Différents types de matériaux magnétiques

Lien entre propriétés microscopiques et macroscopiques

- Dans un matériau magnétique, chaque atome porte un moment magnétique $\vec{\mu}$ (équivalent microscopique de l'aiguille d'une boussole).
- Dans un matériau paramagnétique, les moments magnétiques sont désordonnés. Par contre, ils sont ordonnés dans les matériaux ferromagnétiques et antiferromagnétiques.
- Un matériau magnétique est caractérisé par :

⇒ Son aimantation $\vec{M} = \sum_{\substack{volume \\ unité}} \vec{\mu}$

⇒ Sa susceptibilité $\chi = M / H_a$. χ est la réponse du composé au champ magnétique appliqué H_a.

This document and any data included are the property of Thales. They cannot be reproduced, disclosed or used without Thales' prior written approval.
©THALES 2005. Template trtcoen version 1.0.2

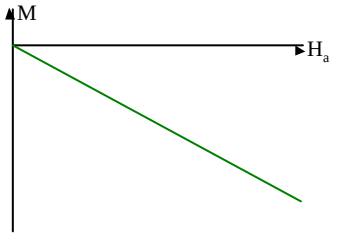
Diamagnétisme

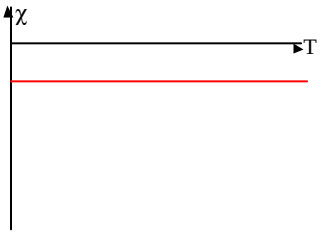
Un matériau diamagnétique est caractérisé par :

⇒ Une faible aimantation opposée au champ magnétique

⇒ Une susceptibilité négative et faible ($\chi \approx 10^{-5}$)

Le phénomène ne dépend pas de la température





Différents types de matériaux magnétiques

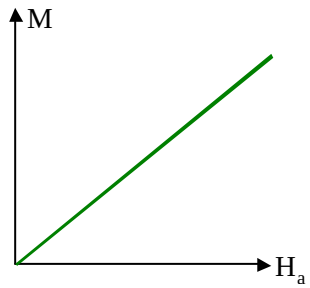
Paramagnétisme

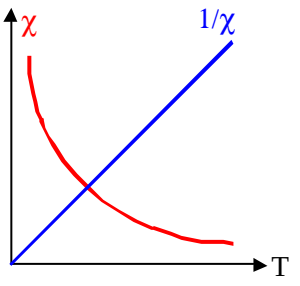
Un matériau paramagnétique est caractérisé par :

⇒ Une aimantation proportionnelle au champ appliqué

⇒ Une susceptibilité de l'ordre de 10^{-3}

Ce sont en général des composés formés d'atomes magnétiques isolés les uns des autres.





Différents types de matériaux magnétiques

Paramagnétisme

⇒ Lorsque l'on applique un champ magnétique, les moments s'orientent progressivement le long de celui-ci.

- La susceptibilité varie en 1/T. Elle suit une loi de Curie ($c = C/T$) ou une loi de Curie-Weiss ($c = C/(T-q)$) avec θ petit (θ≈10K).

  Les fluctuations thermiques désordonnent les moments : un plus fort champ est nécessaire pour obtenir la même aimantation.

Le paramagnétisme est observé dans des composés contenant des atomes magnétiques dilués.

CNRS UNIVERSITE PARIS-SUD 11 THALES

Ferromagnétisme

Un matériau ferromagnétique se caractérise par :

⇒ Une orientation spontanée des moments magnétiques sous l'action d'un champ extérieur.

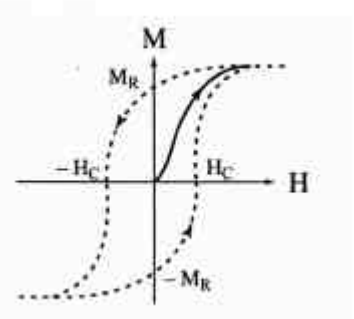
⇒ Une aimantation spontanée non nulle

- Lorsqu'on balaye un champ magnétique extérieur, on obtient une courbe d'aimantation ou cycle d'hystérésis caractéristique.

CNRS UNIVERSITE PARIS-SUD 11 THALES

Ferromagnétisme : cycle d'hystérésis

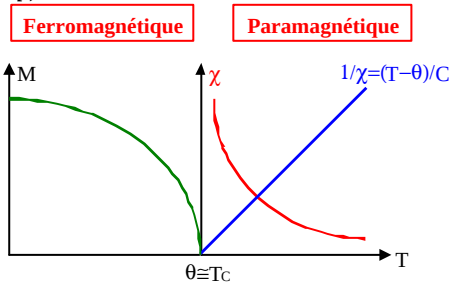
- Le composé ferromagnétique est caractérisé, via sa courbe d'aimantation, par les paramètres suivants :
  - L'aimantation rémanente M_R (M(H=0))
  - Le champ coercitif (H(M=0))
  - Le champ de saturation H_s. Tous les moments sont parallèles au champ lorsque $H \geq H_s$.
  - L'aimantation à saturation M_s ($M(H \geq H_s)$)



Différents types de matériaux magnétiques

Ferromagnétisme : évolution en température

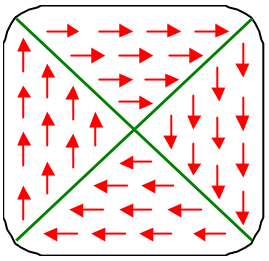
- Lorsque la température augmente, les fluctuations thermiques désordonnent les moments et l'aimantation spontanée diminue. Au dessus de la température de transition de Curie T_C, l'arrangement des moments devient aléatoire et le composé passe dans l'état paramagnétique. La susceptibilité suit une loi de Curie-Weiss ($c = C/(T-q)$) avec θ très grand ($\theta \cong T_C \approx 1000K$)



Différents types de matériaux magnétiques

Ferromagnétisme : domaines magnétiques

♦ Dans un composé ferromagnétique macroscopique, l'aimantation préfère se scinder en domaines afin de minimiser l'énergie magnétostatique. En l'absence de champ, l'aimantation totale devient nulle. Dans chaque domaines, tous les moments sont parallèles.



domaine

paroi de domaine

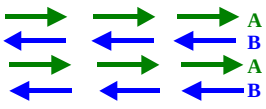
Voir cours d'Alexandra Mougin

CNRS UNIVERSITE PARIS-SUD 11 THALES

Antiferromagnétisme

Un matériau antiferromagnétique se caractérise par :

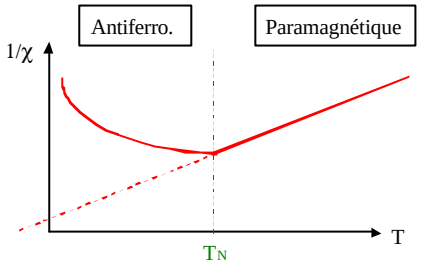
♦ l'existence de deux sous-réseaux A et B : une interaction tend à rendre parallèle les moments de chacun des sous-réseau. Une interaction négative entre le sous-réseau A et le sous-réseau B (qui s'oppose au champ magnétique) tend à orienter de manière antiparallèle les deux sous-réseaux.



CNRS UNIVERSITE PARIS-SUD 11 THALES

Antiferromagnétisme

- Lorsque la température augmente, les fluctuations de thermiques aident à vaincre l'interaction négative. La susceptibilité augmente.
- Au dessus de la température de transition de Néel T_N, le composé devient paramagnétique. . La susceptibilité suit alors une loi de Curie-Weiss ($c = C/(T-q)$) avec θ grand et négatif (interaction qui s'oppose au champ)

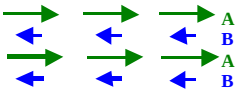


Ferrimagnétisme

Un matériau ferrimagnétique se caractérise par :

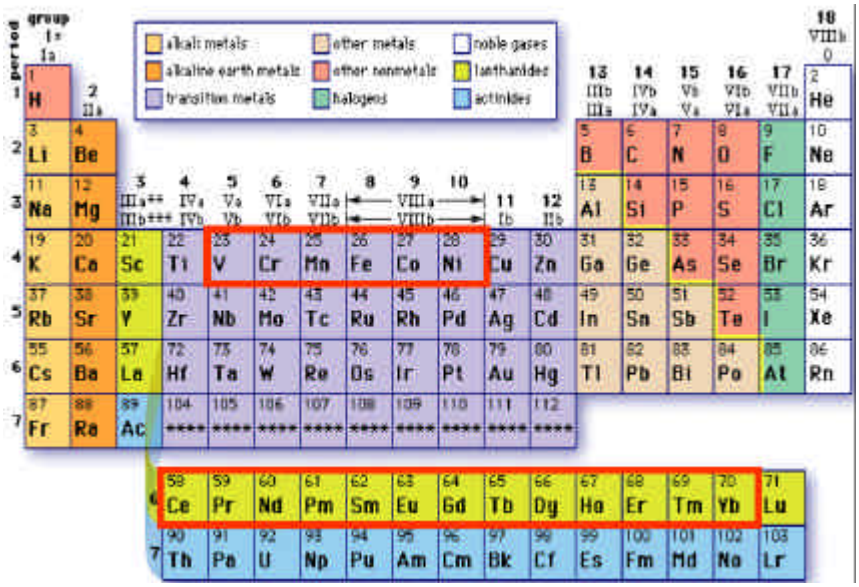
⇒l'existence de deux sous-réseaux d'aimantation anti-parallèle

⇒non compensation des moments des deux sous-réseaux, d'où l'existence d'une aimantation spontanée.



- Comportement très proche de celui d'un ferromagnétique
- Lorsque la température augmente, les fluctuations thermiques détruisent l'arrangement des spins et l'aimantation diminue. Au dessus de la température de Curie T_C, le composé devient paramagnétique et la sussceptibilité suit une loi de Curie-Weiss.

Propriétés magnétiques des éléments simples



Différents types de matériaux magnétiques