

# Conclusion

## Introduction de la conclusion

Dans cette thèse, j'ai exploré les gaz de bosons 1D intégrables, où l'état relaxé ne suit pas la statistique Gibbs classique, mais est caractérisé par la distribution de rapidités. L'objectif central était de sonder cette distribution spatialement résolue et de confronter les données expérimentales aux prédictions de la théorie d'Hydrodynamique Généralisée (GHD).

## Résumé des travaux réalisés

Cette thèse a permis de combiner théorie, simulation et expérimentation pour mieux comprendre et manipuler les gaz de bosons 1D intégrables. Mes contributions se situent dans trois axes :

### Approche théorique

J'ai approfondi mes compréhensions dans les fondements du modèle de Lieb–Liniger et de l'Ansatz de Bethe (BA), ainsi que leur encadrement par le cadre théorique des systèmes intégrables : GGE, TBA et GHD. Ces mécanismes, au carrefour de la théorie quantique et de l'hydrodynamique quantique, ont renforcé ma compréhension conceptuelle, tout en illustrant mes cours dans un contexte applicatif.

### Simulations numériques et modélisation

Dans cette thèse, j'ai développé des simulations GHD pour étudier la dynamique des gaz de bosons 1D, notamment dans le cadre de protocoles impliquant des déformations locales des profils de densité. En parallèle, j'ai calculé les fluctuations de la distribution de rapidité en utilisant le formalisme TBA, et validé ces résultats par des vérifications numériques fondées sur le principe de fluctuation–réponse.

Afin d'explorer la faisabilité de l'échantillonnage du GGE, j'ai amorcé des simulations Monte Carlo adaptées. Ces outils fournissent un cadre théorique robuste pour anticiper de futures mesures expérimentales locales, bien que celles-ci n'aient pas été réalisées au cours de cette thèse.

### Mise en place expérimentale

Sur le plan expérimental, j'ai initié la mise en place d'un piégeage dipolaire en complément de la puce atomique, visant à préparer des configurations initiales de gaz atomiques peu conventionnelles. Cette étape permet de générer des potentiels longitudinaux complexes et modulables, ouvrant la voie à l'étude future de distributions de rapidité spatialement résolues et de dynamiques hors équilibre dans des états initialement « exotiques ».

## Perspectives, faisabilité et réflexion critique

**Développement du piégeage dipolaire.** La poursuite de la réalisation d'un piège dipolaire plus abouti offrirait une plus grande liberté dans la préparation des systèmes, tout en garantissant une meilleure reproductibilité des conditions expérimentales. Une telle maîtrise constitue un prérequis essentiel, par exemple

pour envisager la mesure de fluctuations, mais elle demeure exigeante en termes d'optique, d'alignement et de stabilité.

**Optimisation des simulations et étude des pertes.** Une piste prometteuse consiste à améliorer les méthodes de simulation Monte Carlo afin de générer plus efficacement des états **GGE** et d'accéder à des corrélations de fluctuations d'ordre supérieur. Dans ce cadre, l'inclusion des effets de pertes atomiques et la modélisation récente de l'évolution de la distribution de rapidités sous pertes **[BDD20]** constitue un enjeu central : ouvrir la voie à l'étude de déviations non thermiques, intégrables dans le cadre de la GHD. La prise en compte des pertes multibody, notamment dans une géométrie confinée, permettrait en outre d'évaluer la robustesse des distributions de rapidité face à ces processus dissipatifs. La confrontation de ces résultats, théoriques et numériques, à des données expérimentales demeure une perspective majeure.

Bien que techniquement complexes et exigeant une résolution spatiale et statistique élevée, des mesures directes des fluctuations de densité, après expansion ou *in situ*, deviennent aujourd'hui envisageables grâce aux techniques modernes d'imagerie à haute résolution, et offriraient une comparaison directe avec les prédictions issues des approches Monte Carlo.