

## Texte 5 : Ferromagnétisme

### Exercice 1 : ferromagnétisme - modèle du champ moyen de Weiss

Un milieu contenant  $n$  atomes par unité de volume est soumis à un champ magnétique extérieur  $\vec{B}_a = B_a \vec{e}_z$ . On considère le cas d'atomes avec un électron célibataire. Chaque atome a un moment magnétique  $\vec{\mu} \neq \vec{0}$ . Celui-ci est quantifié et sa projection selon  $\vec{B}_a$  notée  $\mu_z$  peut prendre deux valeurs  $+\mu_B$  et  $-\mu_B$  avec  $\mu_B$  le magnéton de Bohr.

1. Dans le cas où on néglige les interactions des moments magnétiques entre eux, on rappelle que l'aimantation volumique du milieu se met sous la forme (théorie de Brillouin du paramagnétisme) :  $M = M_\infty \text{th}(X)$  avec  $X = \mu_B B_a / k_B T$  avec  $k_B$  la constante de Boltzmann et  $T$  la température du milieu. Tracer l'aimantation volumique  $M$  en fonction de  $X$ . Que représente  $M_\infty$  ? Rappeler son expression.

Dans le modèle du champ moyen de Weiss, l'interaction d'échange entre les moments magnétiques d'un milieu ferromagnétique est supposée être équivalente à l'action d'un champ magnétique supplémentaire  $\vec{B}_e = \mu_0 \lambda \vec{M}$  proportionnel à l'aimantation volumique  $\vec{M}$ . On traite alors chaque moment magnétique comme indépendant et soumis au champ total  $\vec{B} = \vec{B}_a + \vec{B}_e$  où  $\vec{B}_a$  est le champ extérieur appliqué. On applique ensuite la théorie de Brillouin.

2. Montrer qu'aux hautes températures, le milieu se comporte comme un paramagnétique dont on calculera la susceptibilité  $\chi_m$ . Montrer que la susceptibilité obéit à une loi de Curie-Weiss  $\chi_m = C / (T - T_c)$  et déterminer la température de Curie  $T_c$ .

3. En utilisant le graphe de  $M/M_\infty = \text{th}(X)$ , montrer qu'en absence de champ appliqué, une aimantation spontanée  $M_{sp}$  non nulle peut exister, moyennant une condition sur la température.

### Exercice 2 : paramagnétique, diamagnétique ou ferromagnétique ?

Les substances suivantes sont-elles paramagnétique, diamagnétique ou ferromagnétique ? Justifier.

- hydrogène H ;
- argon Ar ;
- lithium Li ;
- nickel Ni
- dihydrogène  $H_2$