



## STAGE M1 OU M2, PRÉTHÈSE, THÈSE

### Dérivation du code torique comme limite effective de basse énergie de modèles exacts

**Encadrant** : Louis Garrigue (enseignant-chercheur à l'université de Cergy)  
<https://lgarrigue.github.io>, contact via [louis.garrigue@cyu.fr](mailto:louis.garrigue@cyu.fr)

**Domaine** : physique mathématique, analyse fonctionnelle, théorie spectrale, simulations numériques, matière condensée, physique topologique. Approche théorique et/ou numérique

**Dates** : second semestre 2025/2026, thèse (si souhaité) à partir de septembre 2026 ou septembre 2027

**Lieu** : laboratoire de mathématiques “Analyse, géométrie, modélisation” de l'université de Cergy, 2 avenue Adolphe Chauvin, 95300 Pontoise. Possibilité de travailler à distance

**Sujet** : Le code torique [5] est important car c'est l'exemple le plus simple d'ordre topologique. L'information est globale (liée à la topologie de la surface) et invisible par des mesures locales. Il montre comment coder un qubit de façon intrinsèquement robuste. Un bruit local crée seulement des défauts par paires, et pour changer l'état logique il faut une opération non-locale (une chaîne qui traverse tout le système). Enfin, c'est une plateforme théorique pour comprendre toute une classe de phénomènes (anyons, dégénérescence topologique, stabilité au bruit) et la base de nombreux codes de correction d'erreurs modernes.

Dans beaucoup de travaux, il apparaît comme Hamiltonien effectif (limite à basse énergie). Via des méthodes semi-classique [2, 7] et d'adiabaticité [8, 9], nous ferons une dérivation de ces modèles de basse énergie à partir de modèles microscopiques, voir aussi [1]. Nous étudierons sa robustesse [3, 4, 6] sous perturbations locales, bords et défauts. Des algébristes du laboratoire de Cergy participent également à ce projet, nous pourrons avoir des interactions avec eux et d'autres chercheurs de l'Inria travaillant sur le code torique. Nous pourrons donner une orientation plus théorique ou plus numérique selon les préférences du stagiaire.

**Physique mathématique** : la physique mathématique est une branche des mathématiques dont l'objectif premier est de rendre de rendre rigoureux (sous forme de théorèmes démontrés) les résultats de la littérature physique. La généralisation et la rigueur permettent aussi régulièrement d'obtenir de nouveaux résultats. Les articles sont présentés sous forme de définitions/théorèmes/preuves et la plupart du temps publiés dans des journaux de mathématiques. Il y a beaucoup plus d'ouvertures de postes de maître de conférence en mathématiques qu'en physique théorique.

Thèse : une thèse pourrait être démarrée à la fin du stage.

#### REFERENCES

- [1] S. BACHMANN, L. GOLLER, AND M. PORTA, *Anyons in the  $\pi$ -flux phase of fermionic matter coupled to a  $\mathbb{Z}_2$ -gauge field*, arXiv preprint arXiv:2508.21502, (2025).
- [2] L. BENEDETTO, C. FERMANIAN KAMMERER, N. RAYMOND, AND E. VACELET, *The superadiabatic projectors method applied to the spectral theory of magnetic operators*, Reviews in Mathematical Physics, (2025).
- [3] S. BRAVYI AND M. B. HASTINGS, *A short proof of stability of topological order under local perturbations*, Communications in mathematical physics, 307 (2011), pp. 609–627.
- [4] S. BRAVYI, M. B. HASTINGS, AND S. MICHALAKIS, *Topological quantum order: stability under local perturbations*, Journal of mathematical physics, 51 (2010).
- [5] A. Y. KITAEV, *Fault-tolerant quantum computation by anyons*, Annals of physics, 303 (2003), pp. 2–30.
- [6] B. NACHTERGAELE AND R. SIMS, *Lieb-Robinson bounds in quantum many-body physics*, Contemp. Math., 529 (2010), pp. 141–176.
- [7] G. NENCIU AND V. SORDONI, *Semiclassical limit for multistate Klein–Gordon systems: almost invariant subspaces, and scattering theory*, Journal of mathematical physics, 45 (2004), pp. 3676–3696.
- [8] G. PANATI, H. SPOHN, AND S. TEUFEL, *Effective dynamics for Bloch electrons: Peierls substitution and beyond*, Commun. Math. Phys., 242 (2003), pp. 547–578.
- [9] S. TEUFEL, *Adiabatic perturbation theory in quantum dynamics*, vol. 1821 of Lecture Notes in Mathematics, Springer-Verlag, Berlin, 2003.