

ÉTUDE DES EFFETS MAGNÉTO-OPTIQUES ET OPTIQUES DES NANOPARTICULES MAGNÉTIQUES DE FERRITE DE COBALT

N. LAMAÏ^{1*}, F. ROYER², J. P. CHATELON², D. JAMON²,
S. NEVEU³ et J. J. ROUSSEAU²

¹*Institut National Supérieur des Sciences et Techniques d'Abéché,
BP 130 Abéché, Tchad*

²*Université de Lyon, F-42023 Saint-Etienne, Université de Saint-Etienne,
Jean Monnet, F-42000 Saint-Etienne, France LaHC UMR 5516*

³*Laboratoire PHENIX, Université Pierre et Marie Curie, UMR 8234,
4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, France*

* Correspondance, e-mail : lamaïhubert@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Les nanoparticules magnétiques sont des suspensions colloïdales stables dispersées dans un liquide porteur, et ayant une taille nanométrique de l'ordre de 3-30 nm. Depuis plusieurs années, les recherches sur les effets magnéto-optiques et optiques (rotation Faraday, transmittance et facteur de mérite) des nanoparticules magnétiques (ou ferrofluides) suscitent une curiosité renouvelée. C'est dans ce cadre que s'inscrit l'objectif de notre étude qui suit les activités du Laboratoire Hubert Curien de l'université Jean Monnet. Nous nous intéressons à discuter l'étude des effets magnéto-optique et optique de quatre différentes nanoparticules magnétiques de ferrite de cobalt diluées dans l'eau à une concentration volumique identique de 0,1 % obtenues selon le protocole mis au point par R. Massart au Laboratoire PHENIX de l'Université Pierre et Marie Curie.

Mots-clés : *nanoparticules magnétiques, ferrite de cobalt, rotation Faraday, transmittance, facteur de mérite.*

ABSTRACT

Study of optical and magneto-optical effects of magnetic cobalt ferrite nanoparticles

The magnetic nanoparticles are stable colloidal suspensions dispersed in a carrier liquid, and having a nanometric size of the order of 3-30 nm.

For several years, research on optical and magneto-optical effects (Faraday rotation, and transmittance of merit) magnetic nanoparticles (ferrofluids or) arouse a renewed curiosity. It is in this context that fits the purpose of our study that follows the activities of the Laboratory Hubert Curien University Jean Monnet. We are interested in discussing the study of magneto-optical and optical effects of four different magnetic nanoparticles of cobalt ferrite diluted with water to the same volume concentration of 0.1 % obtained according to the protocol developed by R. Massart at PHENIX Laboratory of the University Pierre and Marie Curie.

Keywords : *magnetic nanoparticles, cobalt ferrite, Faraday rotation, transmittance, factor of merit.*

I - INTRODUCTION

La première et plus ancienne méthode d'élaboration des nanoparticules magnétiques dispersées dans un liquide porteur [1, 2] a été développé par [3]. Pour notre étude, nous utilisons des nanoparticules magnétiques obtenues par voie chimique selon le protocole mis au point par [4]. Les ferrofluides obtenues par cette méthode utilisent des particules de magnétite (Fe_3O_4) ou de maghémite ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Notre étude porte sur des ferrofluides de ferrite de cobalt. Un ferrofluide est en général très absorbant pour la lumière visible et pour mettre en évidence. Ces effets magnéto-optiques et optiques[5], il est nécessaire de travailler sous faible épaisseur ($e = 1 \text{ mm}$) en solution diluée. Notre étude a pour intérêt, la mesure de la rotation Faraday des différents ferrofluides en phase homogène et pour une même concentration volumique, ainsi que la transmittance et ensuite le facteur de mérite qui permet de comparer leurs propriétés ; afin d'identifier le type de particules adéquates pour des applications visées.

II - MÉTHODOLOGIE

II-1. Synthèse de ferrofluide de ferrite de cobalt acide

La préparation des nanoparticules magnétiques de ferrite de cobalt selon le protocole mis au point par R. Massart consiste à faire co-précipiter des précurseurs en phase aqueuse de chlorures métalliques par action de la soude. Au laboratoire PHENIX, cette synthèse est faite du mélange de chlorure de fer (FeCl_3) et de chlorure de cobalt (CoCl_2) en proportion stœchiométrique [6] à température ambiante.

Après, la synthèse de ce mélange est transférée en milieu acide en ajoutant du nitrate ferrique $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$. Les particules ainsi obtenues sont ensuite lavées plusieurs fois à l'acétone et à l'éther ; et dispersées dans l'eau distillée. On obtient à la fin du ferrofluide acide stable.

II-2. Synthèse de ferrofluide citraté

Le ferrofluide citraté est préparé à partir du ferrofluide acide en ajoutant une quantité d'ions citrate de trisodium en excès. Le mélange est ensuite chauffé et agité pendant quelques minutes. Après de nouveaux lavages et dispersées dans l'eau, on obtient un ferrofluide citraté. Les caractéristiques des différents ferrofluides sont regroupées dans le **Tableau 1** suivant :

Tableau 1 : Caractéristiques des différents échantillons de ferrofluides

Ferrofluides de ferrite de cobalt	$\frac{[C_o]}{[F_e]}$	Φ (%)	Diamètre \approx nm	Traitement
S465-1Ci	0,4923	0,312	5	Citraté
S465-2		3,2	5	Acide
S451ACD	0,3774	0,1	20	Acide
S451B	0,725	0,1	20	Citraté

II-2-1. Dispositif expérimental

Afin de caractériser ces ferrofluides, un montage polarimétrique (**Figure 1**) pour la détermination de la rotation Faraday est décrit. La rotation Faraday est une rotation non réciproque de la polarisation rectiligne de la lumière dans un matériau soumis à un champ magnétique. Le montage polarimétrique est constitué d'une lampe qui envoie une source de lumière, qui après le polariseur est polarisée rectilignement et qui après l'échantillon est polarisée elliptiquement et dont les autres éléments vont nous permettre de déterminer ces deux paramètres : l'ellipticité ($\epsilon_F \sim I_{1F}$) et la rotation Faraday ($\theta_F \sim I_{2F}$) [7], ce qui nous intéresse.

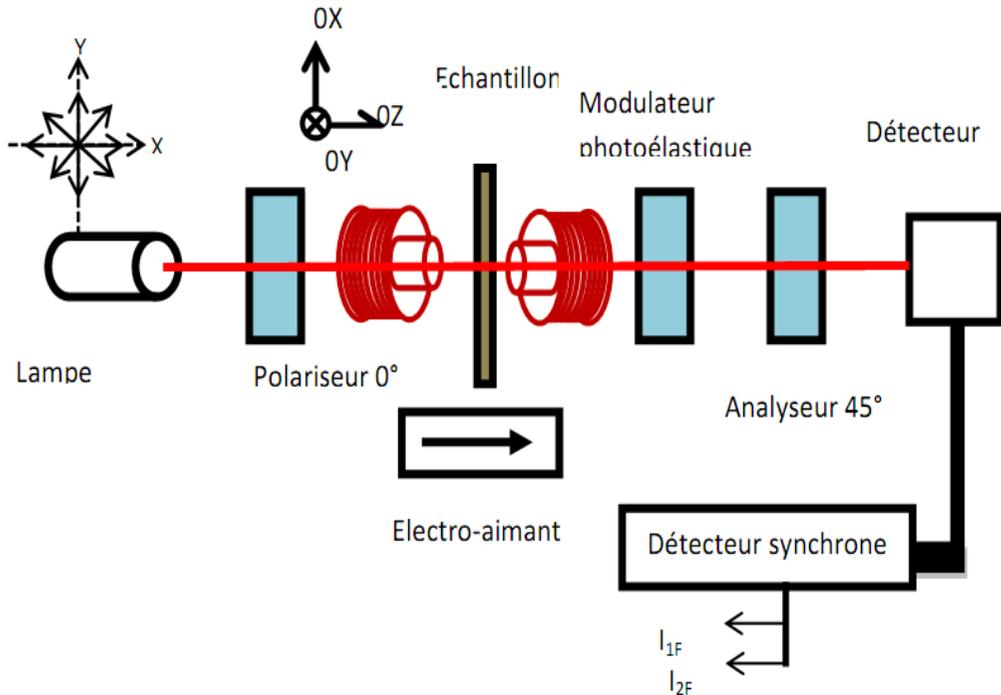


Figure 1 : Montage polarimétrique utilisant le modulateur photoélastique

Cette technique de caractérisation permet aussi la mesure de la transmittance dans la gamme spectrale (400-1600 nm), qui est le rapport de l'intensité lumineuse transmise (I) sur l'intensité lumineuse incidente (I_0). Le facteur de mérite peut également être calculé à partir de cette mesure par la prise en compte de la rotation Faraday spécifique et du coefficient d'absorption $\alpha = -\ln(T/100)$.

III - RÉSULTATS ET DISCUSSION

III-1. Rotation Faraday

Les produits utilisés sont des ferrofluides contenant des particules de ferrites de cobalt (CoFe_2O_4) en suspension stable dans l'eau à une concentration volumique de $\phi = 0,1 \%$. Les cellules utilisées sont d'épaisseur $e = 1\text{mm}$. Les résultats de mesure de la rotation Faraday sont présentés à la **Figure 2**. La mesure a été faite à la longueur d'onde de $\lambda = 820\text{nm}$ en fonction du champ magnétique appliqué.

Il ressort que pour ces différents ferrofluides, on a un comportement identique à savoir une saturation à fort champ et un comportement linéaire à faible champ. Le même comportement est observé en champ négatif. Une observation de ces courbes met en évidence l'existence parfaite de la réversibilité avec une absence d'hystérésis, ni d'aimantation rémanente, et donc peut être décrite comme la fonction de Langevin. L'écart visualisé s'explique par la différence de taille et aussi qu'il est plus facile d'orienter les petites tailles que les grosses tailles. Nous avons constaté que la valeur de l'aimantation à saturation la plus élevée est de $1,2^\circ$ soit $12^\circ/\text{cm}$ pour le ferrofluide acide de 20 nm et la plus petite de $3,6^\circ/\text{cm}$ pour un ferrofluide acide de 5 nm. Cette disparité s'explique par la différence du rapport stœchiométrique.

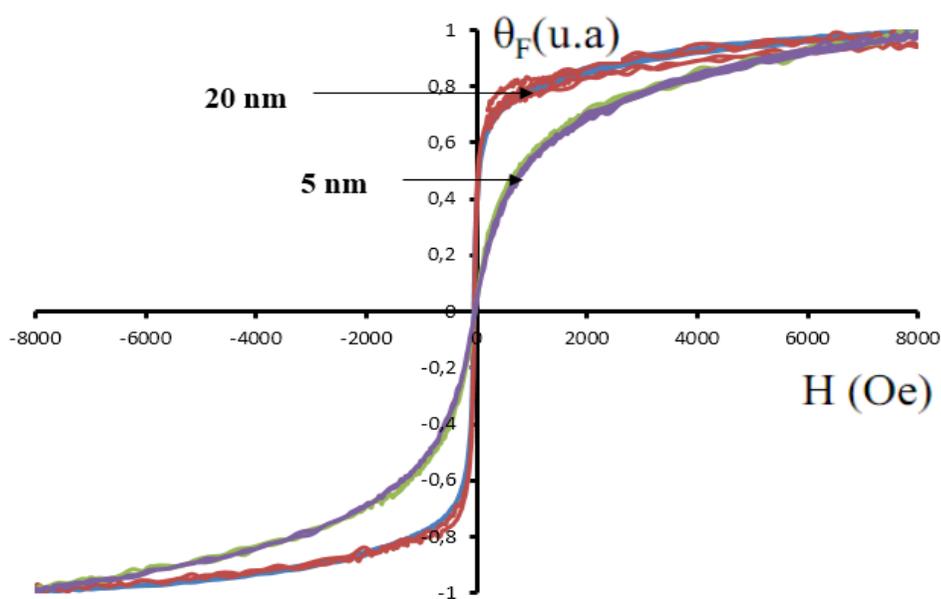


Figure 2 : Comparaison de la rotation Faraday normalisée des quatre échantillons

III-2. Transmittance

L'un des paramètres importants pour l'étude et l'application optique est la transmittance. Cette transmittance a été mesurée en utilisant un spectrophotomètre dans la gamme spectrale (400-1600nm). La mesure a été faite en plaçant une cellule d'épaisseur $e = 1\text{mm}$ remplie de différents ferrofluides dilués dans l'eau entre les extrémités de la gamme spectrale dont l'une est reliée à une source de lumière blanche, et l'autre à un monochromateur.

De cette manière, et conformément à la loi de Beer-Lambert donnée par l'expression : $I = I_0 \exp(-\alpha.e)$. Les résultats de mesure sont présentés à la **Figure 3** :

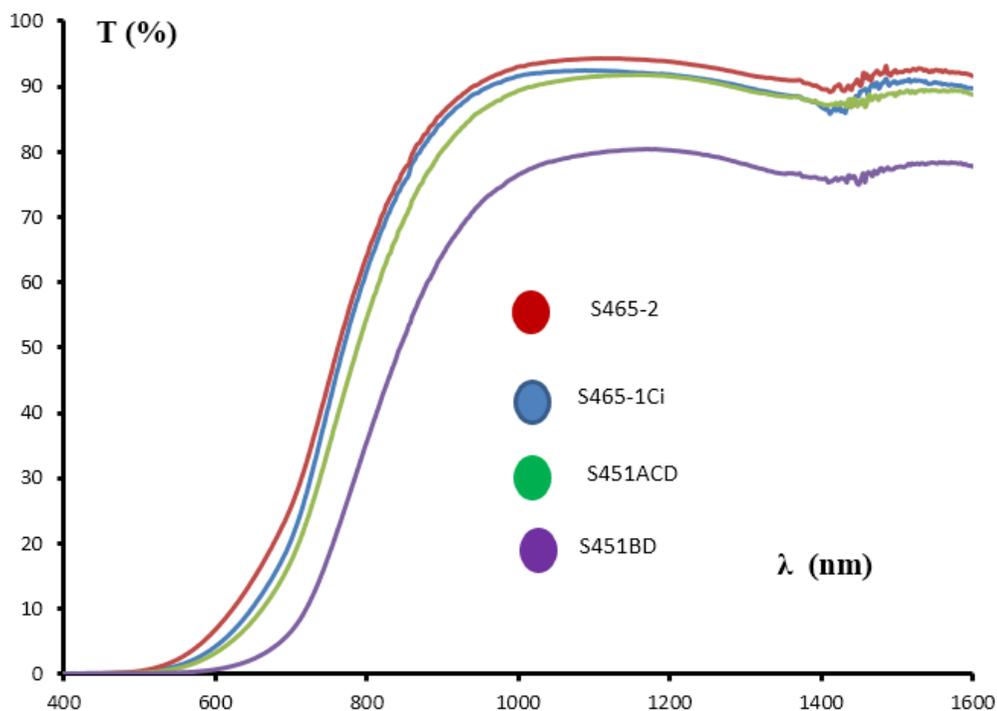


Figure 3 : Evolution spectrale de la transmittance des quatre échantillons

On peut constater que la fenêtre de transparence de ces différents ferrofluides se situe dans l'infrarouge ou la transmittance oscille entre 75 à 90 % [8, 9]. On constate que les ferrofluides acides (S465-2 ; S451ACD) présentent une bonne transmittance par rapport aux ferrofluides citratés (S465-1Ci ; S451B). On note aussi que les ferrofluides de petite taille (5 nm) présentent une transparence importante à partir de 450 nm, par rapport aux grosses tailles (20 nm).

III-3. Facteur de mérite

Sachant que l'absorption se calcule par la relation $\alpha = -\ln(T/100)$, et que pour comparer la qualité de ces différents ferrofluides ; on calcule le rapport $\frac{\theta_F(^{\circ}/cm)}{\alpha(^{\circ}/cm)} = F$ encore appelé facteur de mérite ou θ_F est la rotation Faraday spécifique.

La **Figure 4** montre une dépendance du facteur de mérite en fonction de la taille et on constate que de 5 à 20 nm, le facteur de mérite des ferrofluides acides est plus important que celui des ferrofluides citratés en fonction de leur diamètre ; dans la gamme Télécom (1550 nm) de l'ordre de $2/14^\circ$. Valeurs conformes aux anciens travaux réalisés au laboratoire [10]. Ceci s'explique, on a une bonne transparence dans cette gamme et une forte rotation dans cette gamme.

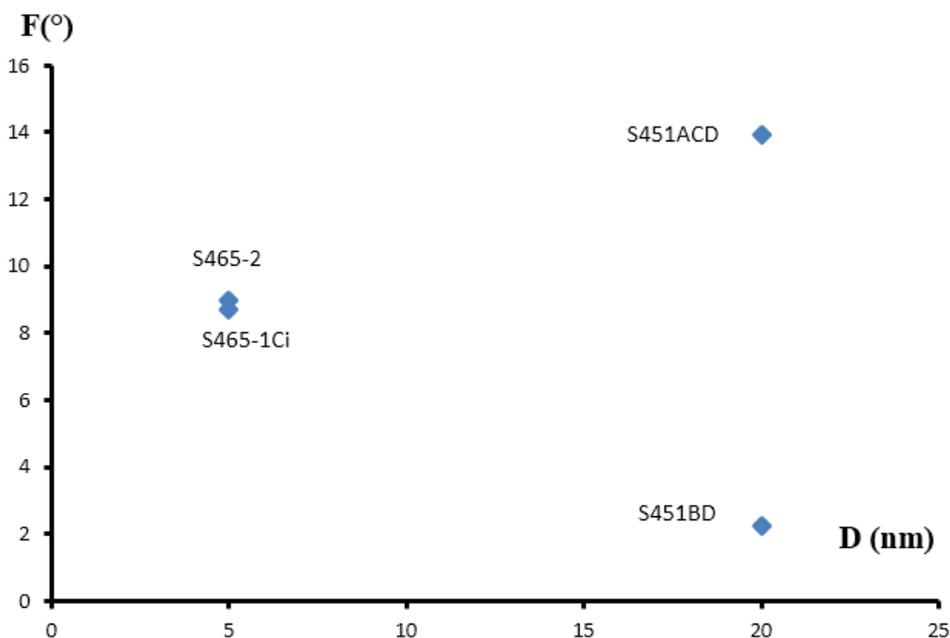


Figure 4 : Facteur de mérite en fonction du diamètre. Valeurs relevées à la longueur d'onde de 1550 nm

IV - CONCLUSION

Suite à une bonne préparation des nanoparticules magnétiques obtenues du laboratoire PHENIX, qui est basée sur des précurseurs métalliques, notre étude a relevé un facteur de mérite qui est en accord avec les résultats des travaux antérieurs sur d'autres ferrofluides. Une autre voie s'ouvre pour les grosses tailles en vue de mettre en évidence des composants optiques ayant un important champ coercitif lorsque ces ferrofluides seront bloquées dans une matrice de silice.

RÉFÉRENCES

- [1] - R. E. ROSENSWEIG, *Ferrohydrodynamics*, Dover Publications Inc, Mineola, New York, (1997), p 344.
- [2] - B. BERKOVSKI, V. BASHTOVOI, (Ed), *Magnetic Fluids and Applications Handbook*, Begel House, New York, (1996), p 395.
- [3] - R. E. ROSENSWEIG, *AIAA J.*, 4 : (1966),1751.
- [4] - R. MASSART, « Preparation of aqueous magnetic liquids in alkaline and acidic media» *IEEE Trans. Magn.* 17, (1981), 1247.
- [5] - F. ROYER, D. JAMON, J.J. ROUSSEAU, V. CABUIL, D. ZINS, H. ROUX and C. BOVIER, *Eur. Phys. J. Appl. Phys.*, vol 22 (2), (2003) p83-87.
- [6] - S. NEVEU, A. BEE, M. ROBINEAU, D. TALBOT « Size-Selective Chemical Synthesis of Tartrate Stabilized Cobalt Ferrite Ionic Magnetic Fluid », *J. Coll. Int. Sc.*, vol. 255, n° 2, (2002) p. 293-298.
- [7] - N. LAMAÏ, F. ROYER, J. P. CHATELON, D. JAMON, S. NEVEU, M. F. BLANC-MIGNON et J. J ROUSSEAU « Etude des propriétés magnéto-optiques des couches minces à base de ferrite de cobalt obtenues par voie sol-gel », *AFRIQUE SCIENCE*, Vol(11), N°1, (2015) p : 96-101.
- [8] - F. DONATINI, D. JAMON, J. MONIN, S. NEVEU, *IEEE Trans Magn*, 35:(1999) 4311-4317.
- [9] - N. LAMAÏ, F. ROYER, J.P. CHATELON, D. JAMON, S. NEVEU, M.F. BLANC-MIGNON et J.J ROUSSEAU « Effet magnéto-optique et optique des couches minces à base de ferrite de cobalt », *AFRIQUE SCIENCE*, Vol(11), N°3, (2015) p : 21-26.
- [10] - F. ROYER, D. JAMON, J. J. ROUSSEAU, D. ZINS, V. CABUIL, S. NEVEU and H. ROUX, *Progr. Coll. and Polym. Sc.*, vol 126, (2004), 155-158.
- [11] - N. LAMAÏ, F. ROYER, J.P. CHATELON, D. JAMON, S. NEVEU, M. F. BLANC-MIGNON et J. J ROUSSEAU « Etude magnéto-optique des couches minces de SiO₂/ZrO₂ dopées par le ferrite de cobalt », *Rev. Ivoir. Sci. Technol*, Vol(25), (Juin 2015) p : 14-20
- [12] - F. PARSY, « Contribution à l'intégration d'un isolateur optique sur verre : Fonctions réciproques et non réciproques de contrôle de la polarisation » Thèse de Doctorat, Université de Grenoble, 2013.
- [13] - V. GAVRILOV-ISAAC, S. NEVEU, V. DUPUIS, D. TAVERNA, A. GLOTER, V. CABUIL, *Small*, 2015.