

LP-45 : Paramagnétisme, ferromagnétisme,  
approximation du champ moyen

2019-2020

## Rappel sur l'aimantation

$$B = \mu_0(H + M) \quad \text{et} \quad M = \chi_m H$$

$$B = \mu_0 \frac{M(1 + \chi_m)}{\chi_m} \quad \text{\$} \quad M = \frac{B}{\mu_0} \frac{\chi_m}{1 + \chi_m}$$

Pour les corps paramagnétiques,  $\chi_m \ll 1$  :

$$M = \frac{B}{\mu_0} \chi_m$$

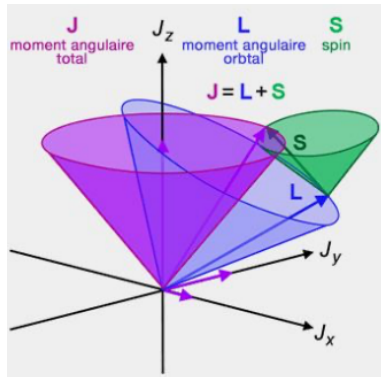
# Ordres de grandeur de la susceptibilité magnétique

Type de matériau	Ordre de grandeur de $m$
Diamagnétique	$10^{-5}$
Paramagnétique	$10^{-2}$
Ferromagnétique	$10^2$ à $10^6$

Table 1: Ordres de grandeur de la susceptibilité magnétique

# Interaction électrostatique et spin orbite

- | L lié au moment cinétique orbital total :  $L = \sum_{i=1}^n l_i$
- | S lié au moment cinétique de spin total :  $S = \sum_{i=1}^n s_i$
- | J est lié au moment cinétique total  
 $J = \sum_{i=1}^n j_i = \sum_{i=1}^n (l_i + s_i)$



## Quantification du moment magnétique de l'atome : Exemple avec l'oxygène

$$\begin{aligned}
 | \quad n &= 2 \quad | \quad l = 0; 1 \\
 | \quad M_L &= \sum_{i=1}^n m_l \quad | \quad L = 0 \\
 | \quad m_s &= -1; 2 \quad \text{et} \quad M_S = \sum_{i=1}^n m_s = -1; 0; +1 \\
 | \quad S &= 1 \quad | \quad S_Z = M_S \quad | \quad S_Z = -1; 0; +1
 \end{aligned}$$

Ainsi comme  $J = S + L$  et  $L = 0$  on a  $J = S$

# Fonction de Brillouin

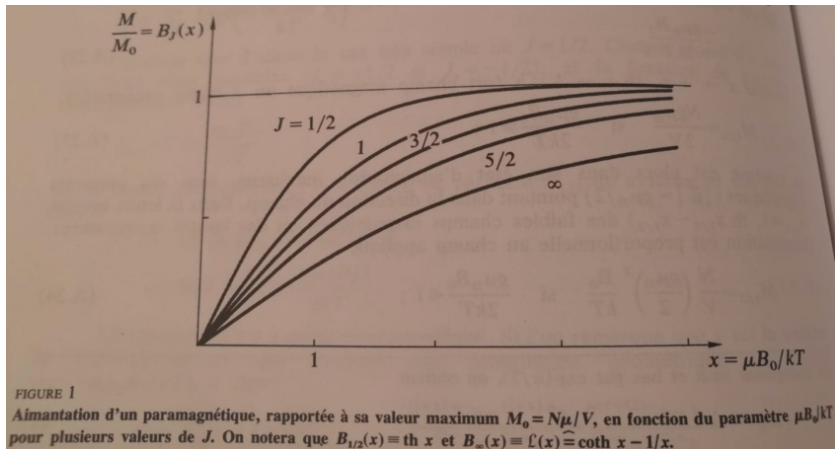


Figure 1: fonction de Brillouin

# Origine microscopique du ferromagnétisme

Élément ferromagnétique	Température de Curie (K)
Fe	1043
Co	1388
Ni	627

Table 2: Température de Curie de plusieurs éléments ferromagnétiques

- Comparé au 0,6 K trouvé auparavant, cela prouve que les interactions dipolaires entre les moments magnétiques de l'atome sont insuffisantes pour expliquer le ferromagnétisme.

# Origine microscopique du ferromagnétisme

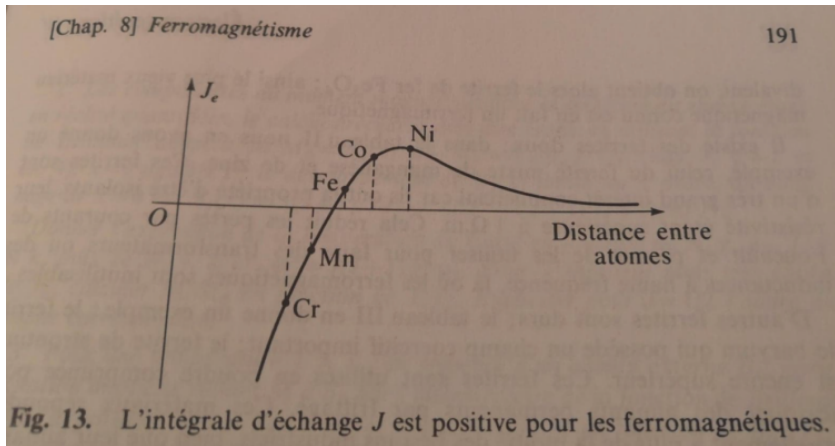


Figure 2: Intégrales d'échange pour les matériaux ferromagnétiques



## Résolution de l'équation d'auto cohérence

On a :

$$M = \frac{1}{2} n g_B \tanh \left( \frac{g_B B}{2 k_B T} \right) M$$

Soit  $M_1$  l'aimantation maximale (à saturation) :

$$M_1 = \frac{1}{2} n g_B$$

On note :

$$\frac{M}{M_1} = \tanh \left( \frac{g_B B}{2 k_B T} \right) \frac{M}{M_1} = \tanh \left( \frac{J_{e^{-2}}}{2 k_B T n g_B} \right) \frac{M}{M_1}$$

## Résolution de l'équation d'auto cohérence

On la résout graphiquement en traçant :

$$\frac{M}{M_1} = th(x)$$

et

$$\frac{M}{M_1} = \frac{4k_B T}{J_e} x$$

avec :  $x = \frac{\rho J_e \tilde{z}^2}{2k_B T n g \mu_B}$

