

La Mesure du Pouvoir Rotatoire à l'Aide d'une Cellule Photoélectrique

N. G. Sabri et T. Benouaz

Laboratoire de Physique Electronique et Modélisation Université Abou-Bakr Belkaïd, B.P. 119
Tlemcen R.P. 13000, Algérie E-mail : sabri_nm@yahoo.fr

Résumé – On se propose d'étudier un phénomène magnéto-optique [2] « la polarisation rotatoire magnétique » [1], par la mesure du pouvoir rotatoire d'un matériau à l'aide d'une cellule photoélectrique, sachant que le flux lumineux dépend de ce phénomène et que la photocellule n'est sensible qu'à ce flux. Pour réaliser cette étude, on mesure le courant photoélectrique, car la variation de l'angle de rotation implique la variation du courant photoélectrique. Le signal qui dépend de l'angle de rotation dépend aussi de la pulsation du faisceau lumineux, ce qui rend sa détection aisée par l'usage d'un amplificateur sélectif.

Abstract – We propose to study a magneto-optical phenomenon, "magnetic rotatory polarization", by the measurement of the rotatory power of a material using an electric cell, knowing that luminous flow depends on this phenomenon and that the photocell is sensitive only to this flow. To make this study, we measure the photoelectric current, because the variation of the rotation angle implies the variation of the photoelectric current. The signal which depends on the rotation angle depends also on the pulsation of luminous fascies, which makes its detection easy by the use of a selective amplifier.

Mots clés : Cellule photoélectrique – Flux lumineux – Phénomène magnéto-optique – Courant photoélectrique.

1. INTRODUCTION

Le pouvoir rotatoire est la propriété [11] qu'ont certains milieux de faire tourner le plan de polarisation d'une lumière qui le traverse. La mesure de cette rotation permet d'accéder à divers paramètres d'origine spectroscopique [1], (étude de l'effet Faraday).

Nous proposons ici d'étudier les méthodes de mesure de ces rotations et de déterminer leur sensibilité en insistant plus particulièrement sur celle utilisant le modulateur de biréfringence [4]. D'autre part, cette étude a pour objectif l'analyse et la compréhension d'un phénomène de polarisation rotatoire magnétique en déterminant le type de propagation observé en présence de non-linéarité et d'anisotropie (champ magnétique).

2. ANALYSE ET COMPREHENSION DU PHENOMENE

Une O.P.P.M polarisée rectilignement suivant l'axe (ox) et se propageant dans le sens positif de (oz) est transmise dans un milieu diélectrique [3], [5], [6] soumis à un champ magnétique statique en $z = 0$,

$$\vec{E} = E \vec{x} = E_0 \cos \omega t \vec{x} \quad (1).$$

C'est le champ électrique de l'onde incidente polarisée rectilignement d'amplitude E_0 .

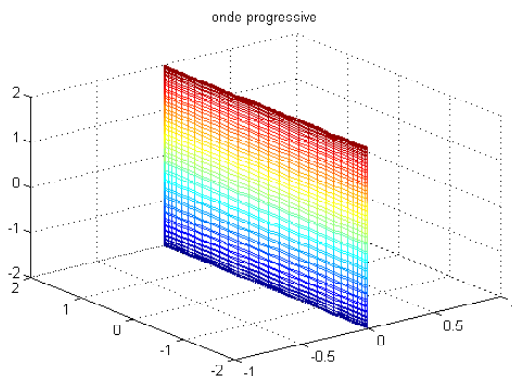


Fig. 1: L'onde du champ $\vec{E} = E_0 \cos \omega t \vec{x}$.

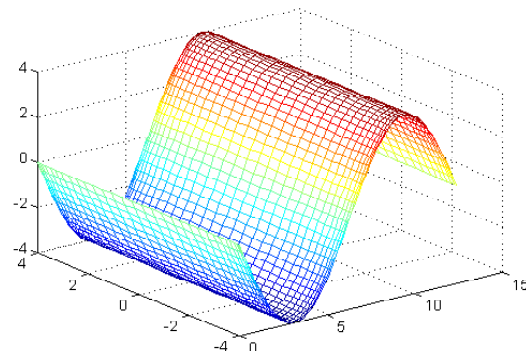


Fig. 2: Onde polarisée circulaire gauche E_+ .

A z donné, c.-à-d. pour $z \neq 0$, cette onde transmise dans le milieu se décompose en deux ondes circulaires inverses équi-amplitudes de vitesses différentes d'amplitude $\frac{E_0}{2}$; ce qui cause d'un déphasage entre ces ondes, c'est grâce au champ magnétique qu'elles sont affectées différemment, le milieu possède donc deux indices $n(+)$ et $n(-)$ [8], [9].

L'onde polarisée circulaire gauche représente le champ :

$$E_+ = \frac{E_0}{2} [\cos(\omega t - k'z)\vec{x} + \sin(\omega t - k'z)\vec{y}] \quad (2)$$

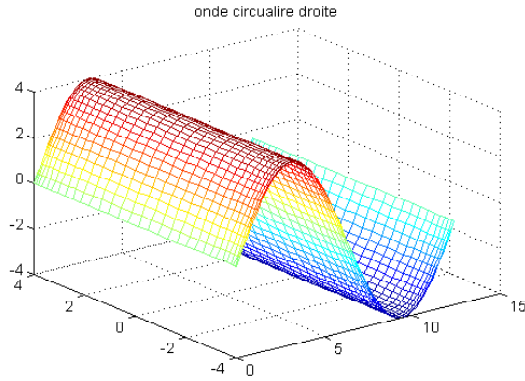


Fig. 3: Onde polarisée circulaire droite E_+

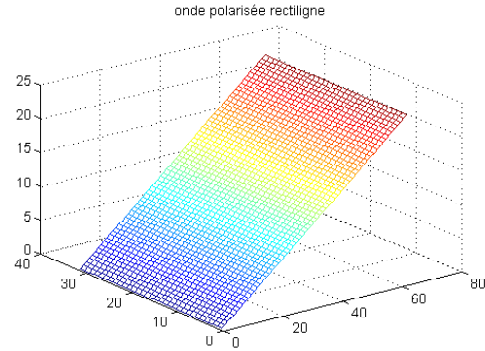


Fig. 4: Superposition de deux ondes circulaires inverses donne une onde polarisée rectilignement.

L'onde polarisée circulaire droite représente le champ :

$$E_- = \frac{E_0}{2} [\cos(\omega t - k''z)\vec{x} - \sin(\omega t - k''z)\vec{y}] \quad (3)$$

La sommation de ces deux ondes circulaires donne naissance à une onde polarisée rectilignement (figure 4).

$$\vec{E}(z,t) = E_+ + E_- \quad (4)$$

$$\vec{E}(z,t) = \frac{E_0}{2} [\cos(\omega t - k'z)\vec{x} + \sin(\omega t - k'z)\vec{y}] + \frac{E_0}{2} [\cos(\omega t - k''z)\vec{x} - \sin(\omega t - k''z)\vec{y}] \quad (5)$$

$$\vec{E}(z,t) = \begin{bmatrix} E_0 \cos(\omega t - \frac{k'+k''}{2}z) \cos \frac{k''-k'}{2}z \\ E_0 \cos(\omega t - \frac{k'+k''}{2}z) \sin \frac{k''-k'}{2}z \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Pour z donné, \vec{E} est de direction constante, l'onde résulte de la superposition de deux ondes circulaires inverses est polarisée rectilignement, mais dans un autre plan faisant un angle avec celui de l'onde initiale incidente. C'est le phénomène de polarisation rotatoire magnétique disparaît en absence du champ magnétique statique \vec{B}_0 , [1], [11].

- Détermination de l'angle de rotation

La direction du champ électrique en z se déduit de celle de $z = 0$ pour une rotation d'angle φ autour de (oz) . On calcul le déphasage [8], [7], [9], entre les deux états de polarisation

$$\varphi = \frac{\omega}{c} \frac{n(-) - n(+)}{2} z \quad (7)$$

$$\varphi = \frac{\omega}{c} \frac{1}{2n_0} \frac{N e^2}{\varepsilon_0 m} \frac{\omega \Omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2} z \quad (8)$$

C'est le phénomène de polarisation rotatoire magnétique, qui disparaît en absence du champ magnétique. Et d'après la loi de Faraday $\varphi = VIB_0$. Ceci implique que la constante de verdet prend la valeur

$$V = \frac{\omega}{c} \frac{1}{2n_0} \frac{N e^2}{\varepsilon_0 m^2} \frac{\omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2} \quad (9)$$

3. METHODES DE MESURES

Une cellule photoélectrique est un dispositif qui produit le courant électrique quand il est exposé à la lumière. Ces dispositifs trouvent leur application dans des caméras, des systèmes de sécurité et des télévisions. La mesure du pouvoir rotatoire par les appareils photoélectriques à l'aide d'une cellule photoélectrique implique deux conséquences :

- Il faut rendre le flux lumineux dépendant du phénomène à mesurer puisqu'une cellule n'est sensible qu'à ce flux. Ce dernier produit un courant photoélectrique qui peut généralement se mettre sous la forme :

$$I = I_0[A(A + Bp) + Cp^2] + \dots + I_0\varepsilon^2 \quad (10)$$

A, B, et C des constantes dépendant du montage réalisé avec :

$$\begin{aligned} f(p) &= I_0 f(p) + I_0\varepsilon^2 \\ &= A(A + Bp) + Cp^2 + \dots \end{aligned} \quad (11)$$

$f(p)$: Loi de dépendance avec le phénomène p du flux lumineux donc de courant photoélectrique.

$I_0\varepsilon^2$: est le courant parasite dû aux imperfections inévitables d'un montage optique.

- Le plus petit phénomène décelable sera limité par le bruit propre de la photocellule. On appelle s signal, la variation de flux lumineux donc de courant photoélectrique, b est la valeur de moyenne quadratique de fluctuations est proportionnelle au courant moyen \bar{I} traversant la photocellule

$$b^2 = K_B \bar{I} \quad (12)$$

Le rapport signal à bruit $\frac{s}{b}$ est :

$$\frac{s}{b} \approx \frac{\sqrt{I_0}(ABP + CP^2 + \dots)}{\sqrt{k_B} \sqrt{A^2 + \varepsilon^2}} \quad (13)$$

$$\text{Si } A = 0, \quad \frac{s}{b} \approx \frac{\sqrt{I_0} CP^2}{\sqrt{k_B} \varepsilon} \quad (14)$$

$$\text{On a alors} \quad \frac{s}{b} \approx \frac{\sqrt{I_0}}{\sqrt{k_B}} BP \text{ si } A > \varepsilon. \quad (15)$$

Le rapport $\frac{s}{b}$ dépend linéairement de p , il peut être amélioré en augmente I_0 ou en diminuant k_B .

1^{ière} Méthode : détection quadratique

La mesure du pouvoir rotatoire implique une mesure de courant photoélectrique. Soit α la rotation produite par le corps que l'on veut étudier et que l'on place entre deux polariseurs croisés (figure.5). La vibration OP_1 , sortant du premier polariseur, tourne d'un angle α après la traversée de l'échantillon et le polariseur P_2 ne laisse passer que la vibration Oa projection de OA sur OP_2 . Le flux arrivant sur la cellule

P_M est proportionnel à Oa^2 .

On peut donc écrire le courant photoélectrique :

$$I = I_0 \sin^2 \alpha + I_0\varepsilon^2 \approx I_0\alpha^2 + I_0\varepsilon^2 \quad (16)$$

2^{ième} Méthode : détection linéaire

Si entre les deux polariseurs croisés P1 et P2 (figur.6), outre l'échantillon à mesurer sont placés :

- Un corps présentant une activité optique modulée $\alpha = \alpha_m \sin \omega t$ (modulateur).

- Un corps présentant une activité optique ajustable (compensateur).

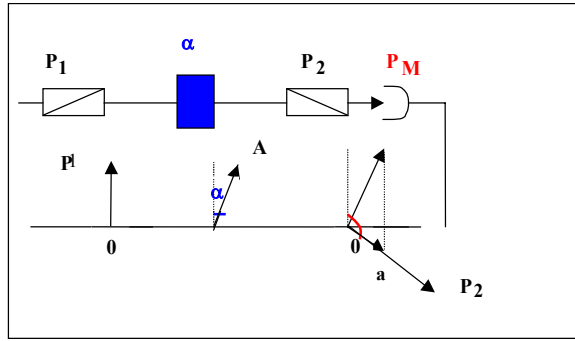


Fig. 5: Utilisation de polariseurs croisés pour mesure du pouvoir rotatoire (détection quadratique)

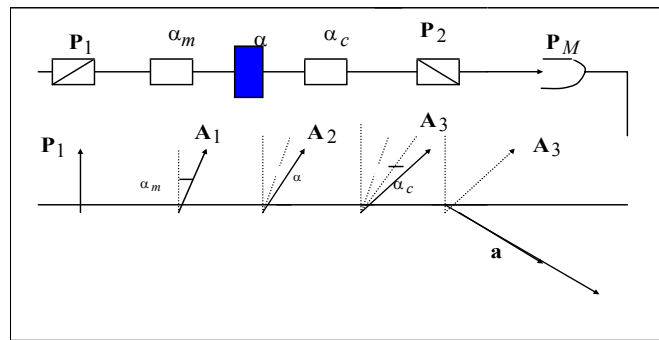


Fig. 6: Montage optique pour mesure du pouvoir rotatoire (détection linéaire).

- La vibration OP_1 tourne successivement d'un angle α_m , α et α_c et la vibration traversant P_2 est

$$Oa = OP_1 \sin(\alpha + \alpha_m + \alpha_c) \tag{17}$$

Le courant photoélectrique est alors, si α_m et $(\alpha + \alpha_c)$ sont petits

$$I = I_0[\alpha_M^2 \sin^2 \omega t + 2\alpha_M(\alpha + \alpha_c) \sin \omega t + (\alpha + \alpha_c)^2 + I\epsilon^2] \tag{18}$$

On a maintenant $A = \alpha_m$, $B = 2$, $C = 1$

$$2\alpha_m(\alpha + \alpha_c) \sin \omega t \tag{19}$$

Le signal donné par la relation (19) dépend linéairement de α est le seul terme modulé à la pulsation ω , ce qui rend sa détection aisée par l'usage d'un amplificateur sélectif. Si α_c est ajustable, le signal s'annule lorsque $\alpha_c = -\alpha$. La mesure de α_c est alors une mesure de α et cette condition ne dépend pas des variations de I_0 , on obtient une méthode de Zéro.

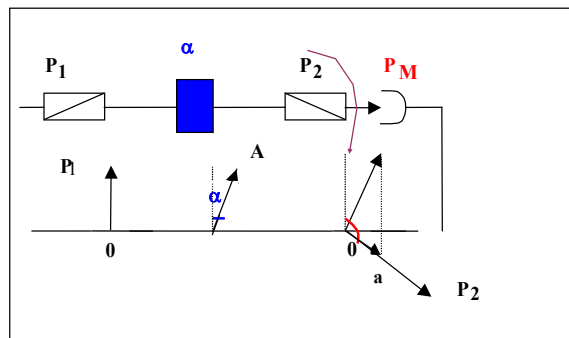


Fig. 7: Montage optique pour mesure du pouvoir rotatoire en utilisant un polariseur tournant.

3^{ème} Méthode

Une autre solution consiste à utiliser un polariseur tournant (figure. 7). Si le polariseur P₂ tourne à une fréquence ν , le signal détecté est de la forme

$$I = I_0 s \cos^2(2\pi\nu + \alpha) \quad (20)$$

Le pouvoir rotatoire est alors déterminé par la mesure de phase du signal détecté.

4. CONCLUSION

Pour réaliser cette étude on a assimilé un matériau diélectrique à un milieu linéaire, homogène isotrope et non magnétique soumis à un champ magnétique statique uniforme.

La mesure du pouvoir rotatoire par les appareils photoélectriques à l'aide d'une cellule photoélectrique implique les conséquences suivantes:

- Pour un modulateur magnéto-optique, un champ magnétique appliqué dans milieu diélectrique transparent $H_m = H_M \sin \omega t$, la rotation sera $\alpha_m = VH_m = VH_M \sin \omega t$.

Une bobine parcourue par un courant alternatif produit le champ convenable et crée un pouvoir rotatoire dans la substance choisie, donc la cellule de Faraday ainsi réalisé produit un pouvoir rotatoire modulé $\alpha_m = VH_m = VH_M \sin \omega t = \alpha_M \sin \omega t$.

- Pour un modulateur mécanique, le polariseur fixe P1 et la cellule de Faraday sont remplacés par un polariseur oscillant autour de l'axe de faisceau lumineux d'un angle $\alpha_m = \alpha_M \sin \omega t$.
- Pour un compensateur mécanique le polariseur P2 est tourné de l'angle α_c convenable pour annuler le signal. Cette rotation est mesurée mécaniquement.
- Pour un compensateur magnéto-optique la rotation α est produite par une cellule de Faraday alimentée en courant continu ajustable, on mesure le courant qui est proportionnel à α_c implique une mesure de α .
-

REFERENCES

- [1] N. G. Sabri, Phénomène de polarisation rotatoire, Effet Faraday, Thèse de Magister, Tlemcen, 2001.
- [2] Geert Rikken et Bart. Van Tiggelen, *Nouvelles découvertes En Magnéto-optique*/CNRS, 1998.
- [3] Michel. Hulin, Nicole.Hulin et Denise.Perrin, *Equations de Maxwell et ondes électromagnétiques*, Cours, Exercices Et Problèmes Résolus, Dunod, 1998.
- [4] Alain Maruani et Denis Roux, *Electromagnétisme*, Cours et exercices résolus Paris 1997.
- [5] Lucien Quaranta, *Electromagnétisme*, Masson, Paris, 1995.
- [6] A. Akhiezer et I. Akhiezer, *Electromagnétisme et ondes*, Union Soviétique 1985.
- [7] N. Kaliteevski, *Optique Ondulatoire*, Russe 1978.
- [8] Alonzo-Finn, *Physique générale, Champ et ondes*, Tome2, Strasbourg, Janvier 1977.
- [9] Louis Mouton, *Transformateur de mesure en courant alternatif*, Techniques de l'ingénieur. Traite "D" D666 P. 12, 3 – 1976.
- [10] J. Badoz, M. Billardon et B. Briat, *Activité optique, Polarimétrie, Dichrométrie*, Techniques de l'ingénieur, Traité R, R390 P.P9, 1971.
- [11] P. Fleury et J. P.Mathieu, *Physique générale et expérimentale, Electrostatique, Courants continus, Magnétisme*, Eyrolles, Paris, 1967.