

Métamatériaux topologiques pour les capteurs de haute sensibilité

Vincent Laude¹

¹ : Institut FEMTO-ST, CNRS UMR 6174, Univ. Bourgogne Franche-Comté Besançon,
 vincent.laude@femto-st.fr

Résumé

Dans cet exposé, le propos est d'introduire et d'illustrer sur deux exemples simplifiés les bienfaits que peuvent apporter les concepts de la physique topologique une fois transposés au domaine des ondes classiques, qu'elles soient optiques ou acoustiques. Le premier exemple concerne le guidage des ondes le long d'un mur entre deux domaines composés de phases topologiquement différentes d'un même cristal artificiel. Le second exemple concerne une proposition récente faite dans la littérature qu'une chaîne périodique unidimensionnelle de résonateurs couplés présentant des couplages non-symétriques pourrait permettre de réaliser des capteurs de sensibilité croissant exponentiellement avec la longueur de la chaîne. L'exposé ne couvre pas des résultats obtenus par l'auteur, mais propose plutôt un commentaire sur des résultats séminaux récents.

1. Introduction

La physique des isolants topologiques a fortement marqué le paysage scientifique depuis quelques années. En physique de la matière condensée, l'explication de l'origine de la conduction à la surface d'un matériau isolant repose sur un arsenal théorique décrivant et utilisant la topologie de la structure de bande électronique. Transposées aux ondes classiques, ces techniques ont conduit à de nombreuses avancées dans les domaines des cristaux artificiels (photoniques ou phononiques, par exemple), puis des métamatériaux. Parmi les concepts clés se trouvent ceux de la phase géométrique, de la phase de Berry et de sa courbure, les invariants topologiques caractérisant les bandes (la relation de dispersion) comme le nombre de Chern, ou la prise en compte des ruptures de symétrie au cours d'une transformation topologique. Parmi les nombreuses applications rendues possibles, nous voulons en discuter deux qui restent relativement simples dans leur description physique.

2. Guides d'onde acoustiques topologiques de type 'valley Hall'

Le premier exemple que nous voulons discuter est celui d'un cristal phononique bi-périodique de maillage hexagonale composé d'inclusions triangulaires isocèles placées dans l'air, comme l'illustre la figure 1. Les inclusions sont imperméables aux ondes acoustiques se propageant dans l'air qui les entoure. En les faisant tourner d'un angle continu à partir d'une position initiale pour laquelle la bande interdite est fermée au point K de la première zone de Brillouin, on brise une certaine symétrie du cristal, ce qui conduit à l'ouverture de la bande interdite. Cette brisure de symétrie provoque une transition topologique à l'angle nul : si la structure de bande change symétriquement avec le signe de l'angle de rotation des inclusions, les ondes de Bloch au point K forment des vortex dont les signes changent abruptement à la transition. Cette propriété permet de définir des guides d'onde à l'interface entre les deux phases d'un même cristal, sans qu'il soit besoin d'un cœur de guidage. Ce guide est monomode et les modes guidés se propageant vers la droite et la gauche sont orthogonaux ('protégés par la symétrie').

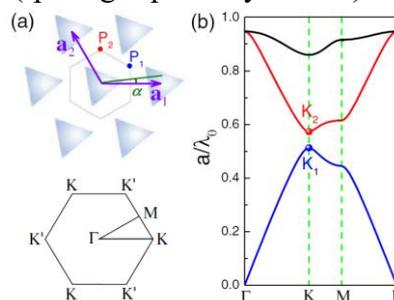


Figure 1 : Cristal phononique topologique de type 'valley Hall' [1].

3. Capteur topologique non-hermitien

Le second exemple est celui d'une chaîne périodique de résonateurs couplés, comme représentée sur la figure 2. Chaque résonateur isolé, ou atome dans une description quantique, possède la même fréquence initiale. Dans le modèle SSH, un prototype de modèle topologique simple, deux couplages différents alternent périodiquement le long de la chaîne. Quand la chaîne est coupée, un état de bord localisé apparaît au centre de la bande interdite uniquement si la dernière liaison avant la coupure possède un coefficient de couplage faible. Cette propriété, habituellement introduite par une théorie hamiltonienne, peut être aisément comprise sur la base d'une matrice dynamique dans le cas classique. Dans la référence [2], les auteurs introduisent une chaîne similaire mais pourvue de plus de coefficients de couplage non réciproques. Dans ce cas, la matrice dynamique est non symétrique mais toutes ses valeurs propres sont néanmoins réelles. A la différence du cas hermitien, toutefois, vecteurs propres à gauche et à droite (donc les modes de propagation) sont distincts ; ils peuvent même se localiser à chaque extrémité de la chaîne pour la même valeur propre, donc le même mode collectif de vibration. Cette caractéristique pourrait conduire, pour le moment théoriquement, à des capteurs dont la sensibilité augmente exponentiellement avec la longueur de la chaîne. Ces propriétés seront discutées simplement à l'aide des valeurs et vecteurs propres de matrices de petite taille.

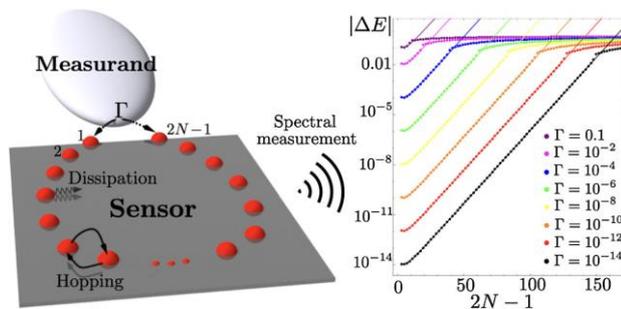


Figure 2 : Capteur topologique non hermitien [2].

4. Remerciements

L'auteur remercie les animateurs du groupe thématique Capteurs, imagerie et inversion, ainsi que la Graduate School EIPHI pour son soutien.

5. Bibliographie

- [1] Lu, Jiuyang, Chunyin Qiu, Liping Ye, Xiying Fan, Manzhu Ke, Fan Zhang, and Zhengyou Liu. "Observation of topological valley transport of sound in sonic crystals." *Nat. Phys.* **13**, 369-374 (2017).
- [1] Budich, Jan Carl, and Emil J. Bergholtz. "Non-hermitian topological sensors." *Phys. Rev. Lett.* **125**, 180403 (2020).