

# Présentation TP IV – 2023-2024

## Systemes magnetiques frustrés

F. Mila

Chaire de Théorie de la Matière Condensée

Institut de Physique

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

# Plan

- **Le problème physique**

- Les systèmes magnétiques avec interactions en compétition

- **Méthodes analytiques**

- théorie quantique des champs, groupe de renormalization,...

- **Méthodes numériques**

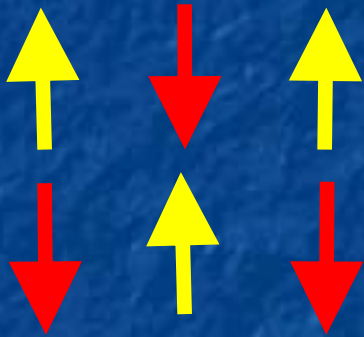
- Diagonalisations exactes (Lanczos), Monte Carlo Quantique, réseaux de tenseurs...

- **Organisation pratique**

# Antiferromagnétisme

Ising

$$H = \sum_{(i,j)} J_{ij} \sigma_i \sigma_j, \quad \sigma_i, \sigma_j = \pm 1 \text{ or } \uparrow, \downarrow$$



- $J > 0$  premiers voisins
- Réseau carré

Heisenberg

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

# Fluctuations quantiques en D=1

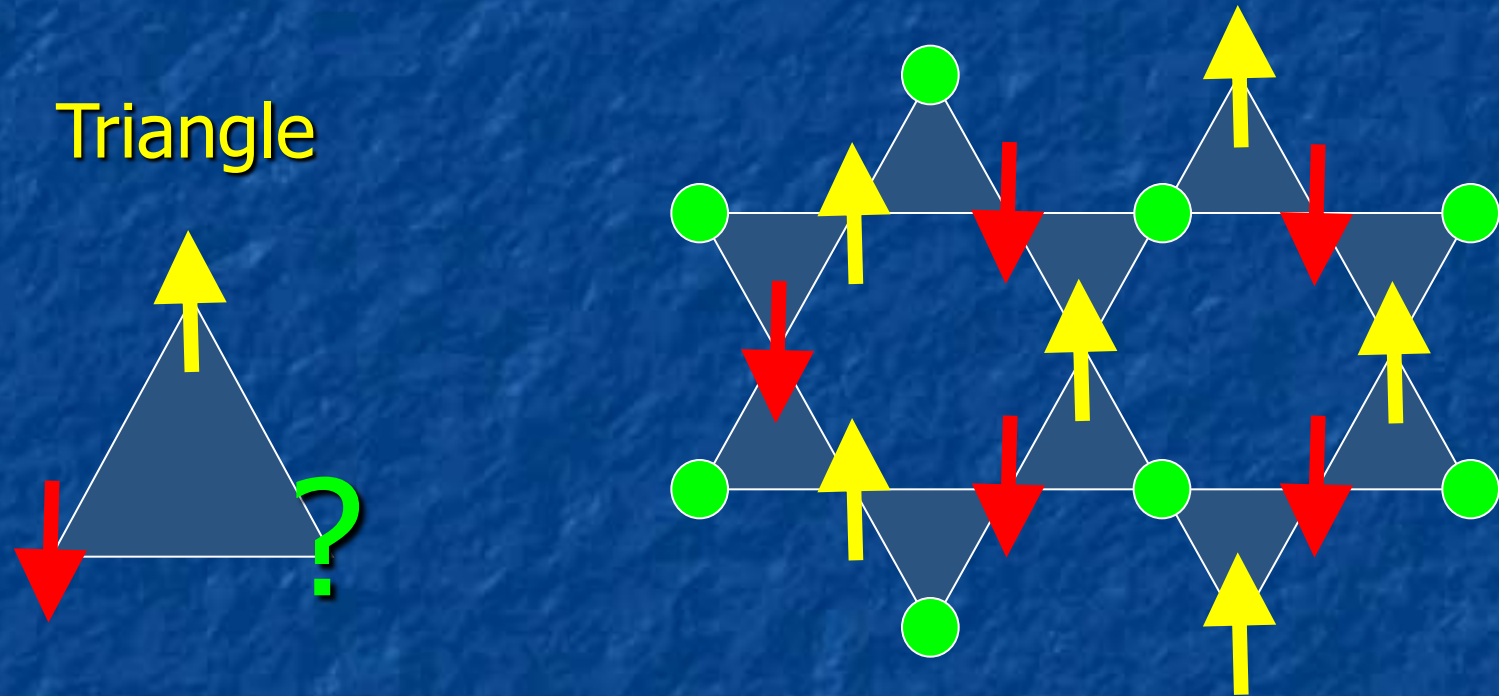
## Modèle de Heisenberg

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

- **Spin-1/2:** solution exacte de Bethe (1931) et corrélations algébriques
- **Spin-1:** gap de Haldane (Prix Nobel 2016)



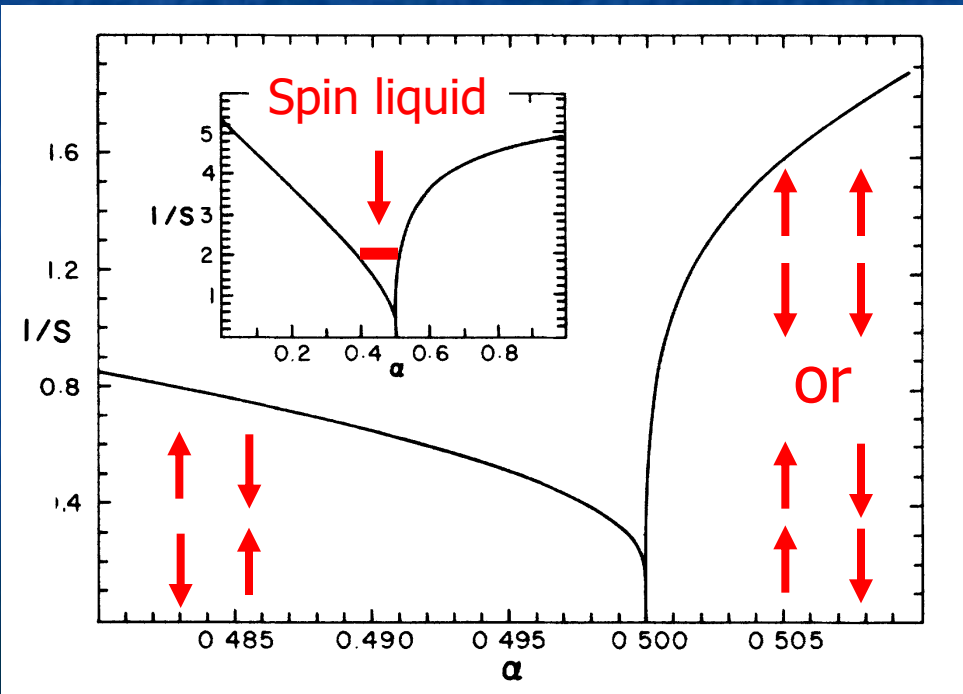
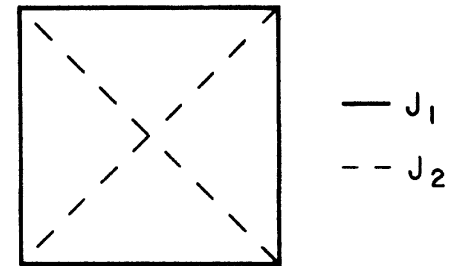
# Systemes magnetiques frustrés



Liquide de spin quantique?

# Modèle $J_1$ - $J_2$ sur réseau carré

$$\mathcal{H} = J_1 \sum_{NN} \mathbf{S}_i \cdot \mathbf{S}_j + J_2 \sum_{NNN} \mathbf{S}_i \cdot \mathbf{S}_j$$



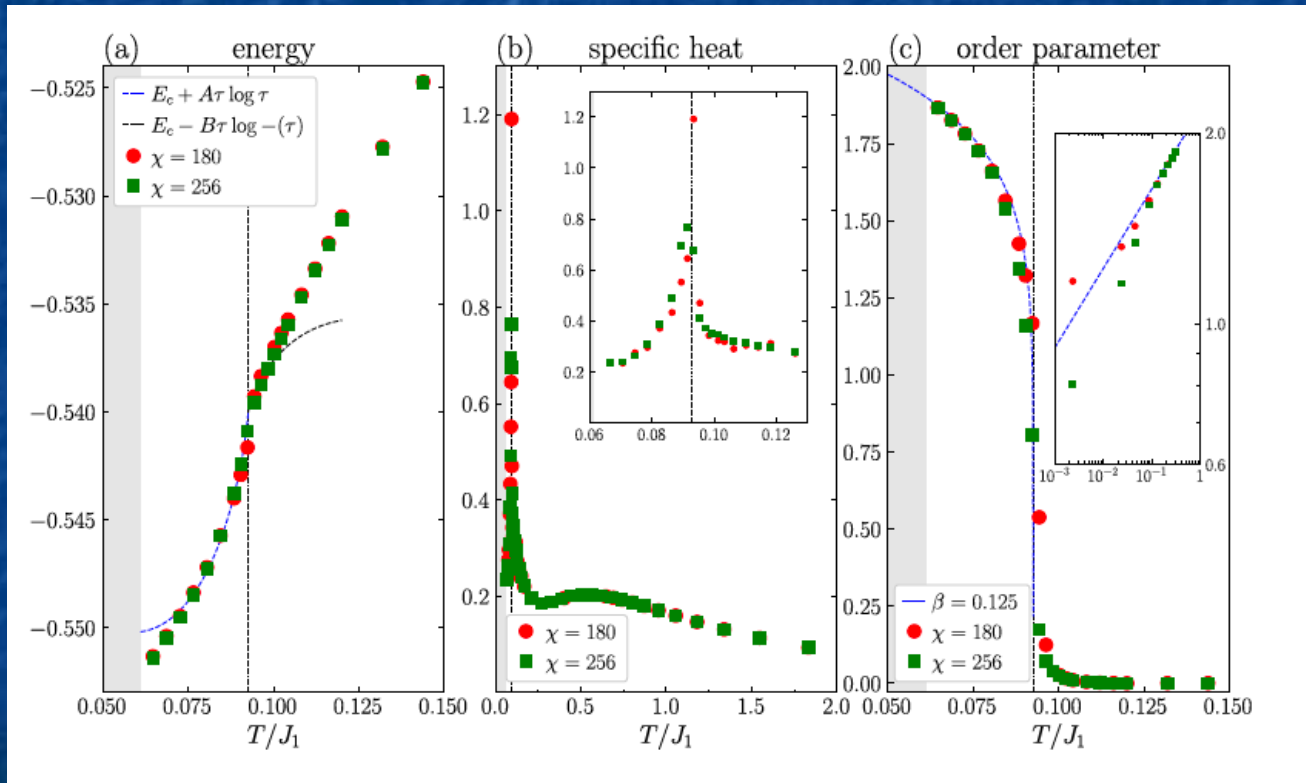
Chandra and Douçot,  
PRB 1988

$$\alpha = J_2/J_1$$



# Thermal Ising Transition in the Spin-1/2 $J_1$ - $J_2$ Heisenberg Model

Olivier Gauthé<sup>\*</sup> and Frédéric Mila



$J_2/J_1 = 0.85$

Ising transition for  $J_2/J_1$  large enough from finite T iPEPS

# A quantum magnetic analogue to the critical point of water

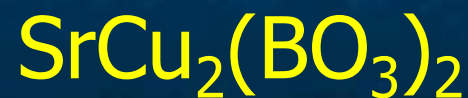
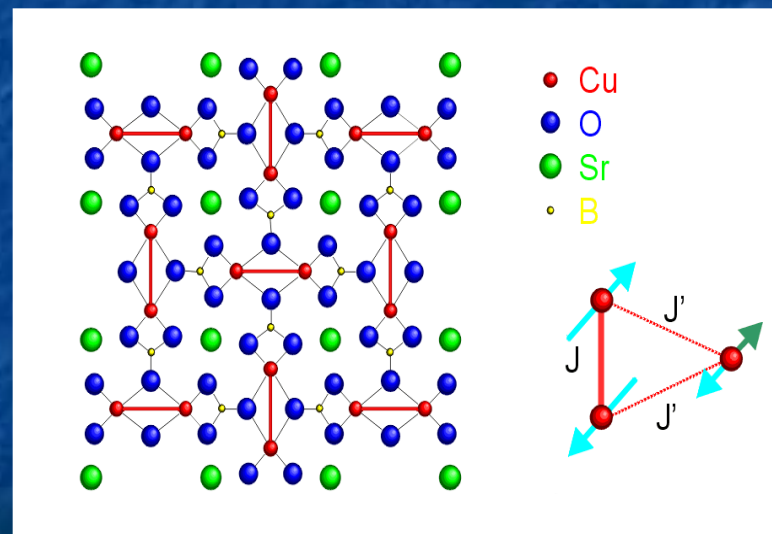
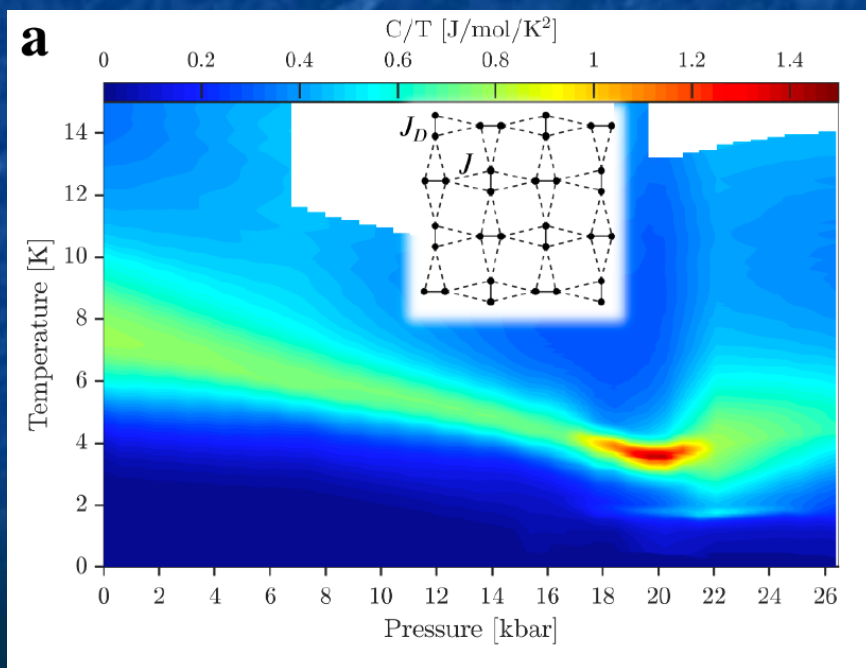
Nature | Vol 592 | 15 April 2021

<https://doi.org/10.1038/s41586-021-03411-8>

Received: 30 September 2020

Accepted: 26 February 2021

J. Larrea Jiménez<sup>1,2</sup>, S. P. G. Crone<sup>3,4</sup>, E. Fogh<sup>2</sup>, M. E. Zayed<sup>5</sup>, R. Lortz<sup>6</sup>, E. Pomjakushina<sup>7</sup>,  
K. Conder<sup>7</sup>, A. M. Läuchli<sup>8</sup>, L. Weber<sup>9</sup>, S. Wessel<sup>9</sup>, A. Honecker<sup>10</sup>, B. Normand<sup>2,11</sup>,  
Ch. Rüegg<sup>2,11,12,13</sup>, P. Corboz<sup>3,4</sup>, H. M. Rønnow<sup>2</sup>✉ & F. Mila<sup>2</sup>





# Méthodes analytiques

- Théorie quantique des champs
- Groupe de renormalization
- Théorie conforme des champs
- 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
- Réseaux de tenseurs
  - Information quantique et problème à  $N$  corps
- Groupe de renormalisation de la matrice densité (DMRG) → Problèmes 1D

# Organisation des TP IV

- Semestre d'hiver
  - **Série d'exposés** sur le magnétisme frustré (ou **lecture suivie avec résolution d'exercices** suivant le nombre d'étudiants)
- Semestre d'été
  - **Projets de recherche** individuels co-supervisés par des membres du groupe
- Nombre de places: **jusqu'à 6**

# Membres du groupe



Loïc Herviou



Olivier Gauthé



Samuel Nyckees



Afonso Rufino



Zakaria Jouini



Mithilesh Nayak