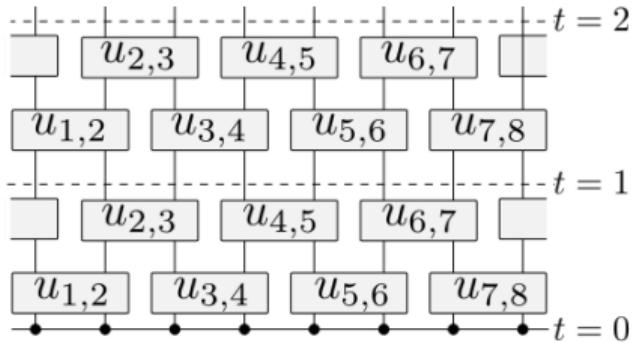
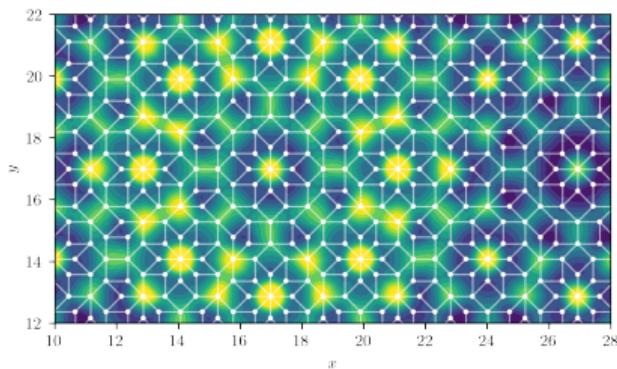


Nicolas Macé

Candidature poste MCF au LPMMC

13 mai 2019



PARCOURS

Cursus universitaire (M2 de physique théorique, Paris)

(2014-17) Doctorat, dir. Anuradha Jagannathan, LPS, Orsay.

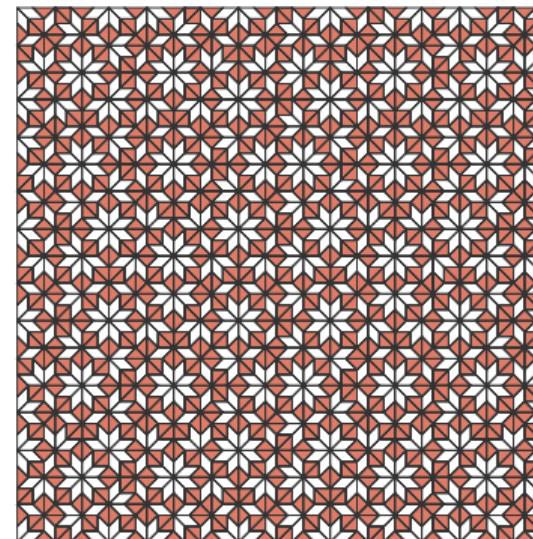
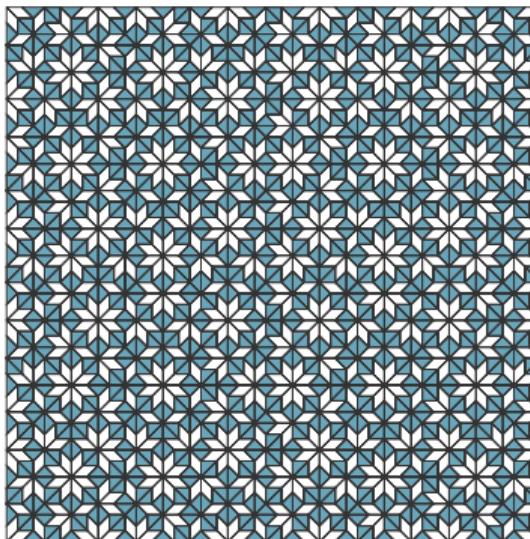
Électrons multifractals en 1D et 2D, Atomes froids quasipériodiques.

(2017-19) Postdoctorat, Nicolas Laflorencie & Fabien Alet, LPT, Toulouse.

Localisation à N corps et quasipériodicité, Multifractalité, Méthodes numériques.

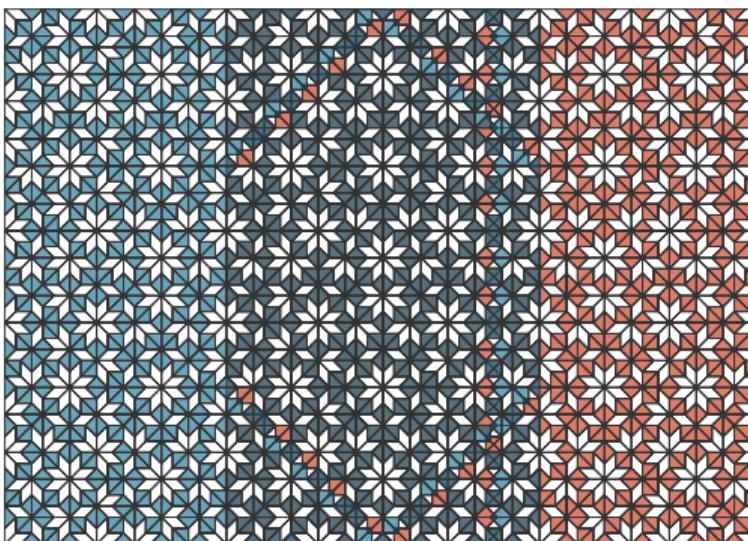
DOCTORAT : MULTIFRACTALITÉ DANS LES QUASICRISTAUX

Pavage quasipériodique :



DOCTORAT : MULTIFRACTALITÉ DANS LES QUASICRISTAUX

Pavage quasipériodique :



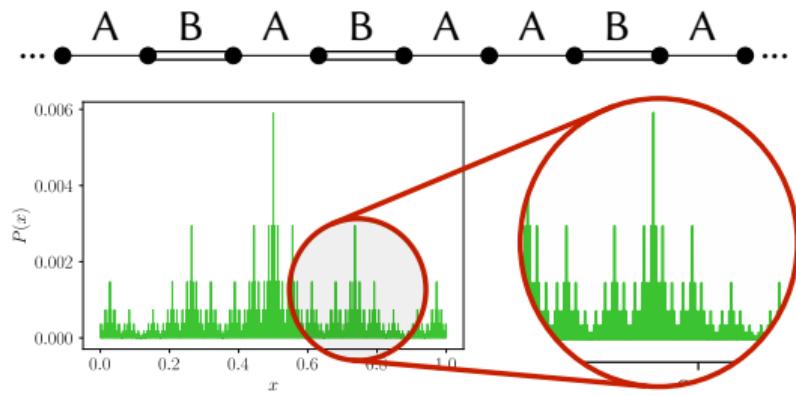
→ presque périodes

Physique : alliages métalliques, atomes froids, bicouche de graphène

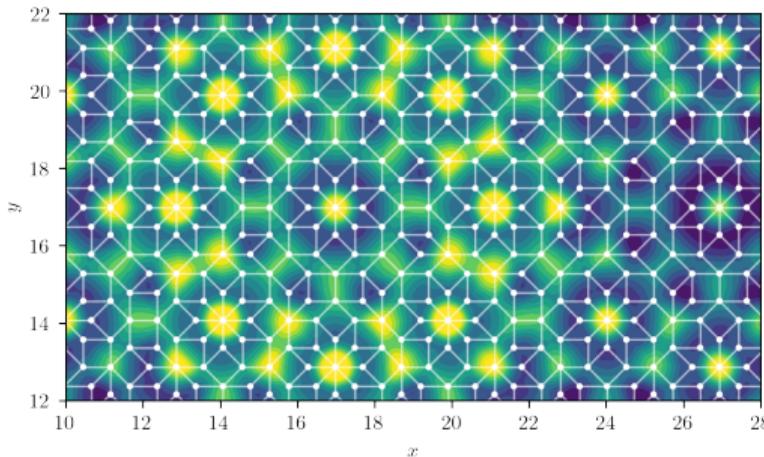
DOCTORAT : MULTIFRACTALITÉ DANS LES QUASICRISTAUX

Motivation : fonctions d'ondes **fractales**, physique **critique**

1D : Chaîne de Fibonacci



2D : Pavage octogonal



Méthodes : groupe de renormalisation perturbatif, calcul variationnel (PRB 2016, 2017).

DIMENSIONS MULTIFRACTALES

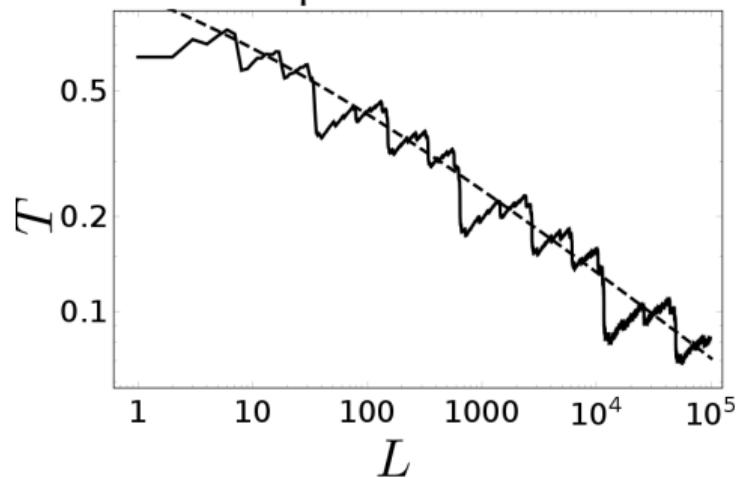
Dimensions fractales **exactes**, modèles **génériques** (PRB 2017)

[Sutherland 86, Repetowicz *et al* 98, Kalugin Katz 14]
Transport anormal

$$D_q(\lambda) = \frac{q\theta(\lambda) - \theta(\lambda^q))}{(q-1)\theta(1)}$$

$$\theta_{1D}(\lambda) = \arcsin\left(\frac{(\lambda + \lambda^{-1})^2}{2}\right)$$

$$\theta_{2D}(\lambda) = \arccos(4\lambda + 9 + 4\lambda^{-1})$$

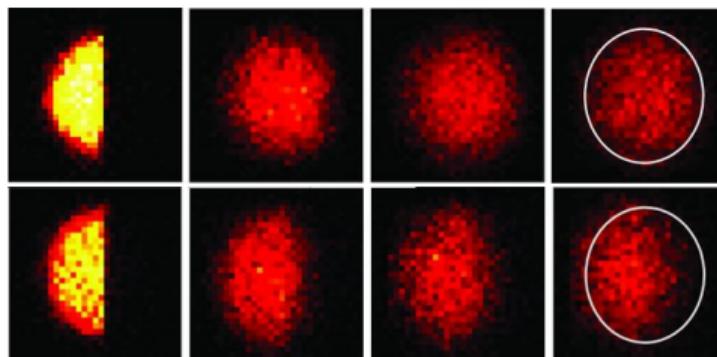


Perspectives : topologie, robustesse (désordre, interactions).

POSTDOC : INTERACTIONS, LOCALISATION À N CORPS

Dynamique quantique, en présence d'**interactions fortes** et de **désordre**

- 1 Générique : **thermalisation, décohérence rapide,**
- 2 Inhabituel : **non-ergodicité, cohérence longue, localisation à N corps.**



[Choi *et al* 16]

Expériences : atomes/ions froids. Films supraconducteurs ?

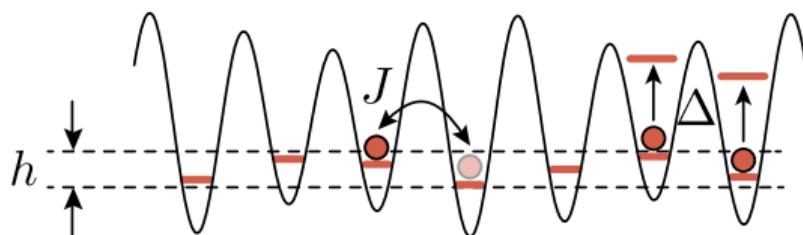
Motivations : transition de phase thermal-localisé, nature phase localisée

Méthodes : diagonalisation exacte taille record $L = 26$ (SciPost 2018)

POSTDOC : UN MODÈLE DE LA LOCALISATION À N CORPS

Fermions en interaction :

$$H = \sum_{i=1}^L \left[J(c_i^\dagger c_{i+1} + \text{h.c}) + \Delta n_i n_{i+1} - h_i n_i \right]$$



Modèle générique : décrit fermions, spins, bosons de cœur dur.

Désordre : pilote la transition de phase :



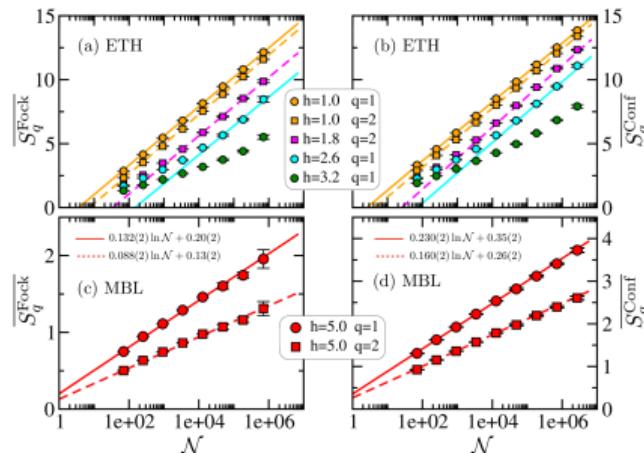
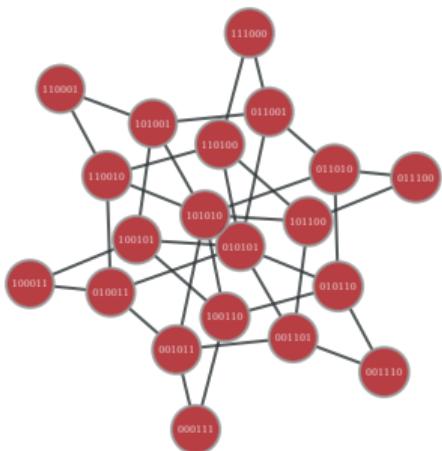
POSTDOC : LOCALISATION À N CORPS & MULTIFRACTALITÉ

États propres dans la phase localisée ?

Multifractalité dans l'espace de Hilbert

(arxiv 2018)

Espace de Hilbert : graphe complexe,
 $\text{Vol} \sim 2^L/\sqrt{L}$



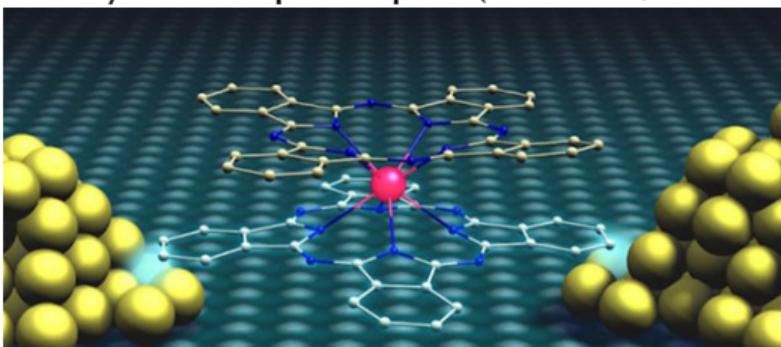
Analyse d'échelle : sonde les phases thermales et localisées et leur transition

Perspectives : nature phase thermale, localisation en 2D, conditions non-thermalisation

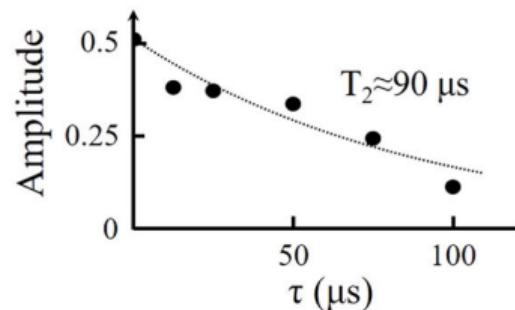
COHÉRENCE ET THERMALISATION DANS LES SYSTÈMES EN INTERACTION

Objectifs : ingénierie de systèmes robustement cohérents, compréhension du couplage à l'environnement et thermalisation.

Contexte grenoblois : manipulation de qubits (institut Néel, CEA), théorie des systèmes quantiques (LPMMC, institut Néel, CEA, LIG).

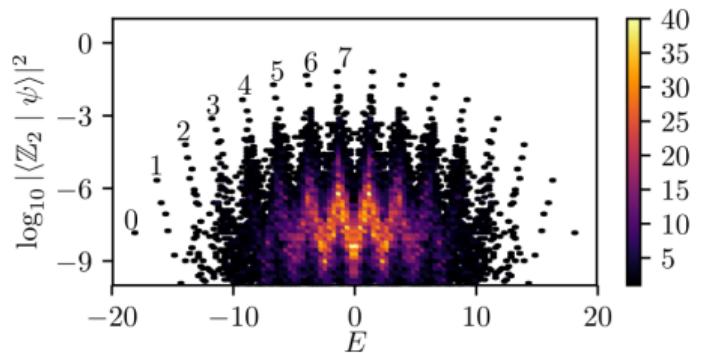


Qudit couplé à une boîte quantique [Godfrin *et al* 19]

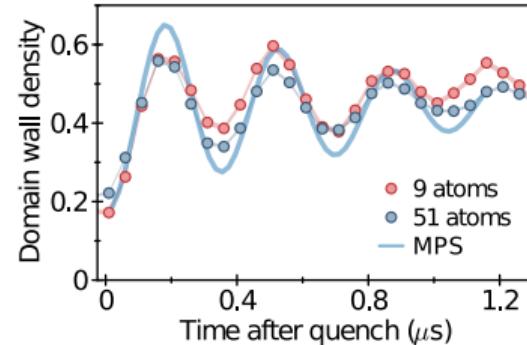


Méthodes : numériques (diagonalisation exacte, DMRG), analytiques (circuits quantiques).

COHÉRENCE ROBUSTE : CICATRICES QUANTIQUES



États non-ergodiques dans une mer chaotique
[Turner *et al* 18]



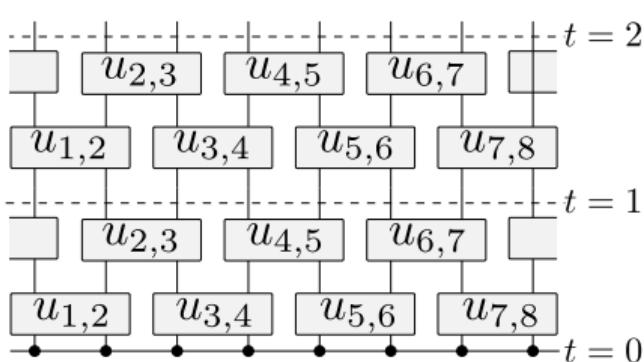
Expérience : blocage de Rydberg
[Bernien *et al* 17]

Projet [Anna Minguzzi, Robert Whitney]

- Conditions d'existence ?
- Couplage à l'environnement ?

CIRCUITS QUANTIQUES

- 1 Structure simple → description **exacte**
- 2 Hydrodynamique (grands t et x) → description **universelle**



[Chan, De Luca, Chalker 18]

Projet [L. Canet, V. Rossetto, C. Branciard, P. Arrighi]

- Systèmes critiques ?
- Désordre ? 2D ?
- Dynamique de l'information et efficacité des algorithmes quantiques ?

Expertise numérique

Diagonalisation exacte innovante

ACTIONS COLLECTIVES

Responsabilités collectives

- Organisation des rencontres des jeunes physicien·ne·s

Médiation & vulgarisation scientifique

- Animation (Fête de la Science, Pint of Science)
- Ma thèse en 180 secondes
- Supports scientifiques (articles, vidéo)



ENSEIGNEMENT

- Tutorat de maths - L1 ~ 20 h
 - Optique géométrique (cours, TD, TP) - L1 ~ 20 h
 - Mécanique du solide & physique des ondes (TD et TP) - L2 ~ 160 h
 - **Projet professionnel** - L1 ~ 27 h

SÉQUENCE D'ENSEIGNEMENT : PHÉNOMÈNES ONDULATOIRES – L2, 60 HEURES

Plan de cours :

Ondes dans les milieux

- 1 Rappels : oscillateurs mécaniques,
- 2 Cordes, ondes progressives,
- 3 Ondes sonores, impédance,
- 4 Ondes stationnaires, résonance.

Optique ondulatoire

- 1 Ondes lumineuses,
- 2 Interférences à deux ondes,
- 3 Interférences à N ondes,
- 4 Polarisation.

Défis

- Universalité des phénomènes ondulatoires → prise de recul
- Ondes lumineuses : évasives

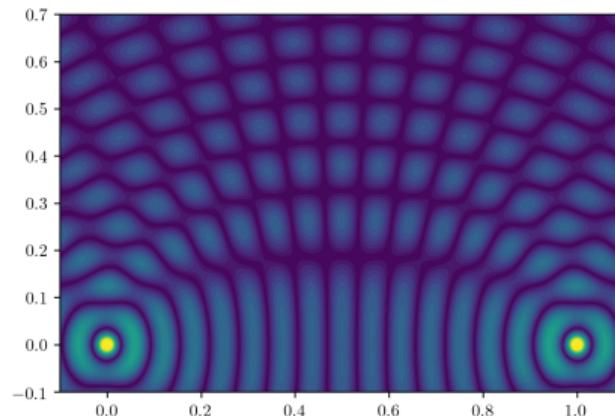
LA SÉQUENCE EN PRATIQUE

Fonctionnement en **classe inversée** :

- 1** **À la maison** (~ 4 h) : cours, exercices de compréhension (correction en ligne),
 - 2** **Cours** (~ 2 h) : applications directes, discussions,
 - 3** **TD** (~ 2 h) : travail d'approfondissement **en groupe**,
 - 4** **TP** : 4 h, certaines semaines.

UNE UNITÉ : INTRODUCTION AUX INTERFÉRENCES À DEUX ONDES

- **À la maison** : conditions des interférences, interférences constructives-destructives, franges, etc.
- **En classe** : deux ondes planes, manip : cuve à ondes.
- **TD numérique** : deux ondes cylindriques.



BONUS : VULGARISATION EN L1-L2

Inspiration : UE *Culture biologie numérique* à l'Université Paris Diderot.

Vulgarisation d'un thème de L1-L2 via un **article de blog** et un oral (cf “physics show” d'Orsay).

Objectifs :

- Réappropriation des notions,
 - Travail en groupe,
 - Projet,
 - Découverte de la vulgarisation.



CONCLUSION

Travaux

- Quasipériodicité
- Localisation à N corps
- Circuits quantiques

méthodes numériques
→
Physique à N corps

Recherche au LPMMC

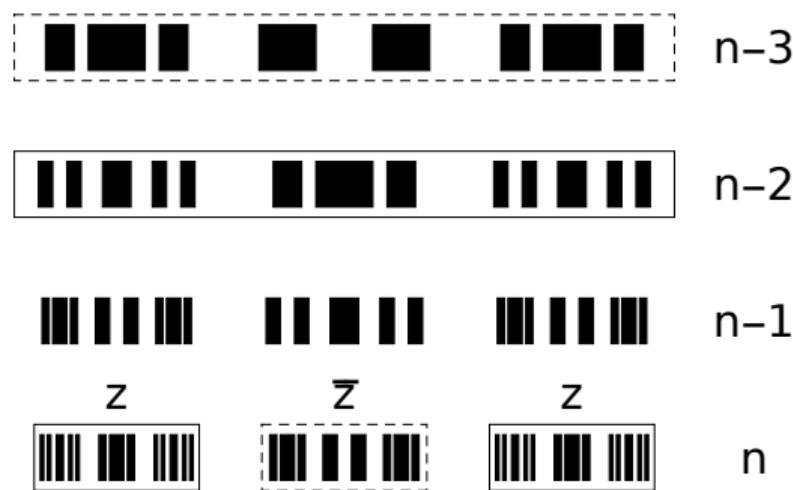
- Cohérence quantique
(localisation à N corps, états non-ergodiques)
- Couplage à environnement et thermalisation (dynamique de l'information quantique)

Enseignement à l'UGA

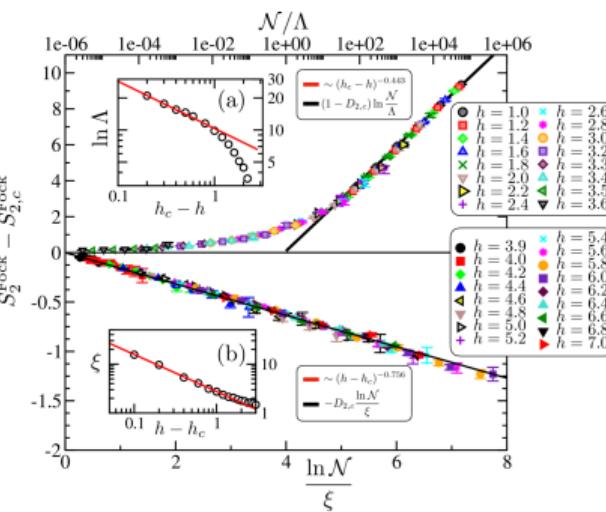
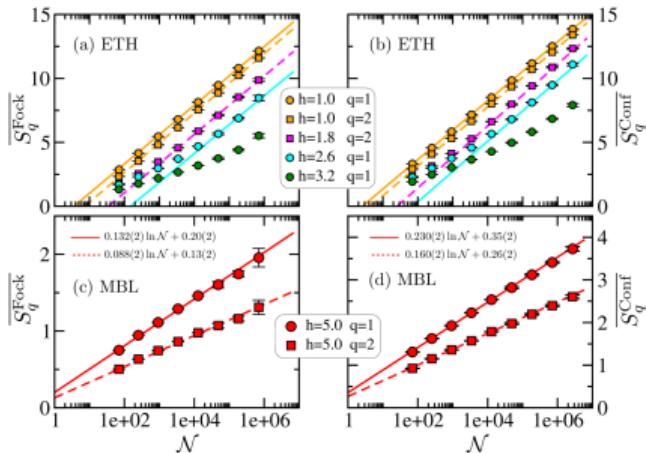
- Suivi, orientation
- Pédagogies actives
- Enseignement par projets

MULTIFRACTALITÉ DE LA CHAÎNE DE FIBONACCI

Invariance d'échelle géométrique \Rightarrow multifractalité du spectre et des fonctions d'onde
Energy spectrum

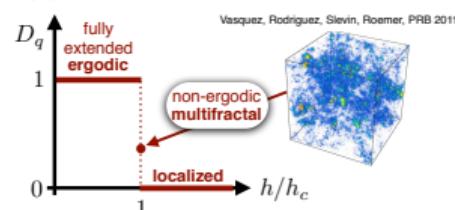


MULTIFRACTALITÉ DE LA PHASE LOCALISÉE À N CORPS

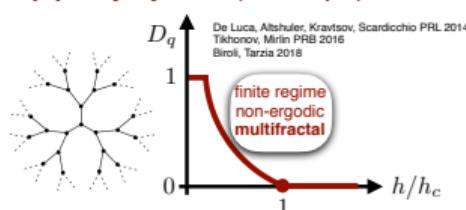


MULTIFRACTALITÉ ET TRANSITIONS DE PHASE

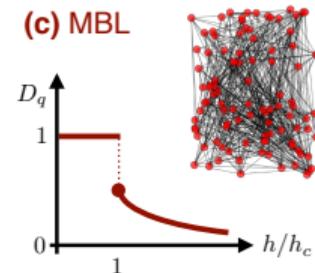
(a) Finite dimensional lattices



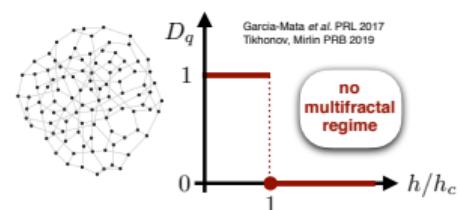
(b) Cayley tree (no loops)



(c) MBL



(d) Random regular graphs (with loops)



BLOCAGE DE RYDBERG ET DYNAMIQUE CONTRAINTE

Nombre quantique principal élevé ($n \geq 50$) → interactions fortes

Deux atomes :

$$H = \Omega(X_1 + X_2) + VQ_1Q_2$$

$Q = \frac{1+Z}{2}$, Van der Waals : $V \propto 1/r^6$.

Régime de blocage de Rydberg : $V \gg \Omega \rightarrow \cancel{\times}$

DIAGONALISATION EXACTE DES CIRCUITS QUANTIQUES

Circuits de **Floquet** : opérateur d'évolution périodique de période τ :

$$|\psi(t = n\tau)\rangle = U^n |\psi(0)\rangle$$

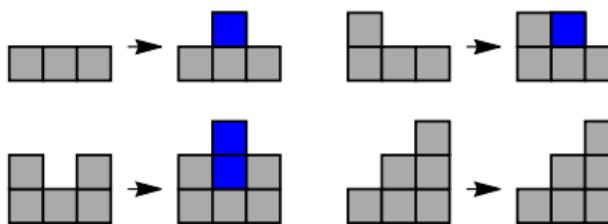
U matrice dense $2^L \times 2^L \implies$ stockage impossible pour $L > 15$.

Circuit quantique

- ⇒ $U = \text{opérateur produit de matrices}$ (MPO)
- ⇒ opération $y = Ux$ rapide et parallélisable en “matrix free”
- ⇒ diagonalisation exacte (méthode itérative) jusqu'à $L = 20$.

DESCRIPTION HYDRODYNAMIQUE DE L'INFORMATION QUANTIQUE

Modèle microscopique : croissance d'interface



[Nahum *et al* 17]

Régime hydrodynamique : KPZ

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \nu \partial_x^2 S - \frac{\lambda}{2} (\partial_x S)^2 + \eta(x, t) + c$$

Universalité : exacte pour entropie de Hartley, $d \rightarrow \infty$, conjecture : unitaires aléatoires, unitaires de Clifford, chaîne XXZ + environnement [Nahum *et al* 17, Knap 18].

SIMULATIONS DANS LE FORMALISME DE LINDBLAD

Flot de Lindblad

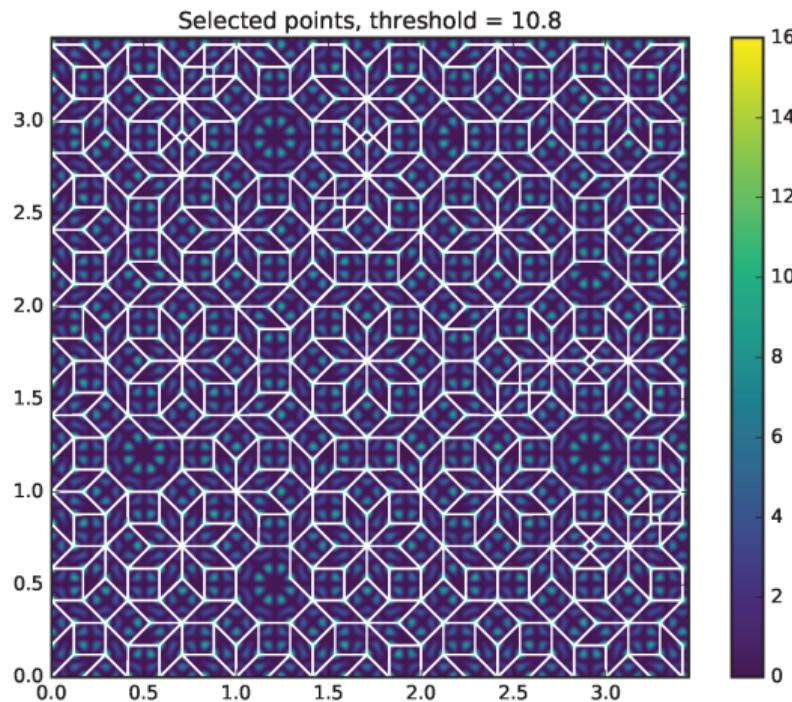
$$\frac{d\rho}{dt} = i[\rho, H] + \gamma \sum_k \left([L_k \rho, L_k^\dagger] + \text{h.c.} \right)$$

Algorithme :

- 1** Représentation MPO de ρ (troncature éventuelle)
- 2** Action du Liouvillien décomposé (Trotter-Suzuki)

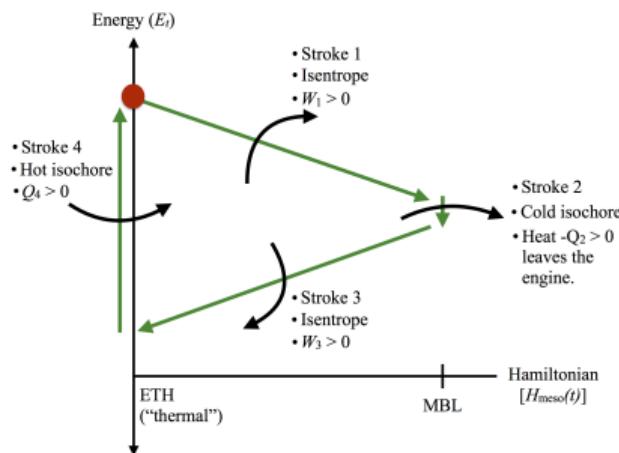
Facteur limitant : entropie d'opérateur bornée. Simulation de l'ordre de 100 spins ou qubits.

ATOMES FROIDS QUASIPÉRIODIQUES



MACHINES THERMIQUES MBL

Cycle à 4 temps quantique



[Halpern 18]

$$\mathcal{P}_v^{\text{voiture}} = 1 \text{ MW/m}^3$$

$$\mathcal{P}_v^{\text{MBL}} = 100 \text{ kW/m}^3$$

$$\mathcal{P}_{\text{boîte quantique}} = 1 \text{ kW/m}^3$$

FIDÉLITÉ ET DIMENSIONS FRACTALES

$$F(t) = |\langle \psi(0) | \psi(t) \rangle|^2$$

Partant d'un état polarisé en spin,

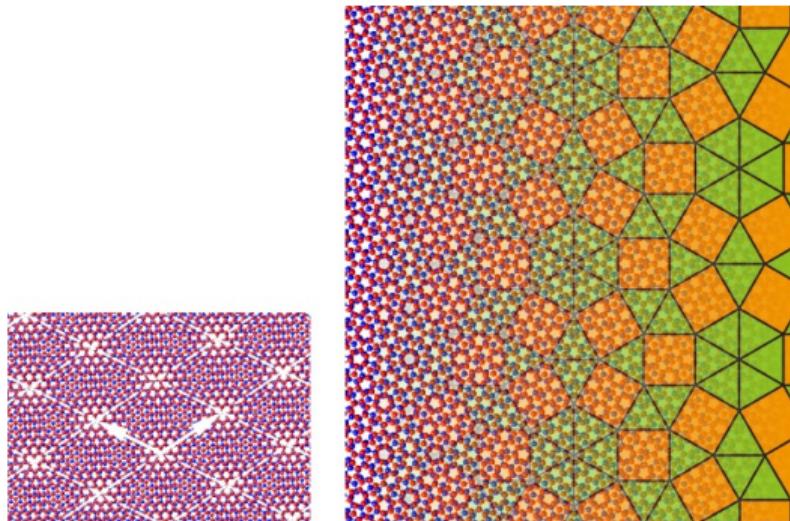
$$F(t \rightarrow \infty) = e^{-S_2} = \mathcal{N}^{-D_2}$$

Imbalance finale d'un état polarisé en spin \mathcal{C}_0 :

$$I(t \rightarrow \infty) = \sum_{k,\mathcal{C}} |\langle k | \mathcal{C} \rangle|^2 |\langle k | \mathcal{C}_0 \rangle|^2 \delta(\mathcal{C}_0, \mathcal{C})$$

où $-1 \leq \delta(\mathcal{C}_0, \mathcal{C}) \leq 1$ mesure la distance entre les deux configurations.

BICOUCHES DE GRAPHÈNE QUASIPÉRIODIQUES



[Yao *et al* 18]

CIRCUIT QUANTIQUE CRITIQUE

