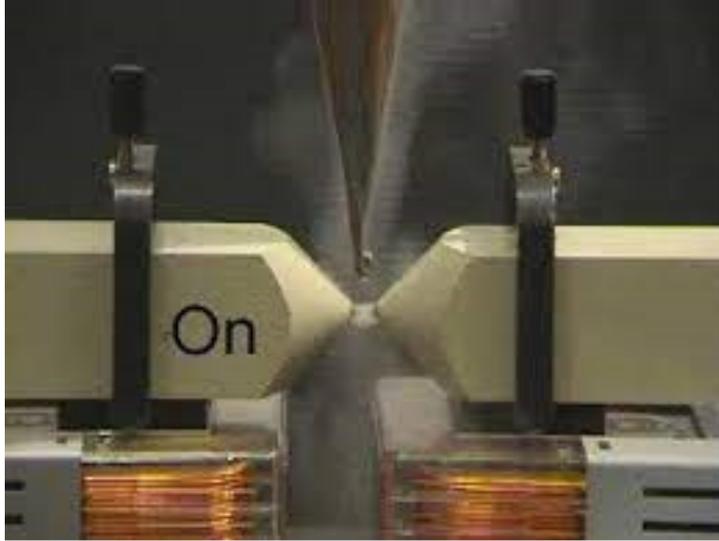


Milieux magnétiques, diamagnétisme, paramagnétisme et ferromagnétisme

Niveau : L3

Prérequis

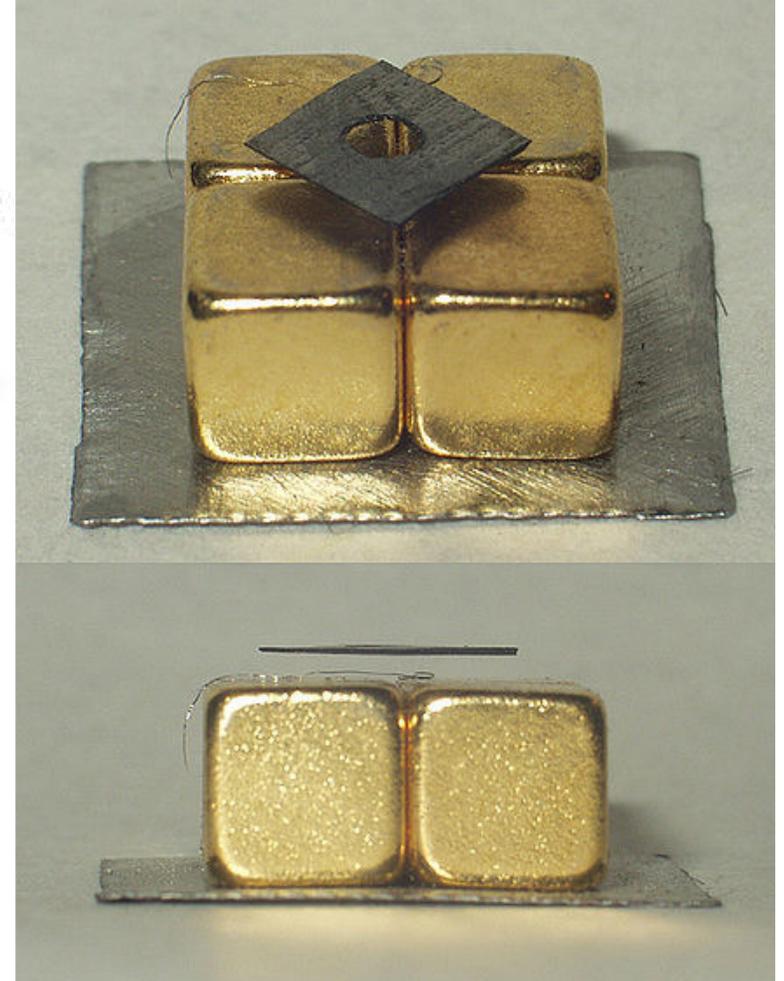
- Equations de Maxwell dans les milieux
- Ensemble et distribution canonique



Paramagnétisme du dioxygène



**Comment expliquer ces
différentes propriétés des milieux
magnétiques ?**



*Lévitacion de carbone pyrolytique au-dessus
d'aimants permanents*

Rappels sur l'électromagnétisme des milieux

- On définit l'aimantation, \vec{M} , d'un corps comme sa densité volumique de moments magnétiques :

$$\vec{M} = \frac{d\vec{m}}{dV}$$

- Nous avons introduit dans les cours précédents les champs \vec{E}, \vec{B} dans les milieux, nivelés, tels que :

$$\operatorname{div}(\vec{E}) = \frac{\langle \rho_{\text{micro}} \rangle}{\epsilon_0} \quad \overline{\operatorname{rot}}(\vec{E}) = -\frac{d\vec{B}}{dt} \quad \overline{\operatorname{rot}}(\vec{B}) = \mu_0 \langle \vec{J}_{\text{micro}} \rangle + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt} \quad \operatorname{div}(\vec{B}) = 0$$

Où sont des moyennes spatiales et nous avons montré :

$$\langle \vec{J}_{\text{micro}} \rangle = \vec{J}_{\text{libre}} + \vec{J}_{\text{liée}} \quad \langle \rho_{\text{micro}} \rangle = \rho_{\text{libre}} + \rho_{\text{lié}}$$

$$\vec{J}_{\text{liée}} = \frac{\partial \vec{P}}{\partial t} + \overline{\operatorname{rot}}(\vec{M}) \quad \rho_{\text{lié}} = -\operatorname{div}(\vec{P})$$

Sous ces hypothèses les équations de Maxwell dans les milieux se réécrivent, dans un milieu magnétique non diélectrique :

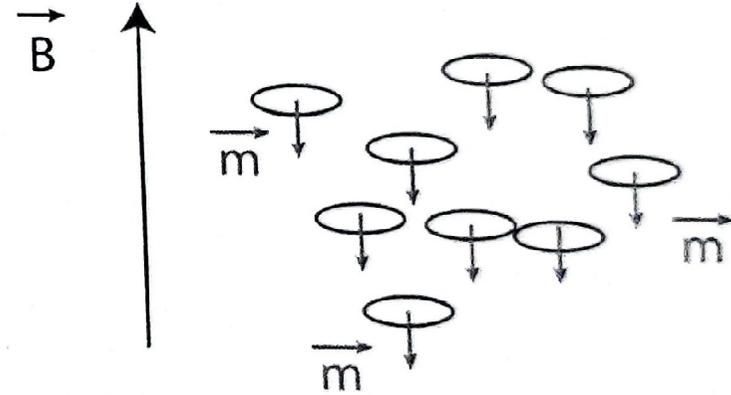
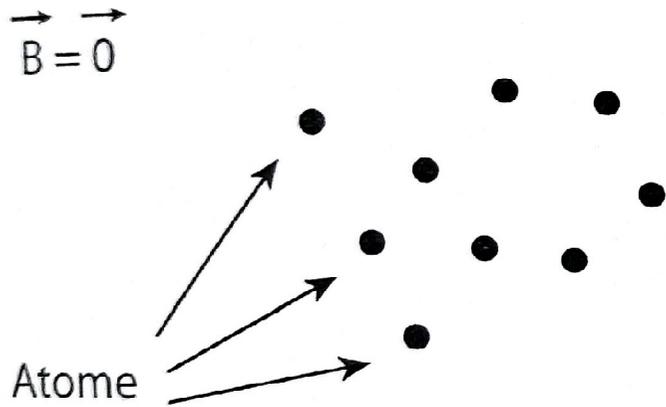
$$\operatorname{div}(\vec{E}) = \frac{\rho_{\text{libre}}}{\epsilon_0} \quad \overline{\operatorname{rot}}(\vec{E}) = -\frac{d\vec{B}}{dt}$$

$$\operatorname{div}(\vec{B}) = 0 \quad \overline{\operatorname{rot}}(\vec{H}) = \vec{J}_{\text{libre}} + \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt}$$

Où :

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$$

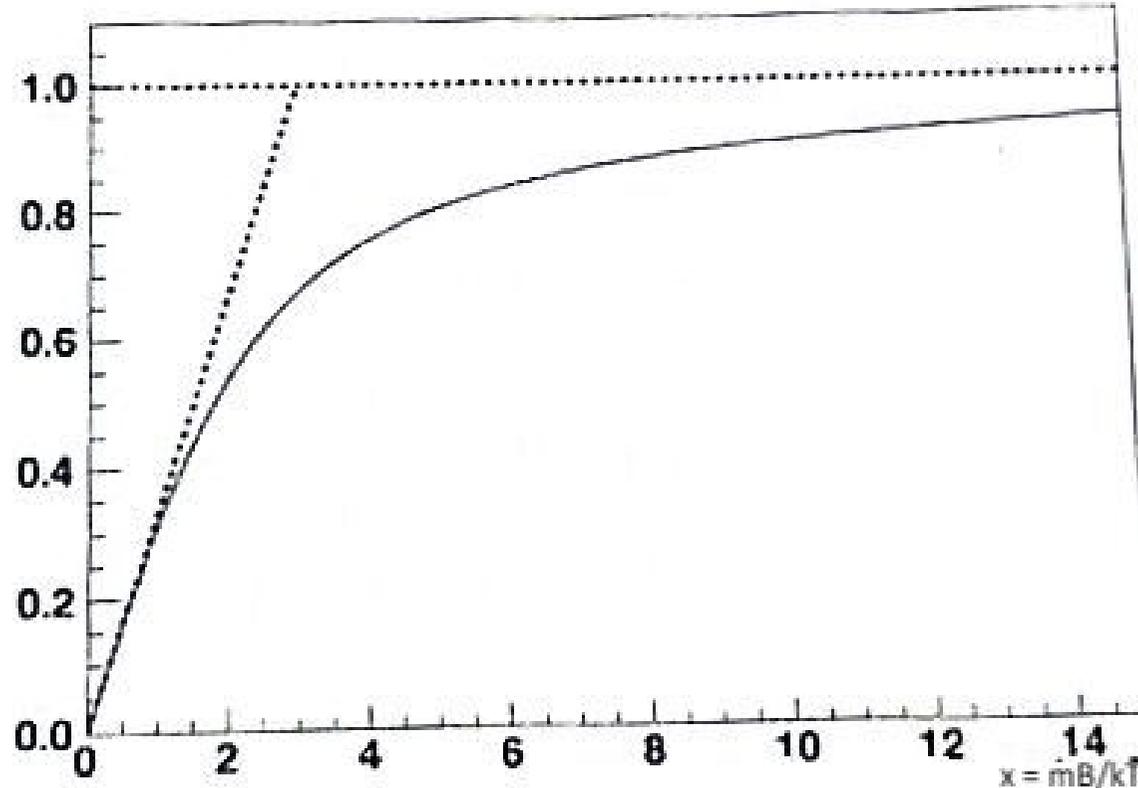
Approche classique du diamagnétisme



On considère un gaz d'atomes, de densité n , tel que les atomes étudiés ne portent pas de moment magnétique permanent. Les atomes sont traités comme des objets classiques. On applique un champ $\mathbf{B}(\mathbf{t})$ suivant l'axe (Oz).

Approche classique du paramagnétisme

Fonction de Langevin :



La fonction de Langevin a pour asymptote $y = x/3$ aux basses valeurs de x .
Au voisinage de la température ordinaire : $x \ll 1$.

Donc :

$$\chi_m = \frac{\partial M}{\partial B} \mu_0 = \mu_0 \frac{nm^2}{3k_B T}$$

Susceptibilité magnétique d'un solide paramagnétique à basse température

Approche quantique du paramagnétisme

La fonction de partition d'un atome vaut :

$$z = \sum_{J_z = -J}^{+J} \exp\left(-\frac{g\mu_B B_0}{kT} J_z\right) \quad z_J = \frac{\text{sh}\left[\frac{g\mu_B B_0}{kT} \left(J + \frac{1}{2}\right)\right]}{\text{sh}\frac{g\mu_B B_0}{2kT}}$$

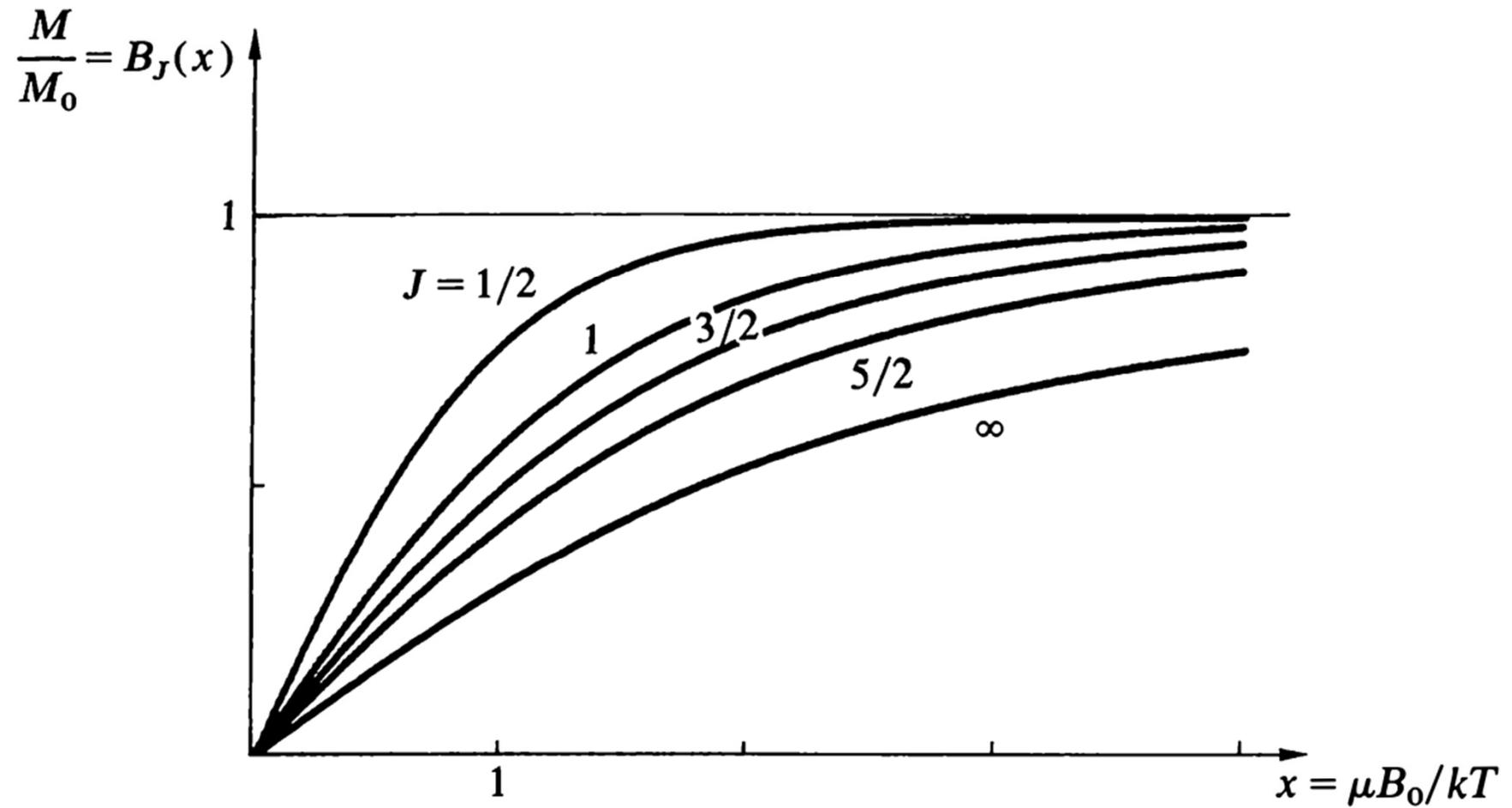
Ainsi :

$$M_J = \frac{N}{V} g\mu_B J B_J\left(\frac{g\mu_B J B_0}{kT}\right)$$

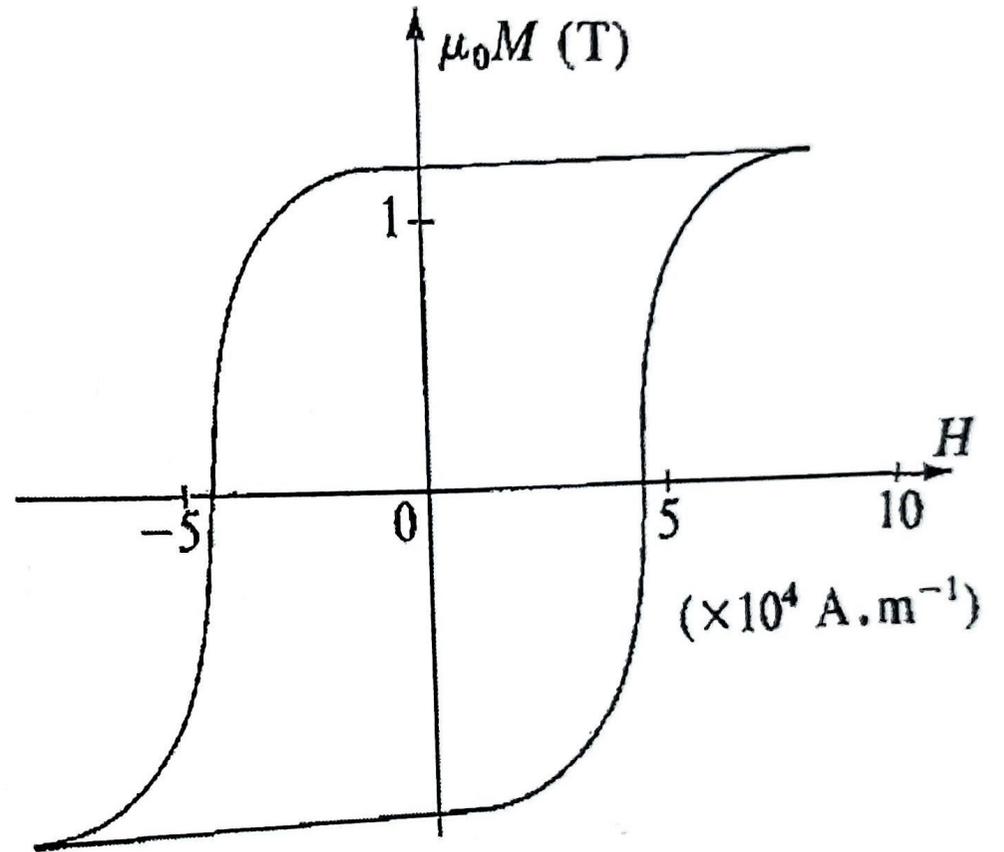
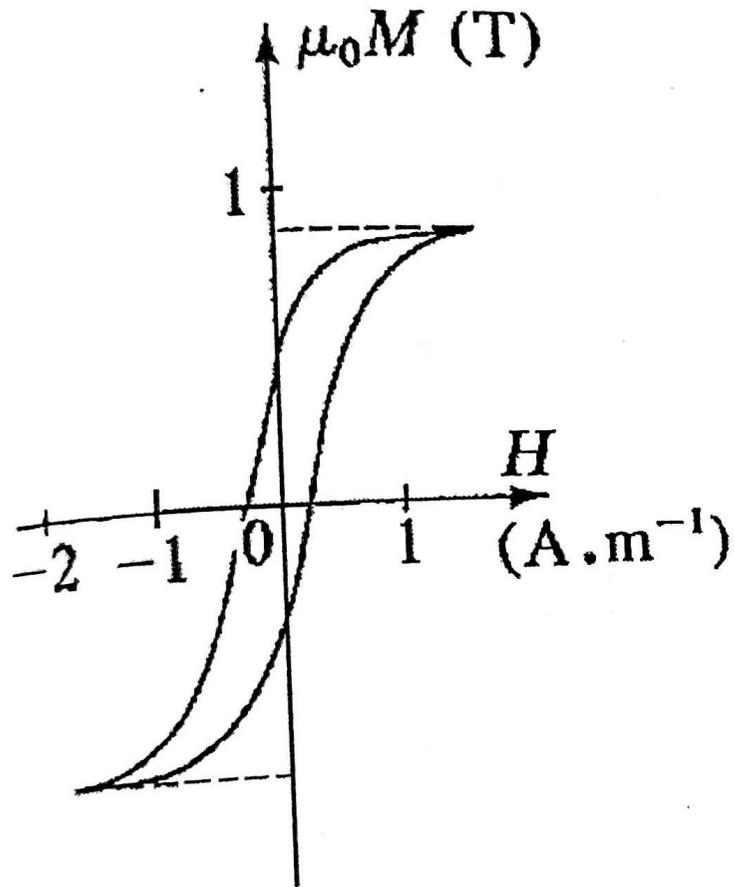
Où B_J est la fonction de Brillouin d'ordre J , définie par :

$$B_J(x) \hat{=} \frac{2J+1}{2J} \coth\left(\frac{2J+1}{2J} x\right) - \frac{1}{2J} \coth\frac{x}{2J}$$

Allure de la fonction de Brillouin



Cycle d'hystérésis de matériaux ferromagnétiques



Bibliographie des images

- Lévitacion carbone pyrolytique : [wikipédia](#)
- Aimant : [acrcouture.com](#)
- Paramagnétisme du dioxygène :
[dailymotion.com](#)