

Les interactions des spins voisins représentent le chevauchement des nuages électroniques entourant les noyaux. Au final, un seul élément n'a pas vraiment son pendant dans le monde réel : le fait que les spins d'Ising ne s'orientent que selon deux directions.

L'aimant ainsi modélisé est-il aimanté? Ses spins s'alignent-ils en parallèle comme dans un vrai ferromagnétique? Avant de répondre à ces questions, rappelons le principe de base du physicien : les systèmes tendent à évoluer vers des états d'énergie inférieure (ou d'énergie libre inférieure). C'est en appliquant cette idée que les physiciens ont remporté tant de succès dans leurs efforts pour décrire la nature. Dans le cas du modèle d'Ising, un modèle de la physique statistique, ce principe doit être appliqué de façon probabiliste. Parce qu'ils sont plus probables, les états de moindre énergie du modèle d'Ising sont ceux vers lesquels le système évolue, malgré les fluctuations thermiques qui le poussent en permanence à changer d'état. Lorsque la température est très grande, ces fluctuations thermiques sont incessantes. Chaque spin bascule continuellement et aléatoirement d'une orientation à l'autre, de telle sorte que l'aimantation moyenne reste nulle. Au contraire, lorsque la température est proche de zéro, les fluctuations thermiques tendent à disparaître. Le système est dans un état d'énergie minimale, celui où tous les spins sont alignés. Notons qu'en l'absence de champ magnétique extérieur, l'état où tous les spins sont alignés vers le haut est aussi probable que celui où ils sont alignés vers le bas.

La transition de phase

Supposons maintenant que nous réduisons continûment la température d'un système d'Ising de l'infini à zéro. Initialement désordonné, tous les spins finissent par s'aligner. Ce changement est-il continu, ou brusquement déclenché à une température donnée? Cette question est centrale, car un système à un grand nombre de particules adopte des phases différentes, c'est-à-dire des comportements différents en fonction des conditions extérieures. Parce qu'elles séparent ces comportements, les discontinuités – appelées transitions de phase – sont des repères essentiels dans l'analyse du comportement de la matière. Cette transition de phase apparaît dans les aimants réels. Refroidis-

sons lentement du fer en fusion et mesurons son aimantation : elle reste nulle jusqu'à une température nommée point de Curie ; là, à environ 1 040 kelvins, elle augmente brusquement. Si le modèle d'Ising décrit vraiment le ferromagnétisme, il doit présenter ce type de discontinuité. En d'autres termes, il existe une température (un niveau d'agitation thermique) au-dessous de laquelle le système passe brusquement dans son état aimanté.

C'est cette question qu'Ising a étudiée dans son travail de pionnier. Il s'est limité au «peigne de spins», c'est-à-dire à des alignements de spins. Existe-t-il, dans le cas du peigne, une température critique au-dessous de laquelle l'agitation thermique n'empêche plus les spins de s'aligner? Déçu, il est obligé d'admettre que ce n'est pas le cas. Voyons pourquoi. Considérons une rangée de 10 000 spins qui pointent tous vers le haut. Une telle configuration est un état



2. LE MODÈLE D'ISING à deux dimensions est un réseau de spins pointant vers le haut (en rouge) ou vers le bas (en vert). Dans l'état représenté ici, la température varie du haut vers le bas, ce qui conduit à un mélange de spins plus désorientés en haut qu'en bas, où les interactions dominant la désorganisation thermique édifient de grands domaines d'orientation uniforme.

American Scientist