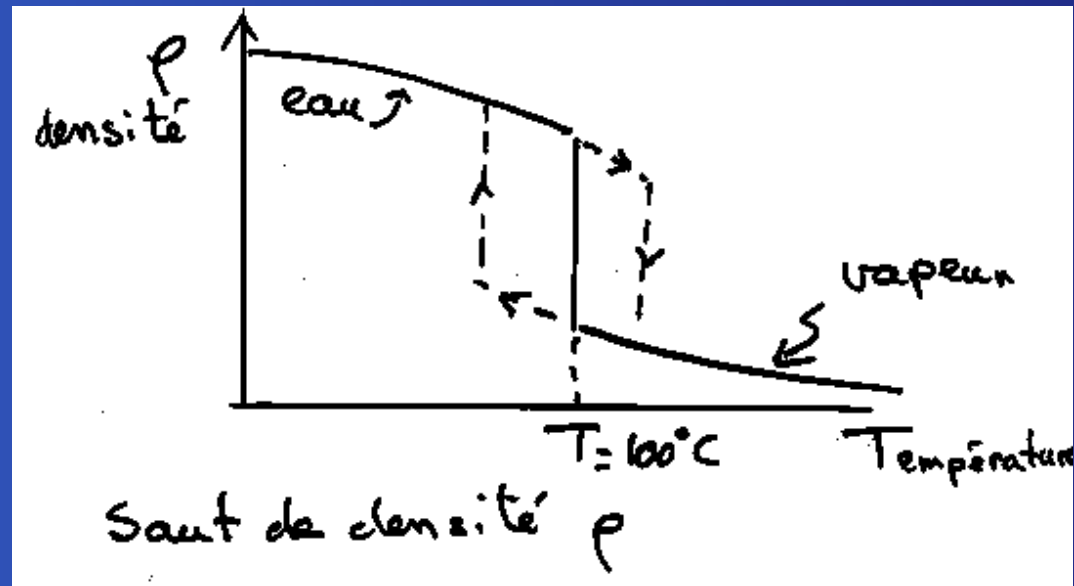


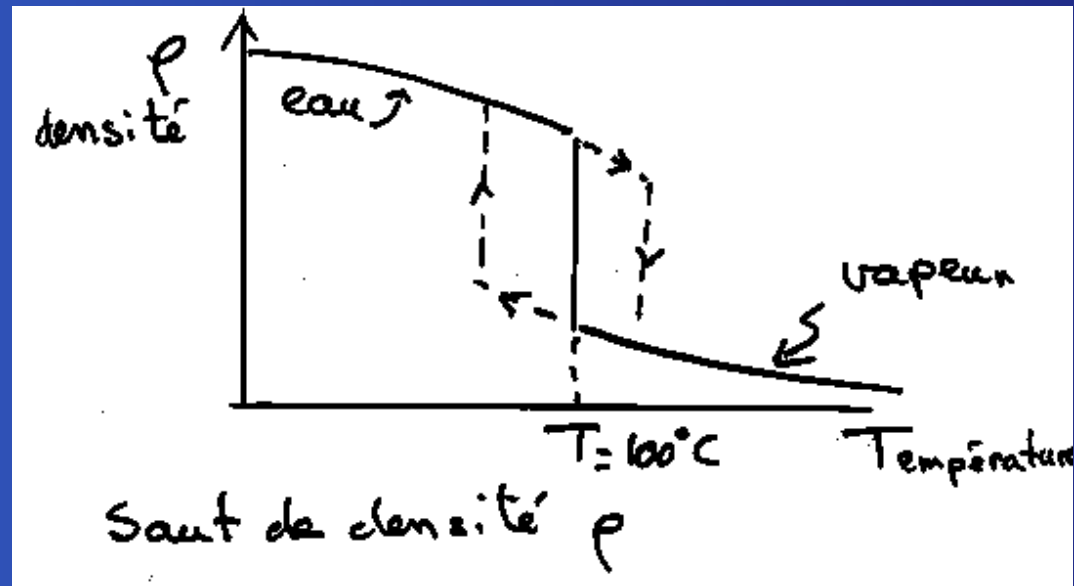
Changement qualitatif en physique

Pascal Lederer

L'eau qui bout: un paradigme?



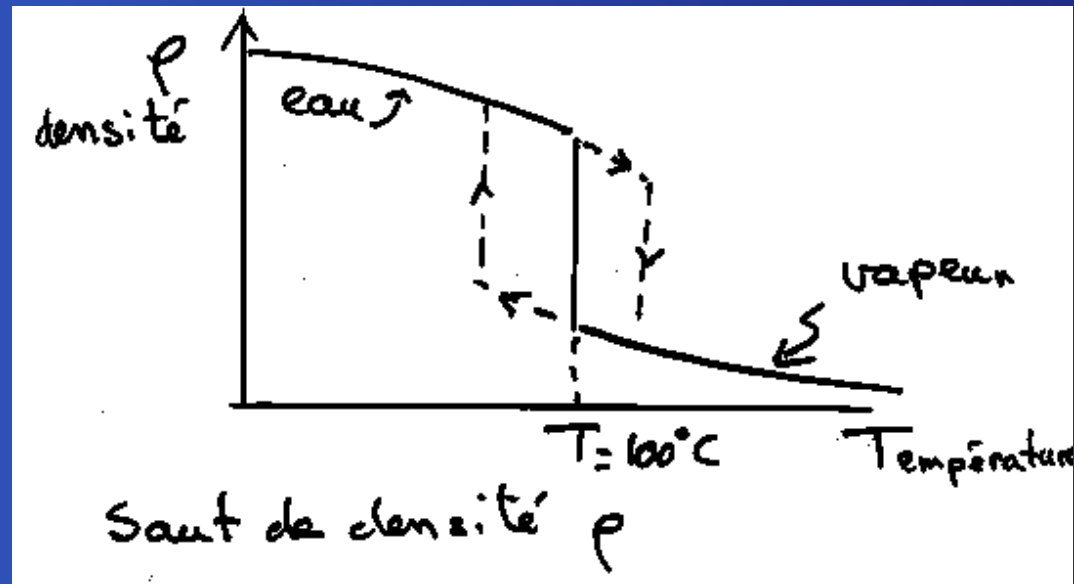
L'eau qui bout: un paradigme?



Du point de vue de la physique, pas de changement de symétrie

L'eau et le gaz (la vapeur) diffèrent par leur densité: un paramètre intensif, ρ

L'eau qui bout: un paradigme?

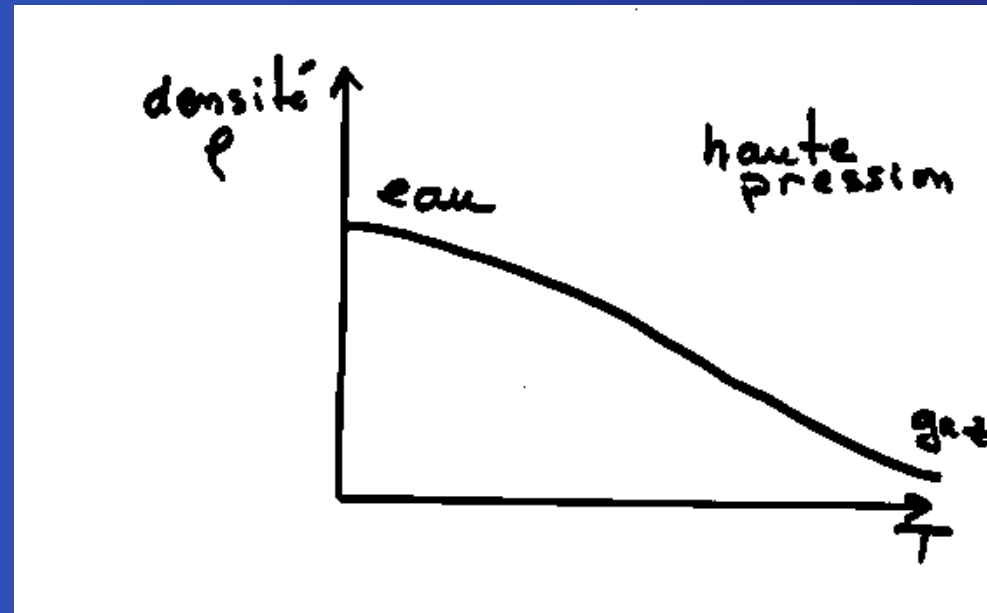


Du point de vue de la physique, pas de changement de symétrie

L'eau et le gaz (la vapeur) diffèrent par leur densité: un paramètre intensif, ρ

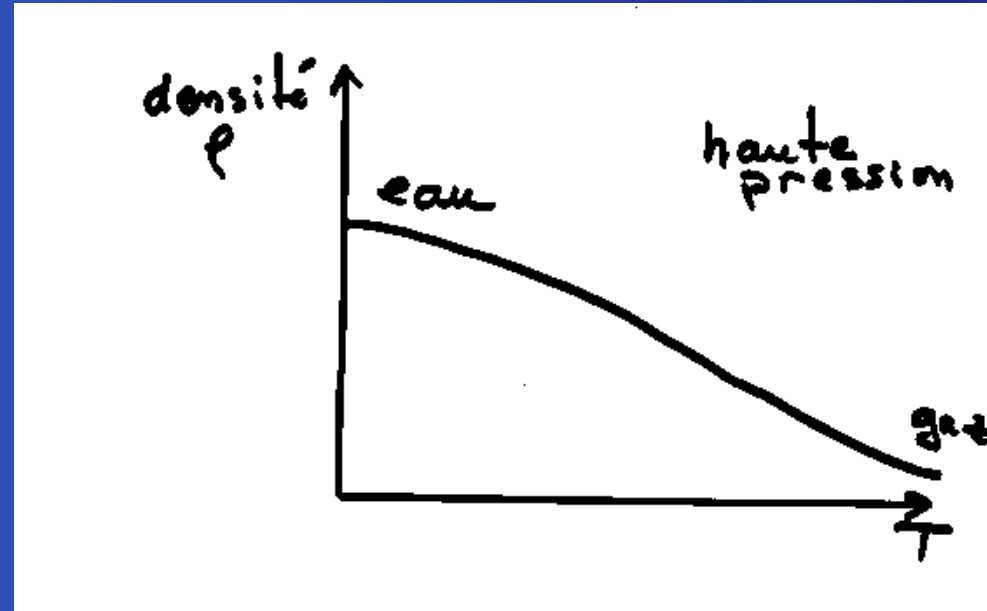
- saut discontinu de ρ à la transition
- irréversibilité
- pas de fluctuations près de la transition (Engels: passage du quantitatif au qualitatif)

Changement qualitatif de l'eau au gaz?



A haute pression, le passage de l'eau au gaz peut se faire de façon continue

Changement qualitatif de l'eau au gaz?

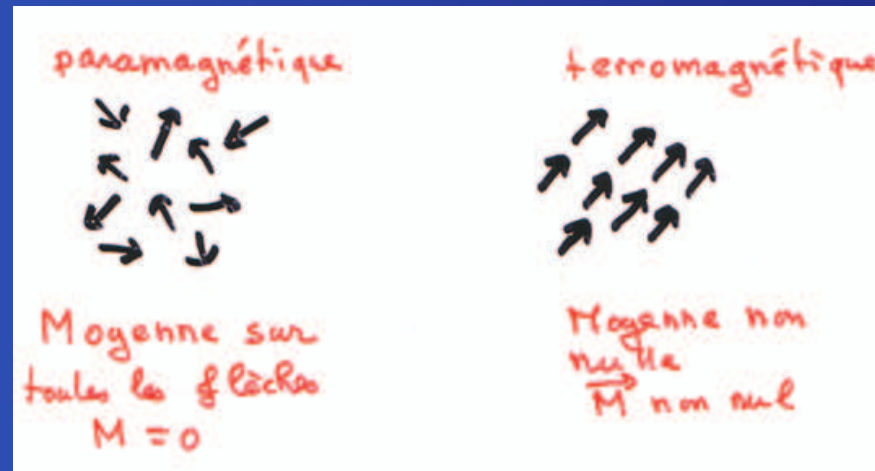


A haute pression, le passage de l'eau au gaz peut se faire de façon continue

Par certains aspects, l'eau et le gaz ne diffèrent que par des aspects quantitatifs

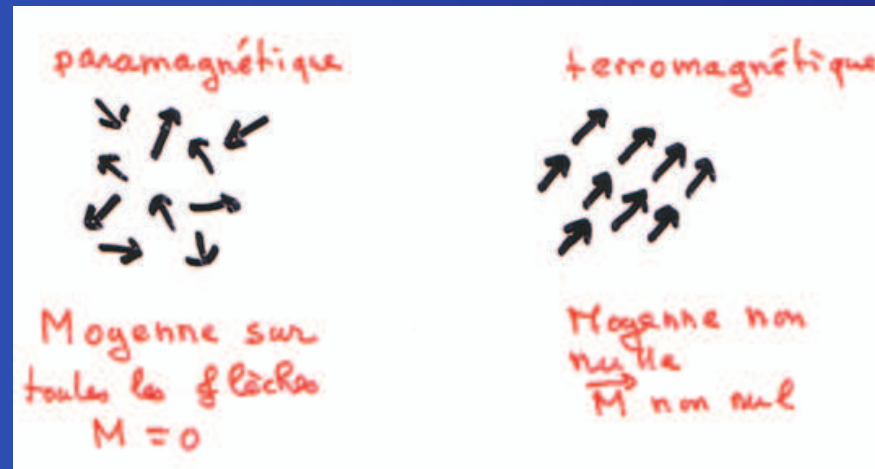
Paradigme du changement qualitatif

Transition paramagnétique ↔ ferromagnétique



Paradigme du changement qualitatif

Transition paramagnétique \leftrightarrow ferromagnétique



Ferromagnétisme

Paramagnétisme

- pas de direction privilégiée de l'espace
- système invariant par rotation

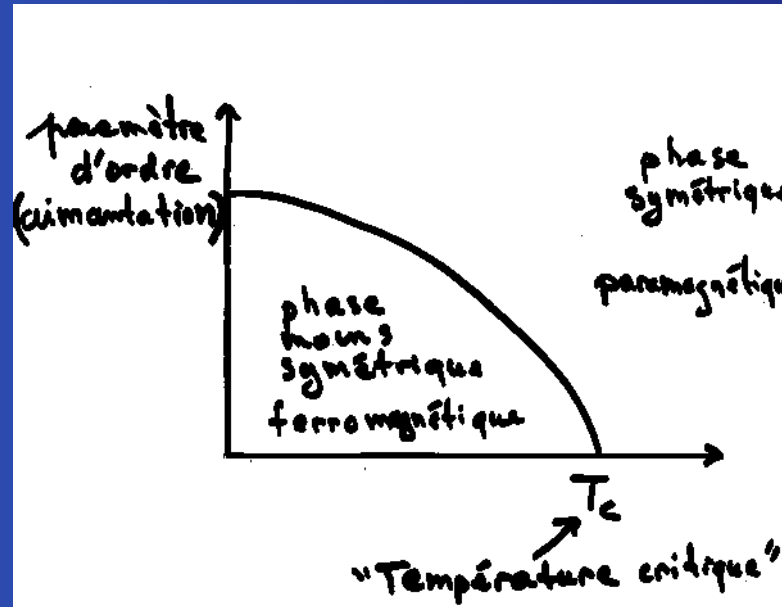
- une direction privilégiée s'établit spontanément à la température de transition
- le système ferromagnétique a perdu, dès la transition "l'invariance par rotation",

Ordre \leftrightarrow désordre

Brisure de symétrie ou non: compétition entre ordre et désordre

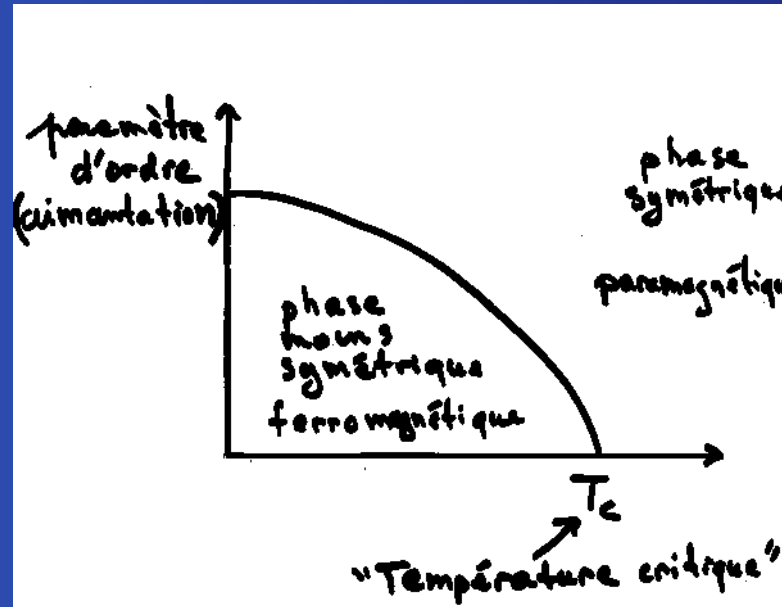
- l'énergie interne U veut de l'ordre
- l'entropie S favorise le désordre
- A une température T donné l'équilibre réalisé exprime un compromis entre U et $T \times S$ (produit de T par S)
- A haute température T , c'est le désordre qui domine
- A basse température, c'est l'ordre qui domine

Transition ferromagnétique I:



- le "paramètre d'ordre" (l'aimantation) a une DIRECTION, un sens, et une INTENSITÉ

Transition ferromagnétique I:



- le "paramètre d'ordre" (l'aimantation) a une DIRECTION, un sens, et une INTENSITÉ

Transition ferromagnétique II:

Spécificité de la brisure de symétrie (suite)

- Le paramètre d'ordre va continuellement à zéro. Il s'annule à la "température critique"
- A partir des hautes températures, la qualité nouvelle de l'espace (apparition d'une direction, brisure de la symétrie de rotation) apparaît de façon discontinue, mais avec une intensité infinitésimale

Transition ferromagnétique II:

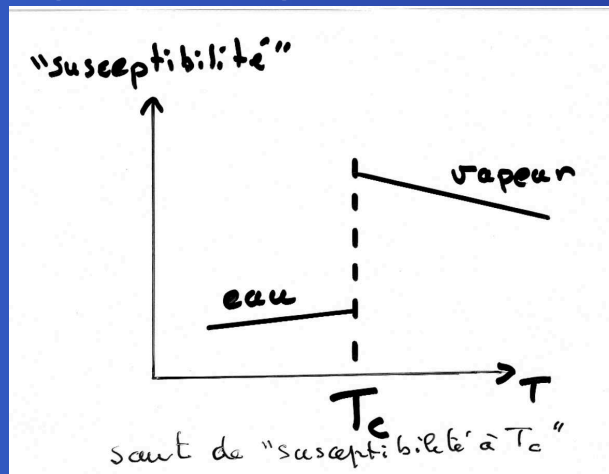
Spécificité de la brisure de symétrie (suite)

- Le paramètre d'ordre va continuellement à zéro. Il s'annule à la "température critique"
- A partir des hautes températures, la qualité nouvelle de l'espace (apparition d'une direction, brisure de la symétrie de rotation) apparaît de façon discontinue, mais avec une intensité infinitésimale
- A la fois continuité et rupture
 - continuité quantitative:
M s'annule ou apparaît sans saut d'intensité
 - "rupture" qualitative : le changement de symétrie est discontinu...en quelque sorte.

Autour de la transition

quoi de neuf dans la "région critique"?

Concept de susceptibilité



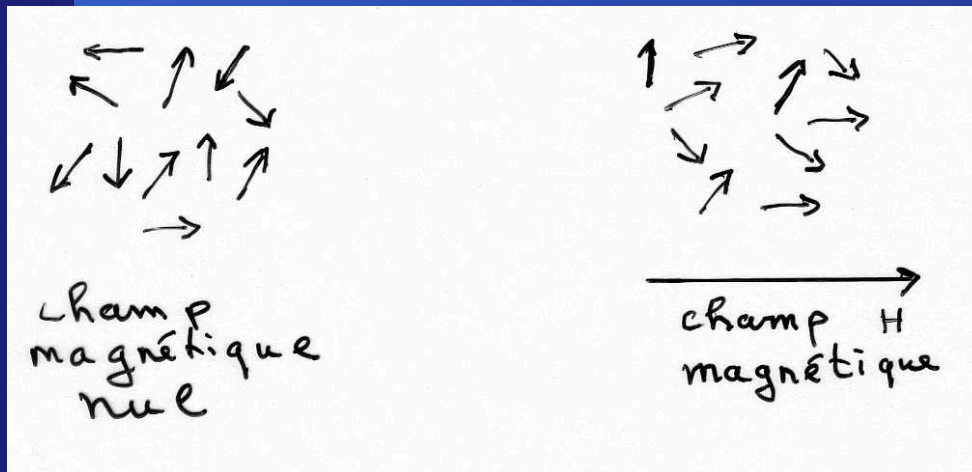
- Si on comprime un gaz, son volume diminue beaucoup
- Si on comprime l'eau, son volume diminue peu
- Pour la transition eau-gaz, a "susceptibilité" a un saut à la transition

Le gaz a une forte "susceptibilité" (en fait compressibilité)

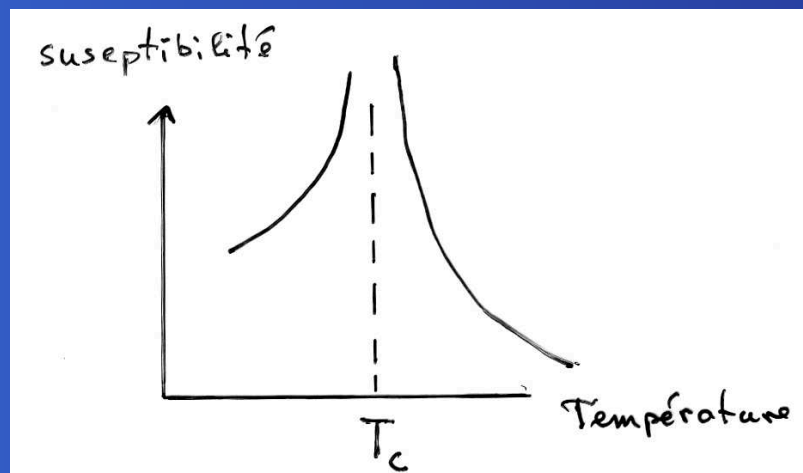
L'eau a une faible "susceptibilité" (compressibilité)

La susceptibilité magnétique décrit la réponse à un champ magnétique

Susceptibilité magnétique

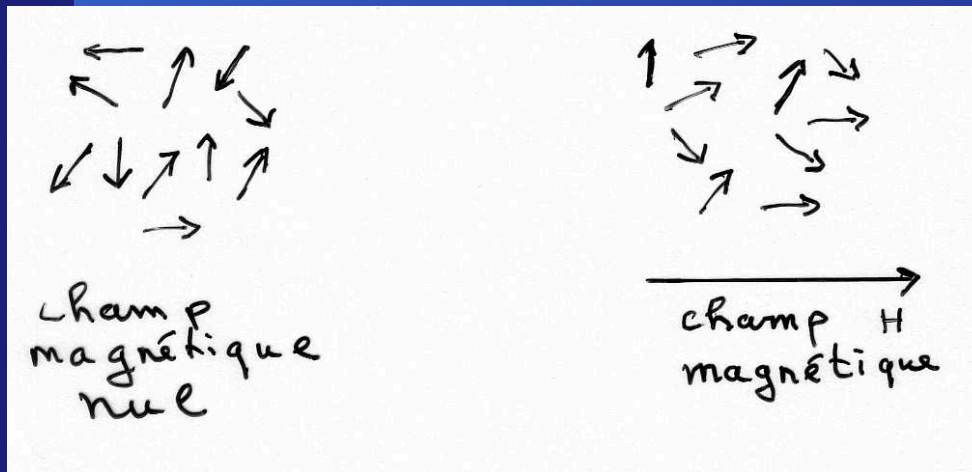


Le champ magnétique donne une orientation moyenne aux "atomes magnétiques"

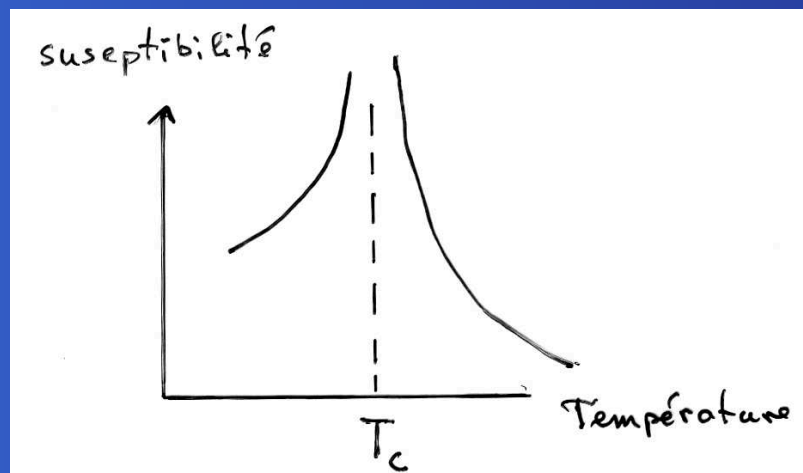


La susceptibilité devient infinie à la température critique

Susceptibilité magnétique



Le champ magnétique donne une orientation moyenne aux "atomes magnétiques"



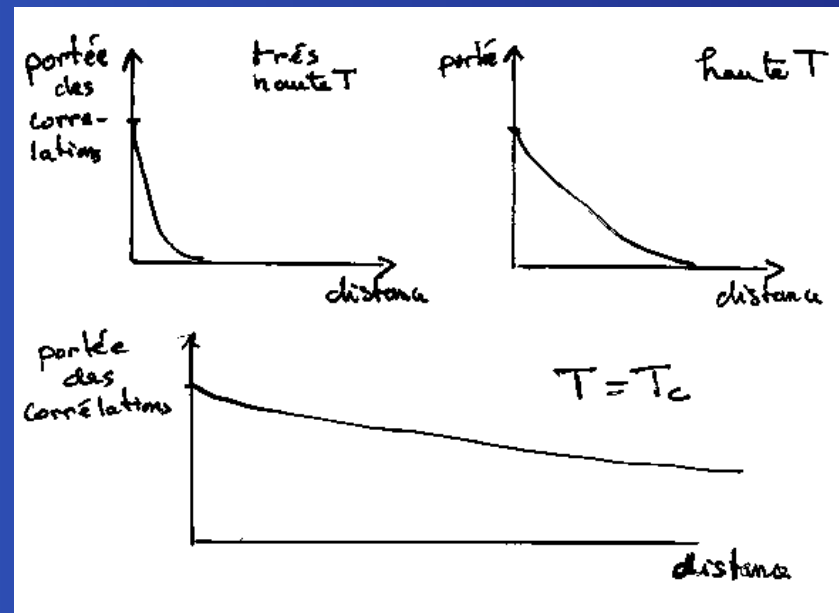
La susceptibilité devient infinie à la température critique

Corrélations

Si une grève éclate à Roubaix, que se passe-t-il à Lille? à Rouen? à Marseille? à Tombouctou?

Corrélations

Si une grève éclate à Roubaix, que se passe-t-il à Lille? à Rouen? à Marseille? à Tombouctou?



A la transition magnétique, la portée des corrélations devient infinie
Rien de tel pour la transition discontinue: la portée des corrélations reste petite.

Commentaire

- Le changement eau \leftrightarrow gaz est discontinu: c'est une "transition de phase du premier ordre", sans brisure de symétrie
- Le changement qualitatif continu existe dans la nature.
- La classe (catégorie) des transitions de phase continues avec brisure de symétrie s'appelle: "transitions de phase du second ordre". Il en existe un grand nombre dans la nature.
- Au voisinage de la transition du second ordre, la réaction du système à un stimulus devient très grande
- Les corrélations (réactions à un stimulus local, à distance du lieu de stimulation) ont une portée infinie à la transition du second ordre. La portée reste finie pour une transition du 1er ordre
- Propriétés générales du changement qualitatif continu?