

Offre de thèse au laboratoire Roberval, UTC : Interactions modales au voisinage des points exceptionnels et application pour l'atténuation acoustique

Contexte et sujet :

Le bruit représente un problème environnemental majeur en Europe dont les conséquences ne sont pas limitées à des problèmes de confort mais ont aussi un impact significatif sur la santé publique. Dans de nombreux cas, comme dans les systèmes de ventilation, de climatisation (HVAC), d'échappement ou d'admission d'air, le bruit est transmis par des conduits qui agissent comme des guides d'ondes acoustiques. Le contexte multimodal de la propagation ainsi que la présence éventuelle d'un d'écoulement porteur rendent la conception de solutions performantes et légères particulièrement complexes.

Des solutions ont été proposées en utilisant soit des couches de matériaux poreux homogènes soit des méta-matériaux [Xiong, 2019]. Si la modélisation et la caractérisation de ces absorbants acoustiques est maintenant mature, l'optimisation de certains paramètres, liés aux matériaux utilisés ou bien liés à la géométrie du traitement acoustique, doit être menée au cas par cas pour chaque application.

La plupart des systèmes acoustiques ou vibratoires dépendent d'un certain nombre de paramètres (fréquence de résonance, impédance à la paroi, densité et/ou résistivité du matériau...). La détermination des modes de propagation dans ce type de système conduit à la résolution de problèmes aux valeurs propres paramétriques où les solutions modales doivent être vues comme fonction d'un ensemble de paramètres à valeurs complexes.

Pour certaines valeurs de ces paramètres, on peut observer des dégénérescences correspondant à des valeurs propres doubles ou d'ordre supérieur. Dans le cas d'un système ouvert, ou bien présentant des pertes ou du gain, les dégénérescences typiques correspondent à une fusion de deux valeurs propres ainsi que des deux vecteurs propres associés [Berry, 2004]. Ce type de dégénérescences, appelée Point Exceptionnel ou Exceptional Points (EP), est associé à un point de branchement des valeurs propres concernées pour une valeur critique du paramètre (Figure 1). Les EPs sont à l'origine de propriétés contre-intuitives et sont étudiés dans tous les domaines de la physique des ondes (laser, chiralité [Doppler, 2016],...). Dans le contexte de la propagation acoustique en conduit, il est connu que les EPs sont liés à des atténuations optimales [Tester, 1973 ; Bi, 2015 ; Xiong, 2017]. Plus généralement, le concept d'EP permet d'identifier des traitements acoustiques optimaux sans avoir recours à une procédure d'optimisation coûteuse.

Récemment une méthode numérique originale pour localiser les points exceptionnels associés aux ondes guidées dans des configurations complexes a été développée [Nennig, 2019]. L'outil numérique développé permet d'envisager la réalisation et la conception de nouveaux systèmes exploitant l'existence d'EP en temps (fréquence) ou en espace (nombre d'onde). L'objectif de la thèse est de proposer des dispositifs expérimentaux pour illustrer et explorer les propriétés des EPs pour les ondes acoustiques et de valider certains modèles théoriques. Afin d'imaginer de nouvelles solutions de traitement acoustique, différents mécanismes fondamentaux pourront être abordés :

- L'existence d'EP d'ordre élevé [Zhang, 2019 ; Perrey-Debain, 2018] pour les systèmes multiparamétriques.
- La mise en évidence des effets de battement spatial ou temporel au voisinage d'un EP afin de mieux comprendre les couplages et les transferts d'énergie intermodaux.
- La réalisation d'un encerclement dans l'espace paramétriques [Doppler, 2016 ; Milbrun, 2015]. L'encerclement d'un EP conduit à un comportement différent selon le sens de parcours du contour, ce qui pourrait avoir de nombreuses applications pour le contrôle et le guidage des ondes.

Profil recherché :

Le ou la candidat·e, titulaire d'un Master Recherche ou d'un diplôme d'Ingénieur, devra avoir un goût prononcé pour la modélisation de phénomènes physiques et l'expérimentation. Des compétences en acoustique et/ou en mécanique des milieux continus (mécanique des solides/fluides, dynamique des structures, vibrations) seront également appréciées.

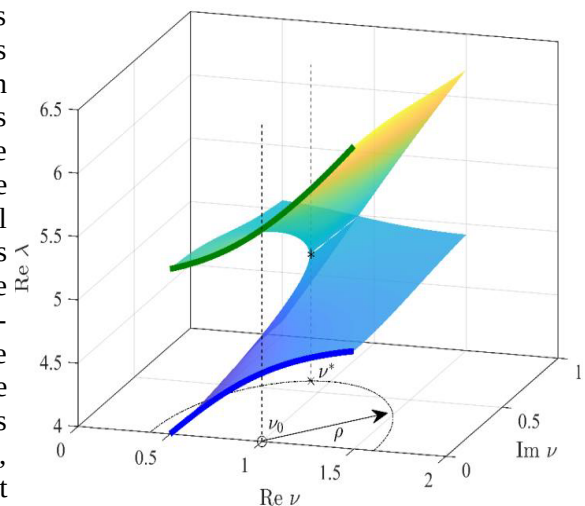


Illustration 1: Surface de Riemann de valeurs propres près d'un EP. Extrait de [Ghienne, 2019].

Encadrement :

La thèse se déroulera au laboratoire Roberval à l'UTC, avec une co-tutelle au laboratoire Quartz à Supméca St-Ouen.

| | | |
|---|---|---|
| Directeur de thèse : Emmanuel Perrey-Debain Professeur des universités UTC-Roberval Tél. +33 3 44 23 45 43 emmanuel.perrey-debain@utc.fr | Co-directeur : Benoît Nennig Maître de conférence Supméca-Quartz Tél. +33 1 49 45 29 00 benoit.nennig@supmeca.fr | Co-encadrant : Gautier Lefebvre Maître de conférence UTC-Roberval Tél. +33 3 44 23 46 47 gautier.lefebvre@utc.fr |
|---|---|---|

Bibliographie :

- [Nennig, 2019] B. Nennig, E. Perrey-Debain, A high order continuation method to locate exceptional points and to compute Puiseux series with applications to acoustic waveguides, *J. Comp. Phys.*, 109425, (2020)
- [Ghienne, 2019] M. Ghienne, B. Nennig, Beyond the limitations of perturbation methods for real random eigenvalue problems using Exceptional Points and analytic continuation, accepté à *J. Sound Vib.*
- [Zhang, 2019] Zhang, X., Ding, K., Zhou, X., Xu, J., & Jin, D.. Experimental observation of an exceptional surface in synthetic dimensions with magnon polaritons. *Physical Review Letters*, 123(23) (2019), 237202.
- [Xiong, 2017] L. Xiong, B. Nennig, Y. Aurégan, W. Bi, Sound attenuation optimization using metaporous materials tuned on exceptional points, *J. Acoust. Soc. Am.* 142 (4) (2017) 2288 # 2297. doi:10.1121/1.5007851.
- [Doppler, 2016] Doppler, J., Mailybaev, A. A., Böhm, J., Kuhl, U., Girschik, A., Libisch, F., ... & Rotter, S. (2016). Dynamically encircling an exceptional point for asymmetric mode switching. *Nature*, 537(7618), 76.
- [Milbrun, 2015] Milburn, T. J., Doppler, J., Holmes, C. A., Portolan, S., Rotter, S., & Rabl, P. (2015). General description of quasiadiabatic dynamical phenomena near exceptional points. *Physical Review A*, 92(5), 052124.
- [Bi, 2015] W. Bi, W. Pagneux, New insights into mode behaviours in waveguides with impedance boundary conditions, arXiv:1511.05508 (2015).
- [Berry, 2004] Berry, M. V. Physics of nonhermitian degeneracies. *Czech. J. Phys.*, 54, 1039–1047 (2004).
- [Ryu, 2015] Ryu, J. W., Son, W. S., Hwang, D. U., Lee, S. Y., & Kim, S. W. (2015). Exceptional points in coupled dissipative dynamical systems. *Physical Review E*, 91(5), 052910.
- [Perrey-Debain, 2018] E. Perrey-Debain, B. Nennig. On exceptional points in two-dimensional acoustic waveguides with admittance boundary conditions, ETOPIIM 11, Krakow, Poland, July 17, 2018.
- [Dauchez, 2019] N. Dauchez, Ke Li, , B. Nennig. Poroelastic lamellar Metamaterial for Sound Absorption, Symposium on the Material Acoustics, Technologies and Industrialization, MATI 2019 Oct. 24-25, 2019, Nanjing, China.
- [Lefebvre, 2019] G. Lefebvre et al, Unveiling Extreme Anisotropy in Elastic Structured Media, *Physical Review* 2016.