouen Cedex, France

## 1.0 INTRODUCTION

Nous présentons dans cet article les points les plus intéressants rencontrés lors de la réalisation d'un logiciel spécifique de vibro-acoustique basé sur une approche objet. Le code que nous avons appelé CAVOK (Calculs Acoustiques et Vibro-acoustiques OK) s'applique au domaine du transport (avion, voiture, train). Il est utilisé à la fois pour l'étude de problèmes spécifiques comme l'isolation des avions et pour l'enseignement.

L'aspect original de ce travail provient de l'implémentation de la Méthode des Eléments Finis (MEF) que nous proposons. L'approche classique, en Orienté Objet (OO), s'appuie sur l'héritage de classe pour spécialiser les éléments finis à l'acoustique ou à la structure. Dans notre cas, nous avons développé une programmation objet qui résout de manière formelle les équations aux dérivées partielles.

## 2.0 ORGANISATION DU LOGICIEL

L'ensemble du logiciel est programmé en C++ et fonctionne comme une application autonome sous Windows. Le C++ est particulièrement bien adapté à la programmation de la MEF puisqu'il permet de manipuler des abstractions de haut niveau, comme les Eléments Finis, tout en autorisant des implémentations bas niveau nécessaires à l'efficacité des calculs. De plus amples informations concernant les gains (temps de développement, maintenance, modularité, réutilisabilité,...) que l'on peut attendre d'une programmation objet comparée aux langages classiques (Fortran 77, C) peuvent être trouvées en [1,2,3].

Selon notre expérience deux niveaux de conception doivent être séparés, l'organisation générale du logiciel et la programmation de la MEF proprement dite. L'architecture générale du logiciel suit le schéma de conception MVC (Modèle-Vue-Contrôleur). Le modèle maintient des listes d'entités pertinentes du domaine (matériaux, éléments finis, calculs), les vues permettent de manipuler les données et le contrôleur assure la cohérence des informations. La programmation de la MEF, quant à elle, s'appuie sur deux classes fondamentales, la classe *Degrés-de-Liberté* et la classe *Elément-Fini-de-Référence*. L'aspect formel de notre implémentation provient du fait que ni les degrés de liberté, ni les

éléments finis ont une nature physique prédéfinie.

## 3.0 Application aux poroélastiques

Le problème final que nous cherchons à résoudre est celui de l'isolation acoustique des avions. Le sous-système à étudier est un empilement composé de la peau de l'avion, d'une couche viscoélastique, de plusieurs couches de laine de verre (poroélastique), d'une cavité d'air et du revêtement composite qui habille l'intérieur du fuselage.

Pour ce problème, nous avons utilisé notre logiciel pour créer des éléments finis de plaque basés sur la théorie de Love-Kirchhoff et sur la théorie de Reissner-Mindlin, des éléments finis poroélastiques selon la formulation (u,W) détaillée en [4] et [5] et des éléments finis d'acoustique en pression.

Glass wool measured characteristics :

Length : 25.4 (mm)  
Porosity : 0.98  
Tortuosity : 1  
Resistivity : 35 E+3 (N s m-4)  
Viscous dimension : 60 E-6 (m)  
Thermal dimension : 150 E-6 (m)  
Frame density : 9.6 (kg m-3)  
Frame Young modulus (estimated) :  $Y_s = 10 \text{ E}+3$  (Pa)  
Frame damping :  $N_s = 0.05$  so that  $Y = Y_s(1 + jN_s)$   
Poisson coefficient : 0.0

*Figure 1 : Material characteristics*

Les éléments finis poroélastiques créés par CAVOK ont tout d'abord été validés grâce aux travaux de [5] et [6]. Des exemples complets de validation de simplecouches et de multicouches peuvent être trouvés dans ces références. Par la suite, le code a été utilisé pour simuler une série d'expériences menée par l'Université du Maine pour le compte de Dassault Aviation. Les résultats présentés (fig. 2) sont extraits de cette étude où nous comparons essais et calculs d'un échantillon de laine de verre (fig. 1) placé dans un tube à impédance. Les résultats obtenus (fig. 2) sont satisfaisants.

#### 4.0 CONCLUSION

L'orienté objet permet une nouvelle approche de la programmation de la méthode des éléments finis. Selon notre expérience, une implémentation formelle de la méthode peut naturellement être développée. Ceci permet d'aborder les problèmes couplés de vibro-acoustique où plusieurs domaines physiques interviennent. En particulier, nous montrons l'acquiescence de notre approche et du logiciel CAVOK en traitant du problème de la poroélasticité.

#### 5.0 RÉFÉRENCES

Bruce W. R. Forde, Ricardo O. Foschi and Siegfried F. Stiemer, « Object-Oriented Finite Element Analysis », Computers and Structures Vol. 34, No 3, 355-374 (1990)

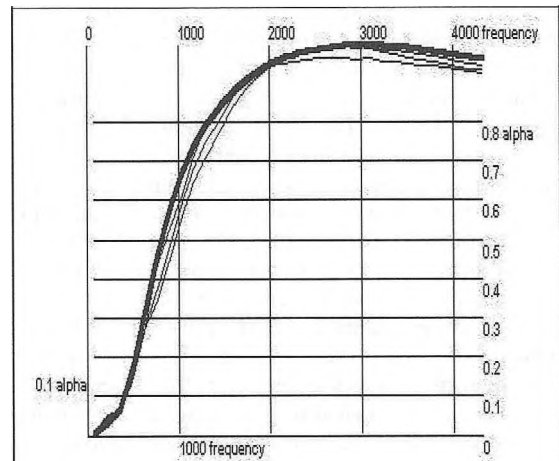
Jean-Claude Gelin, Pascal Paquier, Luc Waltherthum, « Application de la POO pour la conception d'un logiciel de simulation par éléments finis en mise en forme de matériaux », European Journal of Finite Elements, Vol 7, No 5, 505-533 (1998)

Jacques Besson, Ronald Foerch, « Object-Oriented Programming Applied to the Finite Element Method », European Journal of Finite Elements, Vol 7, No 5, 535-566 (1998)

Pierre Lamary, Imad Tawfiq, Yvon Chevalier « Design of an Object-Oriented Finite Element Software for Vibro-acoustic problems - Formal FEM », IDMME'2000, Montreal, (may 2000)

T. F. Johansen, J. F. Allard, B. Brouard, « Finite element method for predicting the acoustical properties of porous samples », Acta Acustica, 3, 487-491 (1995)

R. Panneton, N. Atalla, « An efficient finite element scheme for solving the three-dimensional poroelasticity problem in acoustics », J.A.S.A., Vol 101, No 6, 3287-3298 (1997)



**Figure 2: Absorption coefficient ( $\alpha$ ) from three tests (light curves) and FE calculation (bold curve)**