

# Présentation TP IV – 2020-2021

## Le problème à N corps en $D=1$ : approches analytiques et numériques

F. Mila

Chaire de Théorie de la Matière Condensée

Institut de Physique

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

# Plan

- Introduction: le **problème à N-corps**
- Méthodes analytiques
  - théorie des champs, perturbations dégénérées, ansatz de Bethe,...
- **Méthodes numériques**
  - Lanczos, Monte Carlo Quantique, Groupe de renormalization de la matrice densité, réseaux de tenseurs,...
- **Organisation pratique** TP IV 2020-2021

# Particules quantiques en interaction

## Modèle de Hubbard

$$\mathcal{H} = -t \sum_{\langle i,j \rangle, \sigma} (c_{i,\sigma}^\dagger c_{j,\sigma} + h.c.) + U \sum_i n_{i\uparrow} n_{i\downarrow}$$

Energie cinétique



Energie potentielle



# Systemes magnetiques

## Modèle de Heisenberg

$$\mathcal{H} = \sum_{i,j} J_{ij} \vec{S}_i \cdot \vec{S}_j$$

- En  $D=1$ , physique très riche.
- Exemple: chaîne de spin-1 et gap de Haldane (Prix Nobel 2016)



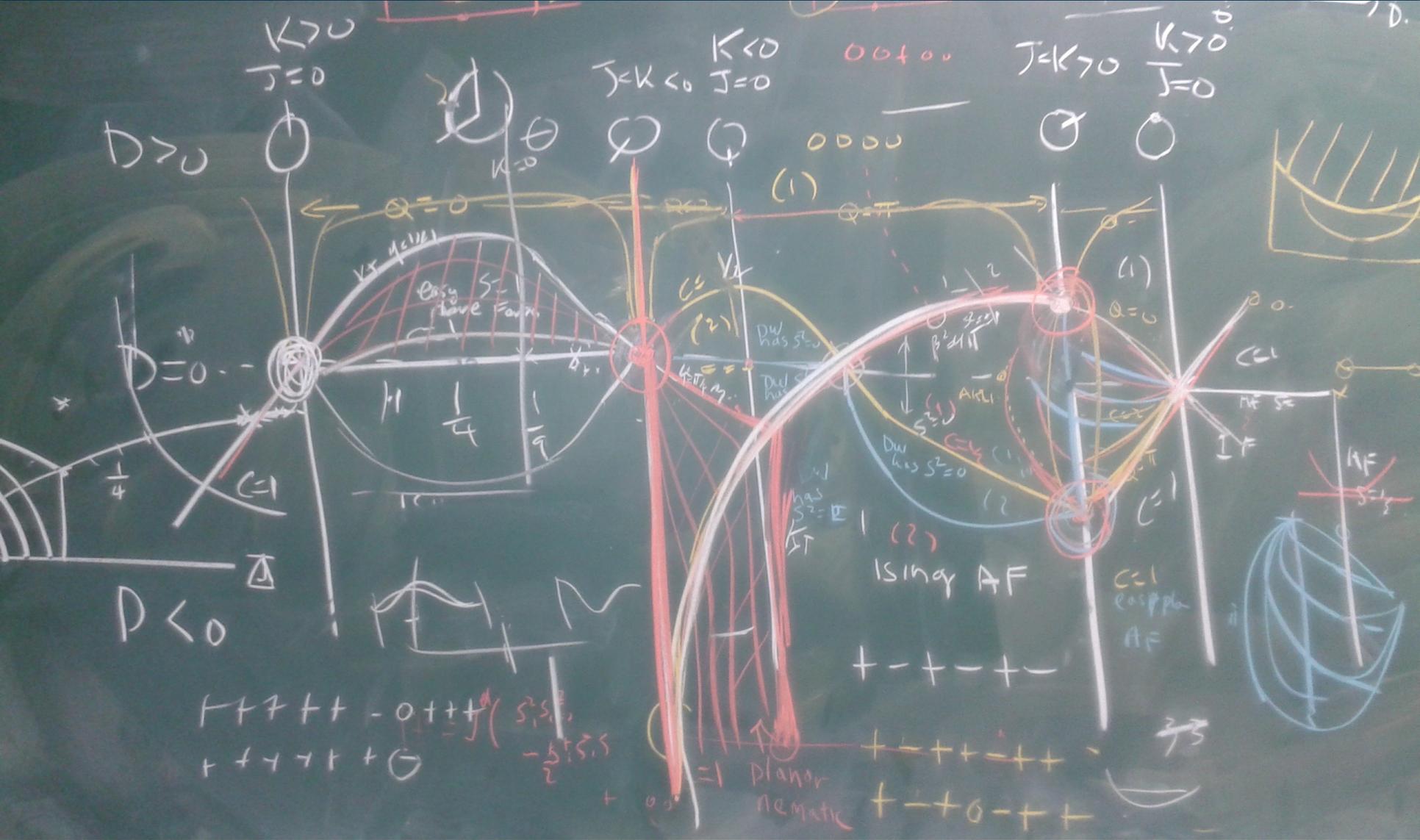
$K > 0$   
 $J = 0$

$J < K < 0$   
 $J = 0$

$J = K > 0$   
 $K > 0$   
 $J = 0$

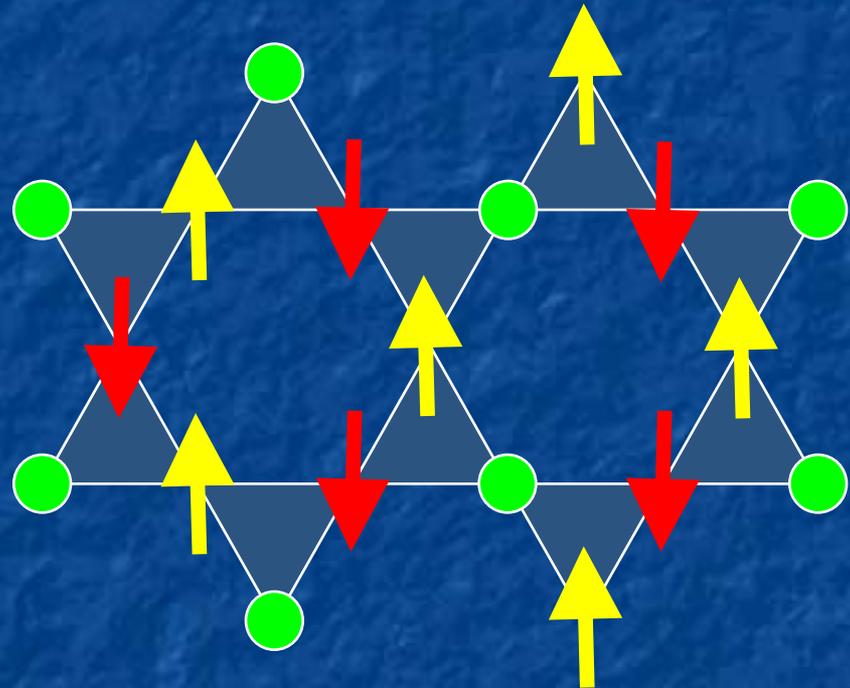
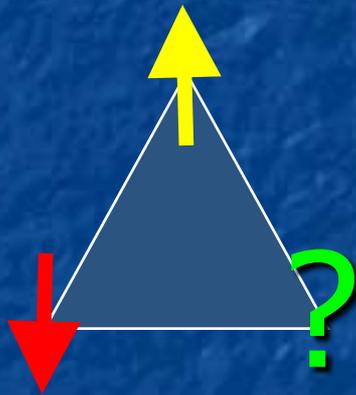
$D > 0$

$D < 0$



# Systemes magnetiques frustrés

Triangle



Liquide de spin quantique?

# Nouveaux paradigmes

- **Phases topologiques**: Effet Hall Quantique Fractionnaire, isolants topologiques,...
- **Liquides de spin**
- Supraconductivité à haute température critique
- **Liquide de Luttinger (1D)**
- ...

# Méthodes analytiques

- **Théorie quantique des champs**
  - perturbations, diagrammes de Feynman
- **Groupe de renormalization**
  - modèle effectif, perturbations dégénérées
- **Méthodes variationnelles**
  - supraconductivité, effet Hall Quantique
- **Ansatz de Bethe**
  - certains modèles 1D (Heisenberg, Hubbard)
- **Bosonisation (1D)**

# Méthodes numériques

- **Diagonalisations exactes**
  - algorithme de Lanczos
- **Analogie physique statistique en dimension  $D+1$** 
  - Monte Carlo Quantique
- **Groupe de renormalisation de la matrice densité (DMRG)**
  - Problèmes 1D
- **Réseaux de tenseurs**
  - Information quantique et problème à  $N$  corps

# Pourquoi $D=1$ ?

- **Fluctuations quantiques** plus importantes
- Pertinent pour de nombreux systèmes:  
**chaînes de spin**, états de bord Effet Hall Quantique...
- Rôle central dans le **problème à N corps**, tant du point de vue analytique que numérique

# Organisation des TP IV

- Semestre d'hiver
  - Série d'exposés sur les différentes approches analytiques et numériques développées autour du problème à N-corps en dimension 1
- Semestre d'été
  - Projets de recherche individuels co-supervisés par des membres du groupe
- Nombre de places: pas limité

# Membres du groupe



Jonathan D'Emidio



Olivier Gauthé



Samuel Gozel



Ivo Maceira



Jeanne Colbois



Mithilesh Nayak

# Membres du groupe

- **Post-docs:**

- Jonathan D'Emidio: Quantum Monte Carlo
- Olivier Gauthé: réseaux de tenseurs

- **Doctorants:**

- Samuel Gozel: spin chains
- Ivo Maceira: fermions de Majorana
- Jeanne Colbois: dipolar Ising model
- Mithilesh Nayak: dynamical properties