

# Retournement de l'aimantation d'une petite particule ferromagnétique de Co

13 mai 2024

On considère un petit grain de Cobalt d'aimantation spontanée  $M_s$ . La particule a la forme d'un ellipsoïde de révolution allongé selon OZ dont le rapport  $r = c/a$  vaut 10. Le coefficient de champ démagnétisant  $N_{ZZ}$  dans la direction OZ du grand axe vaut 0.02 (voir annexe). On suppose l'existence d'une anisotropie magnéto-cristalline uniaxiale parallèle à l'axe OZ. Les paramètres du matériau sont les suivants :

1. l'aimantation à la saturation  $M_s = 1.4 \cdot 10^6 A/m$  ( $\mu_0 M_s = 1.76T$ ),
2. la constante de l'anisotropie magnéto-cristalline  $K_u = 5 \cdot 10^5 J/m^3$ ,
3. la constante d'échange  $A = 2 \cdot 10^{-11} J/m$ .

On note  $\mathbf{H}_0$ , le champ magnétique appliqué.

## 1 Particule monodomaine

On suppose que la particule est uniformément aimantée (monodomaine magnétique).

1. Quelle est son énergie magnétostatique (démagnétisante) ?
2. Quelle est l'énergie totale de la particule ?
3. Quelle est la direction de l'aimantation en champ appliqué nul ?
4. Calculer la hauteur de la barrière d'énergie empêchant le retournement de l'aimantation en champ appliqué nul. Que peut-on en déduire sur le comportement de l'aimantation en fonction de la température ? Calculer la taille de la particule pour que l'énergie de la barrière soit égale à l'énergie thermique  $k_B T$  à l'ambiante ( $T_a = 300K$ ).
5. On se place à température nulle. On suppose qu'en champ appliqué nul, l'aimantation de la particule pointe dans la direction OZ. On applique ensuite un champ  $H_0$  dans la direction opposée. Pour quelle valeur de  $H_0$ , la direction de l'aimantation basculera-t-elle de la direction +OZ à la direction -OZ ?
6. Tracer la courbe donnant l'aimantation mesurée selon OZ en fonction de la valeur de  $H_0$  (positif ou négatif).

7. On applique maintenant le champ appliqué perpendiculaire à Z. Tracer la courbe donnant l'aimantation mesurée selon le champ en fonction de la valeur de  $H_0$  (positif ou négatif). La comparer à celle de la question précédente.

## 2 Particule à deux domaines

On considère la configuration où un grain est constitué de deux domaines d'aimantation opposée selon OZ et -OZ de taille égale, séparés par une paroi plane en forme d'ellipse de grand axe  $2c$  et de petit axe  $2a$ . On supposera que l'énergie magnétostatique de cette configuration à deux domaines est **grossièrement** égale à la moitié de celle calculée dans le paragraphe précédent. On introduira  $\gamma_p$  l'énergie de paroi par unité de surface (paroi de type linéaire). Le champ appliqué est nul.

8. Montrer qu'il existe une dimension critique notée  $a_c$  en dessous de laquelle la configuration la plus stable est celle du monodomaine.
9. Donner l'expression de  $a_c$  en fonction de  $\gamma_p$ ,  $N_{ZZ}$ ,  $\mu_0 M_s$ . Calculer  $a_c$  dans le cas du Cobalt.

## 3 Annexe : tenseur démagnétisant dans un ellipsoïde

On suppose que la particule de forme ellipsoïdale est **uniformément aimantée**. Le champ démagnétisant s'exprime alors sous la forme  $\mathbf{H}_d = -\bar{\bar{N}}\mathbf{M}$  où  $\bar{\bar{N}}$  est le tenseur (matrice) de champ démagnétisant. Il vérifie toujours la propriété  $Tr \bar{\bar{N}} = N_{XX} + N_{YY} + N_{ZZ} = 1$ . Il est **diagonal uniquement quand** le repère OXYZ coïncide avec les axes principaux de l'ellipsoïde.

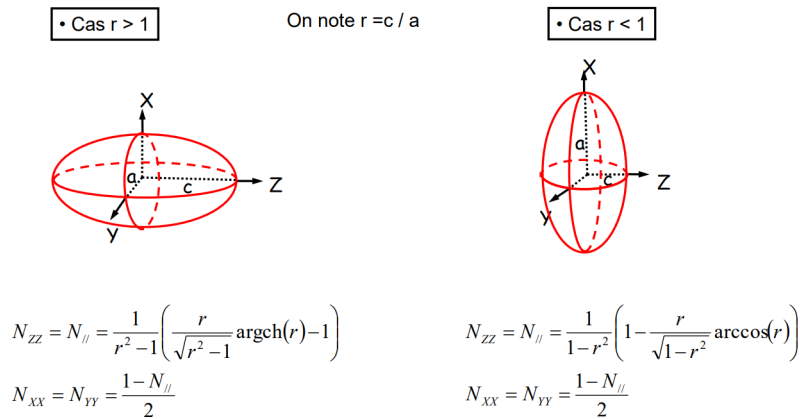


FIGURE 1 – Coefficients du tenseur démagnétisant.