

Préface

C'est très volontiers que nous écrivons quelques lignes de présentation de l'ouvrage "Matériaux et Acoustique", persuadés que ce livre répond à un besoin manifeste et contribue à l'affirmation d'un domaine de recherches qui connaît actuellement de grands développements, justement parce qu'il est situé au carrefour de plusieurs disciplines.

Il est tout d'abord intéressant de s'attarder quelques instants sur le titre de cet ouvrage. Ceux qui ont suivi les évolutions récentes des domaines auxquels ce titre fait référence, ont été frappés par les efforts de structuration déployés par les communautés de l'Acoustique d'une part et de la Mécanique des Matériaux de l'autre, au cours des vingt dernières années. Ces structurations respectives correspondaient à la volonté des chercheurs impliqués dans ces domaines de les voir mieux identifiés et donc mieux reconnus. Mais elles étaient aussi rendues nécessaires par les besoins de formations spécifiques à ces domaines exprimés par le monde du travail. Une meilleure identification de chacun de ces domaines a donc accompagné la naissance de nouvelles filières d'enseignement en Université ou en Ecoles d'Ingénieurs qui bénéficient, avec cet ouvrage, d'un outil pédagogique fort utile. Les deux communautés concernées, certes bien différentes, ont naturellement interagi et on a ainsi progressivement assisté à la création d'actions dans le domaine des "Matériaux pour l'Acoustique" ou de "l'Acoustique pour les Matériaux", dans lesquelles le rôle de chacun était clairement identifié, soit en tant que but final ou soit en tant que moyen pour y parvenir. L'ouvrage qui suit va plus loin : les Matériaux et l'Acoustique y sont intimement liés et nous sommes convaincus qu'il jouera un rôle moteur dans le rapprochement, déjà en cours, de ces deux communautés.

Le contenu de cet ouvrage porte donc principalement sur la propagation des ondes acoustiques dans les matériaux solides ou poreux, c'est-à-dire multiphasiques (fluide-solide). Tous ces termes peuvent être discutés à l'infini car

ils évoluent en fonction de l'avancée de la recherche et des applications. Ainsi acoustique signifie à l'origine « qui s'entend », ce qui suppose d'une part un milieu de propagation (fluide) et d'autre part une gamme de fréquences, appelées audibles. Inévitablement des extensions se sont faites vers les hautes ou basses fréquences (ultrasons et infrasons) et dans d'autres milieux. Pour illustrer notre propos, discutons les termes milieux et fréquences.

En ce qui concerne le milieu, la propagation dans un solide est plus compliquée que dans un fluide (en tout cas un fluide au repos et sans dissipation), en raison de la présence d'ondes transverses. Les « ondes élastiques » (vectorielles) sont plus générales que les « ondes acoustiques » (scalaires). Mais pour les matériaux poreux souvent utilisés pour réduire le bruit « audible » et appelés de ce fait « matériaux acoustiques », on a tendance à parler plutôt d'ondes acoustiques, même si toutes les ondes existant dans les solides s'y retrouvent ! Souvent si l'excitation est faite via un fluide, le matériau se comporte en effet de façon assez voisine d'un fluide, mais ce ne peut être le cas quand l'excitation est solidienne. Bien d'autres milieux que les matériaux acoustiques sont poreux, et la propagation d'ondes en leur sein est l'objet d'innombrables recherches, avec des applications essentielles comme la géophysique ou la prospection pétrolière.

En ce qui concerne la fréquence, même si cet ouvrage fait une large part aux ultrasons, notamment pour des applications comme le contrôle non destructif ou l'imagerie médicale, les méthodes développées sont aussi générales que possibles. Dans certains problèmes, les ondes basses fréquences se propageant dans les solides sont en effet essentielles, par exemple quand il s'agit du sol terrestre les « ondes sismiques ». Il est donc indispensable de ne pas se limiter d'emblée à une gamme de fréquences. Il est par ailleurs de plus en plus fréquent d'avoir recours à des méthodes temporelles (plutôt que fréquentielles) tant pour la génération des signaux d'auscultation que pour l'analyse de la réponse des milieux de propagation.

Cet ouvrage ne traite pas de vibroacoustique, un autre domaine où mécanique des solides et acoustique sont intimement liés. La vibroacoustique s'intéresse à la réponse de structures (plutôt qu'à la propagation dans un élément de volume) et les outils de modélisation correspondants y sont d'une autre nature.

Ces préliminaires étant faits, passons à l'essentiel, l'ouvrage à proprement parler. Nous n'éprouvons pas le besoin de l'analyser dans le détail, chapitre par chapitre. Pour le confort du lecteur il est cependant utile de signaler quelques caractéristiques remarquables pour orienter sa lecture entre les trois tomes et au sein de chaque tome. Schématiquement les tomes 1 et 2 contiennent les fondements, mathématiques ou physiques, des théories utiles à la compréhension du sujet. Le tome 3 est principalement dédié à la mise en oeuvre et aux applications des concepts et méthodes des tomes 1 et 2.

- Le lecteur soucieux d'approfondir ses bases sur les ondes linéaires trouvera au chapitre 1 du tome 1 un exposé complet sur leur propagation dans les milieux fluides ou solides, isotropes ou anisotropes, homogènes ou stratifiés. Cet exposé est directement utilisable dans un enseignement de niveau Master mais sa rédaction se prête également très bien à une implémentation algorithmique directe (on pense par exemple au formalisme des matrices de transfert bien adapté à l'étude systématique des milieux stratifiés).
- Cet exposé général est complété par des résultats plus techniques sur la recherche des fonctions de Green en milieu anisotrope, ou sur la propagation dans les milieux à stratification continue, détaillés dans les chapitres 3 et 4 du tome 2 qu'on approfondira en seconde lecture.
- Les milieux poreux, très importants sur le plan fondamental et sur celui des applications (confort acoustique, imagerie des tissus biologiques) et leur modélisation font l'objet du chapitre 2 (tome 1). La dérivation du modèle de Biot (autour duquel une communauté internationale s'est formée organisant des congrès mondiaux réguliers) est traitée dans la littérature de plusieurs manières, allant du tout macroscopique au passage micro-macro par développements asymptotiques. La présentation retenue ici privilégie les méthodes de moyenne ainsi que l'approche par formalisme Lagrangien. La première démarche fait clairement ressentir le rôle essentiel joué par la microstructure des matériaux, au travers notamment des notions de tortuosité ou de perméabilité, ainsi que la limite en fréquence des différents modèles développés. Ce chapitre prolonge et complète par des développements récents les travaux fondateurs de Johnson et le livre, pionnier en la matière, de Jean-François Allard. Il contient également une ouverture sur les méthodes numériques (implémentation du modèle de Biot dans un code d'éléments finis).
- Toujours dans le chapitre 2 du tome 1 on trouvera, au côté de l'analyse fréquentielle fort répandue, une formulation dans le domaine temporel des lois de comportement de milieux poreux, avec notamment des modèles de viscoélasticité à dérivées fractionnaires qui sont des notions encore relativement peu connues, en tout cas peu exposées dans les ouvrages de référence.
- L'acoustique non linéaire, dont relève par exemple la propagation des ondes dans les milieux granulaires et plus généralement dans les milieux hétérogènes non linéaires, ou présentant des interactions non linéaires, est abordée au chapitre 2 (tome 2).
- Toujours dans le tome 2, mais sous la rubrique des méthodes expérimentales ou numériques (chapitre 1), on trouvera les fondements des approches expérimentales (réponse impulsionnelle d'un capteur, problématique du retournement temporel, approche par problèmes inverses de l'identification des caractéristiques d'un milieu de propagation).

Le tome 3 se fait l'écho au niveau des applications et de la mise en oeuvre, des concepts et méthodes présentées dans les tomes 1 et 2 :

- Le lecteur intéressé par les applications au contrôle non destructif (CND) des méthodes de propagation linéaire des différents types d'ondes décrites au chapitre 1 du tome 1 s'orientera vers le chapitre 1 du tome 3. Il y trouvera en particulier un exposé sur l'application des ondes de Lamb pour le contrôle de structures composites minces omniprésentes en aéronautique (plaques ou coques).
- S'il veut comprendre comment exploiter les subtilités de l'acoustique non linéaire exposées au chapitre 2 (tome 2) dans le cadre du CND, c'est vers le chapitre 2 du tome 3 qu'il se dirigera, les défauts s'accompagnant souvent de l'apparition de non linéarités (comme le contact frottant sur les lèvres d'une fissure).
- S'il veut mettre en oeuvre les modèles de milieux poreux du chapitre 2 du tome 1, et mesurer, soit dans le domaine fréquentiel, soit dans le domaine temporel, les différents paramètres qui entrent dans les modèles de Biot, il ira directement au chapitre 3 de ce tome 3.
- Enfin s'il veut avoir une vue d'ensemble des différentes méthodes d'imagerie en cours de développement dans le domaine biomédical, y compris la tomographie ultrasonore, il trouvera son bonheur au chapitre 4 de ce tome 3.

La cinquantaine d'auteurs ayant contribué à cet ouvrage nous offrent un panorama aussi complet que possible de l'état de l'art en 2006 du domaine des Matériaux et de l'Acoustique. Que la publication de cet ouvrage se fasse en français, en attendant une édition étrangère qui ne saurait tarder, est à nos yeux significatif du rôle moteur et de la créativité de l'école française dans ce domaine. Nous sommes donc particulièrement confiants dans le succès de cet ouvrage, en France tout d'abord, et à l'étranger par la suite. C'est un ouvrage de référence qui devrait intéresser à la fois les élèves de Master et de Doctorat, ainsi que les ingénieurs de recherche dans le domaine des matériaux, du confort acoustique, du contrôle non destructif, de l'imagerie médicale, pour ne citer que quelques-uns des domaines d'application possibles.

Un dernier mot pour saluer le travail, et le mérite, des coordonnateurs de l'ouvrage, Michel Bruneau et Catherine Potel. Obtenir d'une cinquantaine d'auteurs la remise d'un manuscrit dans les temps, évitant raisonnablement les redondances et interférences entre les différentes contributions, n'était pas une tâche facile. Ils y sont parvenus.... qu'ils en soient félicités et remerciés.

Jean Kergomard
Directeur de Recherches au CNRS
Président de la Société Française d'Acoustique

Pierre Suquet
Directeur de Recherches au CNRS
Professeur à l'Ecole Polytechnique
Membre de l'Institut