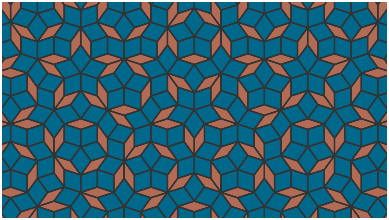
États électroniques fractals sur des quasicristaux

Nicolas Macé, Anuradha Jagannathan,
Frédéric Piéchon, Rémy Mosseri

Laboratoire de Physique des Solides, Université Paris-Sud
Laboratoire de Physique Théorique de la Matière Condensée, UPMC

21 Février 2017



Outline

1. La structure des quasicristaux
2. Un électron sur une chaîne
3. Un électron sur un pavage quasipériodique

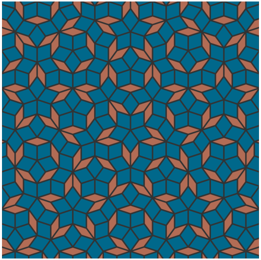
Les quasicristaux ?

Un arrangement apériodique mais “ordonné” d’atomes/molécules/colloïdes

Plus précisément, un quasi a les propriétés suivantes :

- il est **apériodique**
- il présente **un ordre à longue distance** (la figure de diffraction possède des pics nets).

Notion de récurrence → les **pavages quasipériodiques** modélisent les quasis. (voir *Baake & Grimm, Aperiodic Order (2013)*)



Un morceau du pavage de Penrose, souvent utilisé pour modéliser les quasis.

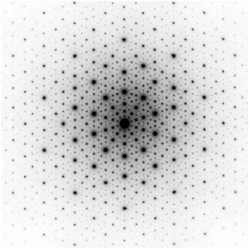
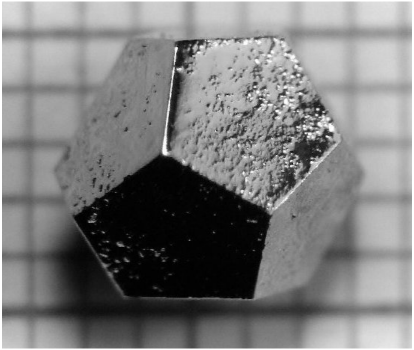
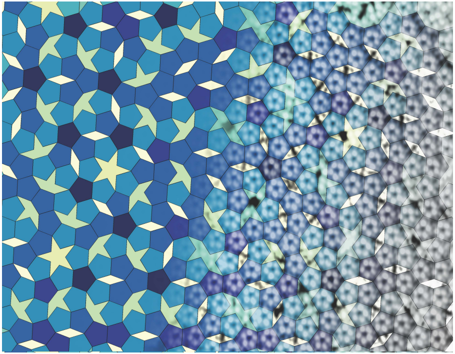


Figure de diffraction d’un alliage d’AlPdMn (groupe de Conradin Beeli)

Exemples de quasicristaux



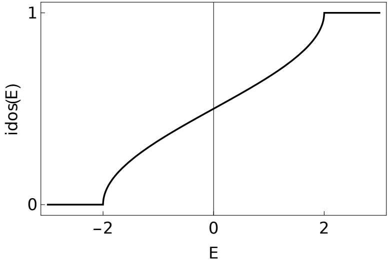
L'alliage HoMgZn alloy dans sa phase icosahédrale (voir `doi:10.1038/nmat1244`)



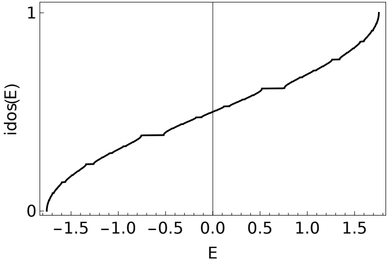
Un quasicristal 2D de molécules (voir `doi:10.1038/nature12993`)

- De nombreux alliages métalliques sont quasicristallins sous de bonnes conditions
- Seul exemple connu dans la nature: la météorite de Khatyrka (voir `doi:10.1126/science.1170827`).

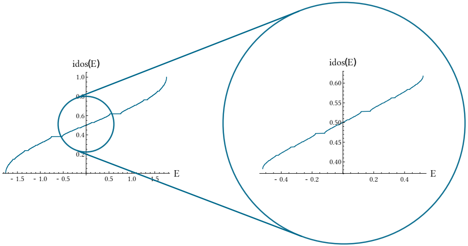
Conduction électrique d'une chaîne d'atomes



Densité d'états intégrée de la chaîne périodique (Amplitude de saut $t = 1$)

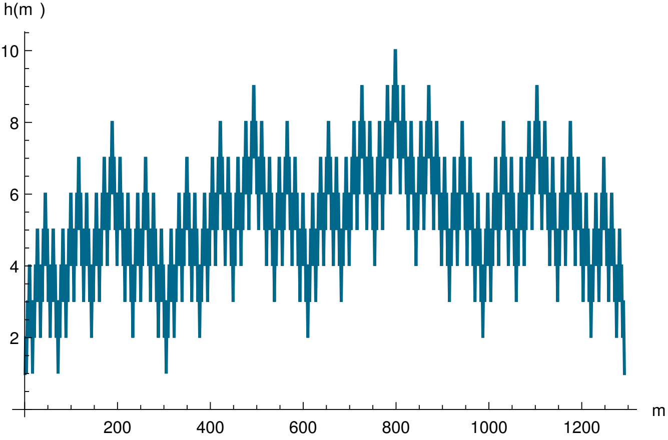


Densité d'états intégrée de la chaîne de Fibonacci (Amplitudes de saut $t_B = 1$, $t_A = 0.8$)



- Le courant passe si $E_{\text{incident}} \notin$ plateau de l'idos.
- Chaîne périodique : courant si $E_{\text{incident}} \in [-2t, 2t]$.
- Chaîne quasi : courant si $E_{\text{incident}} \in$ ensemble de Cantor (voir *Niu & Nori, PRB 1990*)

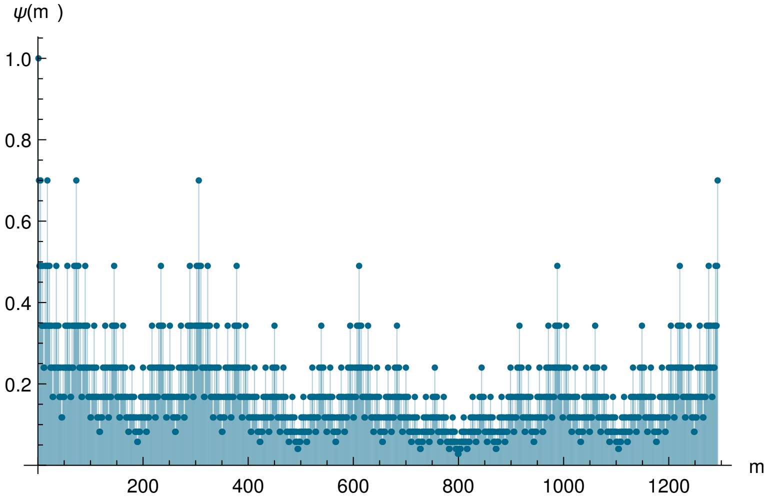
État central d'une chaîne



La fonction de hauteur sur un morceau de la chaîne de Fibonacci

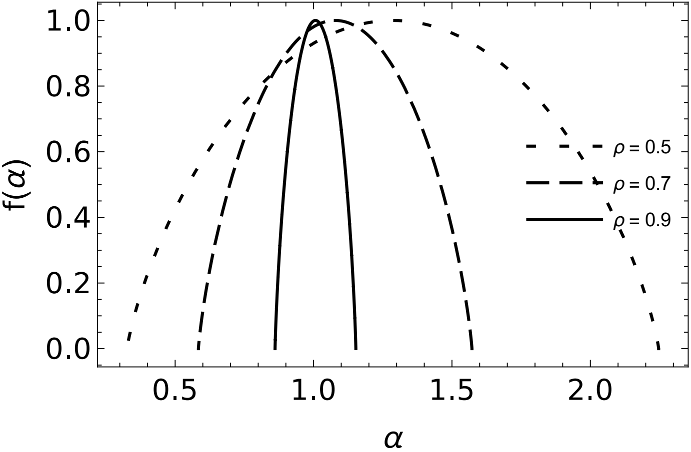
- La fonction flèche est quasipériodique.
- Son intégrale, la fonction de hauteur, croît en $\sqrt{\log m}$.

État central



Dimensions fractales

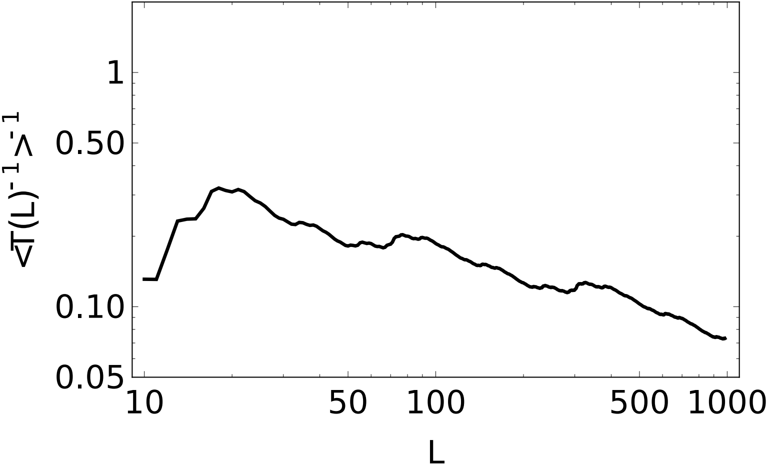
(voir *Halsey et al., Fractal measures and their singularities (1986)*)



- État central critique (ni localisé ni étendu).
- "de moins en moins" critique à mesure que $\rho \to 1$.

Coefficient de transmission

$T(L)$: fraction du courant traversant un morceau L de chaîne.
(voir *Beenakker, Random-matrix theory of quantum transport (1997)*)



$\rightarrow$ la transmission décroît lentement avec la taille (loi de puissance).

Récap et questions ouvertes

Récap

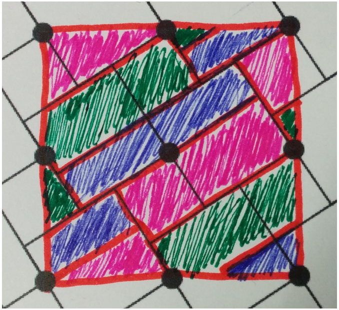
- État central : **fonction flèche** quasipériodique,
- croissance lente de son intégrale, la **fonction de hauteur**,
- $\rightarrow$ état central **critique**.
- Fonction de hauteur simple $\rightarrow$ accès à des quantités physique (ex. **transmission**).

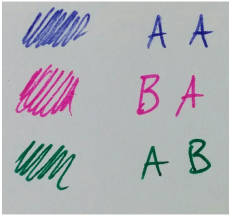
$\rightarrow$ Ces conclusions restent valides pour les modèles 2D.

Questions ouvertes

- Autres états ? (chaîne périodique perturbée $\rightarrow$ période effective $\rightarrow$ fonction flèche)
- Qu'est-ce qu'une fonction flèche ? (substitution ? coupe et projection ?)
- Dans quel espace vivent les états électroniques ?

Coupe et projection : construction par Klötze

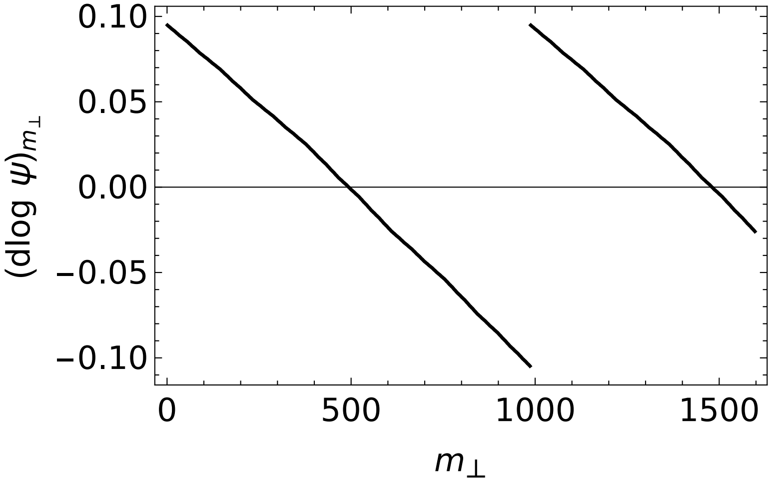




Les Klötze du champ de flèches de l'état central.

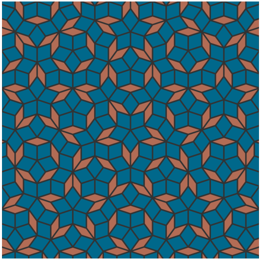
(voir *Kramer & Schlottmann, J. Phys. A: Math. Gen. (1989)*)

Un résultat négatif sur l'état en bord de spectre

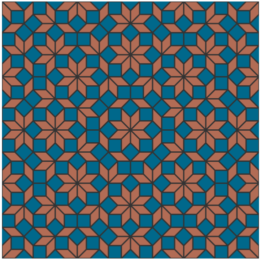


$\rightarrow$ pas de champ de flèches local.

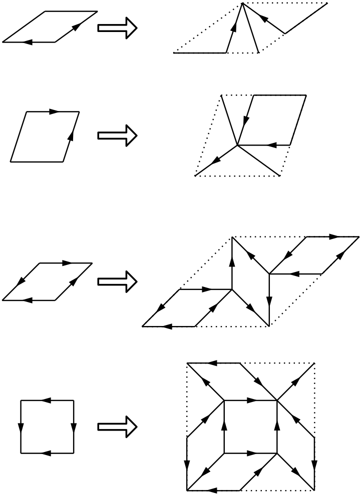
Deux pavages quasipériodiques



Pavage de Penrose



Pavage d'Ammann-Beenker



Méthode de coupe et projection