

Compte-Rendu de TP : TP Polarisation

BENZAZON Nathan, BONNEMORT Rémy

TP du 8 Novembre 2018

Sommaire

	Introduction	1
I.	Caractérisation de la polarisation d'un faisceau	2
	1) Montage utilisé	2
	2) Montage avec un seul polariseur	2
	3) Montage avec un polariseur et un analyseur.	3
II.	Modification de la polarisation de la lumière	3
	1) Détermination des lignes neutres	3
	<i>a. lame demi-onde</i>	3
	<i>b. lame quart-d'onde</i>	4
III.	Caractérisation d'une polarisation avec lames quart d'onde et demi-onde	4
	1) Production d'une lumière polarisée circulairement	4
	2) Identification d'une lumière polarisée circulairement	5
	<i>a. Approche théorique</i>	5
	<i>b. Approche expérimentale</i>	6
	3) Détermination de la polarisation de la lampe à vapeur de mercure.	6
	4) Modification de la polarisation par une lame demi-onde	6

Introduction

À tout faisceau lumineux est associée une onde électromagnétique. Dans le cas d'une onde plane se propageant dans une direction colinéaire à \vec{u}_z , le champ peut s'écrire sous la forme suivante :

$$\vec{E} = \begin{pmatrix} E_x = a(t) \cos(\omega t) \\ E_y = b(t) \cos(\omega t - \varphi(t)) \\ E_z = 0 \end{pmatrix}$$

La donnée de a, b, φ permet de définir la polarisation du faisceau. On distingue ainsi quatre types de polarisation :

- Lumière non polarisée avec a, b, φ variant aléatoirement,
- Polarisation rectiligne avec $a = E_0 \cos(\alpha)$, $b = E_0 \sin(\alpha)$ et $\varphi = 0[\pi]$,
- Polarisation elliptique avec a, b, φ constants,
- Polarisation circulaire avec $a = b$ et $\varphi = \pm \frac{\pi}{2}[\pi]$.

Dans tous nos montages expérimentaux, nous utiliserons des polariseurs. Considérons un polariseur de direction de polarisation \vec{v} , alors le champ électrique transmis vaut : $\vec{E}_t = (\vec{E}_i \cdot \vec{v}) \vec{v}$. On appellera dans la suite l'angle β tel que :

$$\vec{v} = \begin{pmatrix} \cos(\beta) \\ \sin(\beta) \\ 0 \end{pmatrix}, \text{ la direction de polarisation du polariseur.}$$

Enfin, par définition, l'intensité vaut : $I = \left\langle \frac{|E|^2}{\mu_0 c} \right\rangle_\tau$, où $\langle \rangle_\tau$ désigne une moyenne temporelle. En fonction de la polarisation incidente, l'intensité transmise par un polariseur sera différente et nous pourrons ainsi distinguer différents types de polarisation. On peut montrer que pour :

- une polarisation elliptique, l'intensité varie de façon sinusoïdale entre une intensité maximale et une intensité minimale non nulle,
- une polarisation rectiligne, l'intensité varie de façon sinusoïdale mais on observe des extinctions, minima d'intensité nuls,
- une polarisation circulaire ou une lumière non polarisée, l'intensité transmise ne varie pas.

Objectifs du TP :

- Caractériser la polarisation d'un faisceau lumineux,
- Comparer les résultats expérimentaux à nos attentes théoriques,
- Modifier la polarisation incidente du faisceau en utilisant différents systèmes optiques,
- Vérifier certaines lois théoriques par l'expérience

I. Caractérisation de la polarisation d'un faisceau

1) Montage utilisé

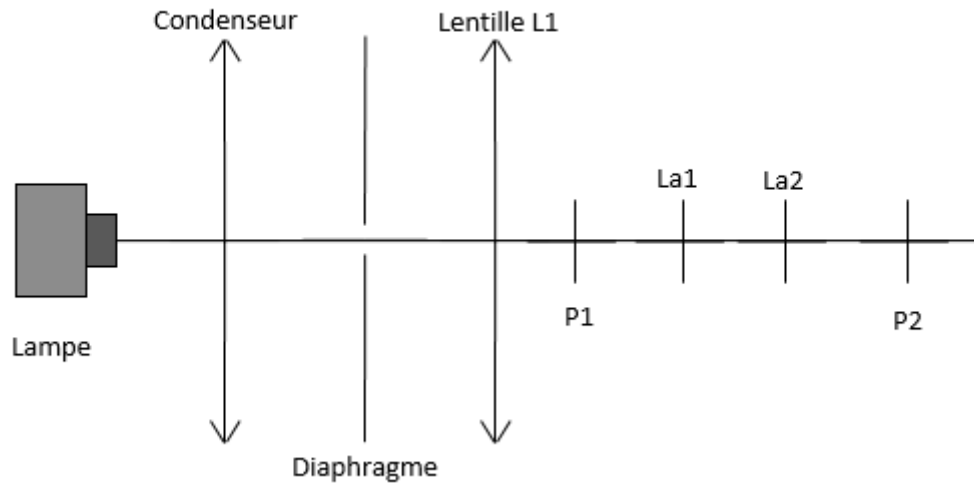


FIGURE 1 – Montage utilisé

Rôle de chacune des éléments :

- La lampe : nous utiliserons soit une lampe à vapeur de mercure¹ ou une lampe blanche, elle sert de source lumineuse (faisceau incident),
- Le condenseur permet de concentrer les rayons incidents dans un plan (ici celui du diaphragme), il est constitué de lentilles fortement convergentes,
- Le diaphragme permet de sélectionner uniquement les rayons proches de l'axe optique,
- La lentille permet de former, lorsqu'elle est placée correctement, un faisceau de rayons parallèles,
- Les points P1 et P2 correspondent respectivement au positionnement du polariseur et de l'analyseur,
- Les points La1 et La2 correspondent au positionnement de lames à retard utilisées par la suite du TP.

Pour réaliser ce montage, on place d'abord la lampe. On place ensuite le condenseur, puis le diaphragme. Enfin on place la lentille que l'on règle par autocollimation. Pour ce faire on utilise un miroir plan que l'on plaque derrière la lentille et on la déplace jusqu'à ce que le point réfléchi soit net. Le faisceau ainsi formé est parallèle.

2) Montage avec un seul polariseur

Dans cette expérience, on place en P1 un polariseur. La source utilisée étant la lampe à vapeur de mercure suivi d'un filtre vert.

On observe à l'œil l'intensité transmise par le polariseur. Celle-ci ne varie pas, on en déduit donc que le faisceau incident est soit polarisé circulairement soit non polarisé.

1. Un filtre vert sera inséré lors de l'utilisation de cette lampe afin d'assurer le bon fonctionnement des lames à retard

3) Montage avec un polariseur et un analyseur

Dans cette expérience, on place en P1 un polariseur et un analyseur en P2. On garde la même source. L'analyseur va nous permettre de déterminer le type de polarisation transmis par le polariseur situé en P1.

On observe l'intensité transmise par l'analyseur, des variations d'intensité ainsi que des extinctions sont visibles. La lumière transmise par le polariseur est donc polarisée rectilignement.

METTRE SCHEMA ET EXPLICATIONS DE L'HISTOIRE RELATIF / ABSOLU...

II. Modification de la polarisation de la lumière

Pour modifier la polarisation de la lumière, nous allons utiliser dans la suite de ce TP, des lames à faces parallèles. Ces lames constituées d'un matériau anisotrope entraîne un déphasage ψ . Dans le cas général, on parle de lames à retard. Si $\psi = \frac{\pi}{2}$, alors il s'agit d'une lame quart d'onde et si $\psi = \pi$, il s'agit d'une lame demi-onde. Comme tout matériaux anisotrope, ces lames possèdent des lignes neutres.

1) Détermination des lignes neutres

Pour mener à bien cette étude, on utilise une onde incidente polarisée rectilignement. Pour ce faire, on utilise le montage précédent en positionnant un polariseur en P1. On a vu dans la partie I.3) que l'onde transmise par le polariseur était polarisée rectilignement, c'est pourquoi nous utilisons ce montage.

a. Lame demi-onde

On place ensuite une lame demi-onde en position La1 puis un analyseur en position P2 afin de pouvoir analyser le type de polarisation en sortie de la lame.

On observe des variations ainsi que des extinctions d'intensité, ce qui correspond à une polarisation rectiligne. En théorie, le déphasage induit par une lame demi-onde valant π , la polarisation de l'onde incidente est inchangée lors de la traversée d'une telle lame. Une lame demi onde change uniquement la direction de polarisation mais pas le type de polarisation.

Dans ce cas, on observe quatre extinctions de l'intensité. Les angles d'extinctions sont les suivants :

$\alpha_1(\text{en } ^\circ)$	$\alpha_2(\text{en } ^\circ)$	$\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1(\text{en } ^\circ)$
55 ± 0.5	235 ± 0.5	180
145 ± 0.5	325 ± 0.5	180

On remarque donc que les angles trouvés sont distants de 90° . Il y a donc deux lignes neutres orthogonales. On représente sur la Figure 2 les lignes neutres de notre lame demi-onde.

En théorie, dans un milieu anisotrope, les lignes neutres sont parfaitement orthogonales. Le résultat expérimental concorde donc avec les prédictions théoriques.

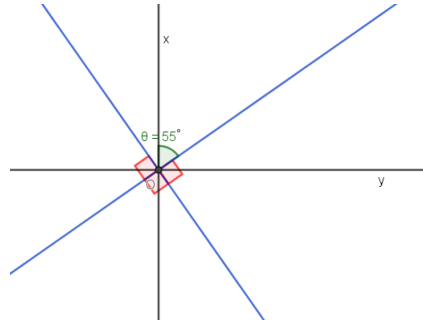


FIGURE 2 – Représentation des lignes neutres de la lame demi-onde étudiée

b. Lame quart-d'onde

On réalise la même expérience que celle décrite précédemment en remplaçant la lame demi-onde par une lame quart d'onde en position La1.

On n'observe pas de variation d'intensité, ainsi la lumière après la lame est soit polarisée circulairement soit non polarisée. En théorie, le déphasage induit par une lame quart d'onde étant de $\frac{\pi}{2}$, une onde incidente polarisée rectilignement ressort de la lame avec une polarisation circulaire. Les observations expérimentales concordent donc avec la théorie.

Néanmoins, on repère quatre extinctions d'intensité. Celles-ci ont lieu lorsque nous alignons la direction de polarisation de l'analyseur à une ligne neutre de la lame quart d'onde. En effet, sur une ligne neutre, la polarisation de l'onde incidente ne change pas.

On repère ainsi les quatre angles d'extinction :

α_1 (en $^\circ$)	α_2 (en $^\circ$)	$\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$ (en $^\circ$)
49 ± 0.5	229 ± 0.5	180
139 ± 0.5	319 ± 0.5	180

De même, on constate que les lignes neutres de la lame quart d'onde étudiée sont orthogonales entre elles, comme prévu par la théorie.

III. Caractérisation d'une polarisation avec lames quart d'onde et demi-onde

L'objectif de cette partie est de déterminer la polarisation de la lampe de mercure utilisée depuis le début du TP.

Pour ce faire, nous devons dans un premier temps produire une lumière polarisée circulairement et voir comment est modifiée la polarisation lorsque l'on insère une lame quart d'onde dans le montage.

1) Production d'une lumière polarisée circulairement

On a vu dans la partie II.1)b. qu'une lame quart d'onde modifie une polarisation incidente rectiligne en une polarisation circulaire. Ainsi, en plaçant un polariseur en P1 et une lame quart d'onde en La1, on obtient une onde polarisée circulairement à la condition suivante :

D'un point de vue théorique,

$$\vec{E}_i = \begin{pmatrix} E_0 \cos(\alpha) \cos(\omega t) \\ E_0 \sin(\alpha) \cos(\omega t) \\ 0 \end{pmatrix} \xrightarrow{\frac{\lambda}{4}} \vec{E}_t = \begin{pmatrix} E_0 \cos(\alpha) \cos(\omega t) \\ E_0 \sin(\alpha) \cos(\omega t + \psi) \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_0 \cos(\alpha) \cos(\omega t) \\ E_0 \sin(\alpha) \sin(\omega t) \\ 0 \end{pmatrix}$$

car $\psi = \frac{\pi}{2}$ pour une lame quart d'onde.

La polarisation est circulaire lorsque $E_0 \cos(\alpha) = E_0 \sin(\alpha) \Leftrightarrow \alpha = \frac{\pi}{4}$.

Ainsi, en plus de faire attention à ne pas se placer sur une ligne neutre de la lame, on se place à 45° de l'une d'entre elle pour avoir une polarisation circulaire.

2) Identification d'une lumière polarisée circulairement

a. Approche théorique

Lorsque l'on envoie une lumière polarisée circulairement sur une lame quart d'onde, on obtient une polarisation rectiligne. En effet, d'un point de vue théorique :

$$\vec{E}_i = \begin{pmatrix} E_0 \cos(\omega t) \\ E_0 \sin(\omega t) \\ 0 \end{pmatrix} \xrightarrow{\frac{\lambda}{4}} \vec{E}_t = \begin{pmatrix} E_0 \cos(\omega t) \\ E_0 \cos(\omega t) \\ 0 \end{pmatrix}$$

Par définition,

$$I_t = \left\langle \frac{|E_t|^2}{\mu_0 c} \right\rangle_\tau = \frac{E_0^2}{\mu_0 c} \langle \cos^2(\omega t) \rangle_\tau = \frac{E_0^2}{2\mu_0 c}$$

Lorsque l'on envoie une lumière non polarisée sur une lame quart d'onde, on obtient une lumière non polarisée. En effet, d'un point de vue théorique :

$$\vec{E}_i = \begin{pmatrix} E_{0x} \cos(\omega t) \\ E_{0y} \cos(\omega t - \varphi(t)) \\ 0 \end{pmatrix} \xrightarrow{\frac{\lambda}{4}} \vec{E}_t = \begin{pmatrix} E_{0x} \cos(\omega t) \\ E_{0y} \cos(\omega t - \varphi(t) \frac{\pi}{2}) \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_{0x} \cos(\omega t) \\ E_{0y} \cos(\omega t + \varphi'(t)) \\ 0 \end{pmatrix}$$

Par définition,

$$I_t = \left\langle \frac{|E_t|^2}{\mu_0 c} \right\rangle_\tau = \frac{1}{2\mu_0 c} (\langle E_{0x}^2 \rangle_\tau + \langle E_{0y}^2 \rangle_\tau) = \frac{\langle E_{0x}^2 \rangle_\tau}{2\mu_0 c}$$

car pour une onde non polarisée, on a : $\langle E_{0x}^2 \rangle_\tau = \langle E_{0y}^2 \rangle_\tau$ et $\langle \cos(\varphi'(t)) \rangle_\tau = 0$.

Ainsi, en plaçant un analyseur en P2 (de direction de polarisation définie par l'angle β), on obtient :

Pour une onde incidente polarisée circulairement :

$$I_{tA} = \frac{E_0^2}{2\mu_0 c} (\cos(\beta) + \sin(\beta))^2$$

Pour une lumière incidente non polarisée :

$$I_{tA} = \frac{\langle E_{0x}^2 \rangle_\tau}{2\mu_0 c} (\cos^2(\beta) + \sin^2(\beta)) = \frac{\langle E_{0x}^2 \rangle_\tau}{2\mu_0 c}$$

Ainsi, on remarque qu'en plaçant un analyseur en position P2 après une lame quart d'onde :

- Si la lumière incidente est circulaire alors, on observe des variations et des extinctions de l'intensité en fonction de la direction de polarisation de l'analyseur,
- Si la lumière incidente est non polarisée alors, on n'observe pas de variation d'intensité.

b. Approche expérimentale

On forme une lumière polarisée circulairement en plaçant en P1 un polariseur puis une lame quart d'onde en La1. Cette onde polarisée circulairement est donc notre onde incidente. On place en La2 une seconde lame quart d'onde et l'analyseur en position P2. Ce montage permet d'envoyer une onde incidente polarisée circulairement sur une lame quart d'onde. D'après l'approche théorique précédente, on s'attend à observer des variations et des extinctions de l'intensité transmise par l'analyseur. C'est effectivement ce que l'on observe.

3) Détermination de la polarisation de la lampe à vapeur de mercure

Pour déterminer la polarisation de la lampe à vapeur de mercure, on enlève dans le montage précédent tous les dispositifs qui permettaient de former une onde polarisée circulairement. Ainsi, on enlève le polariseur situé en P1 ainsi que la lame quart d'onde situé en La1.

On observe, après l'analyseur, une intensité constante. On en déduit donc que la lumière émise par la lampe à vapeur de mercure n'est pas polarisée.

4) Modification de la polarisation par une lame demi-onde

Expérimentalement, on observe après l'analyseur une variation ainsi que des extinctions de l'intensité. Ainsi, la polarisation après la lame demi-onde est rectiligne. Or, l'onde incidente avait également une polarisation rectiligne.

On en conclut qu'une lame demi-onde ne change pas le type de polarisation mais uniquement sa direction, ce qui est en accord avec les prédictions théoriques (voir partie II.1)b.).

Pour vérifier expérimentalement, $\gamma = 2\alpha$, on trace la régression linéaire de γ en fonction de α sur Régressi :

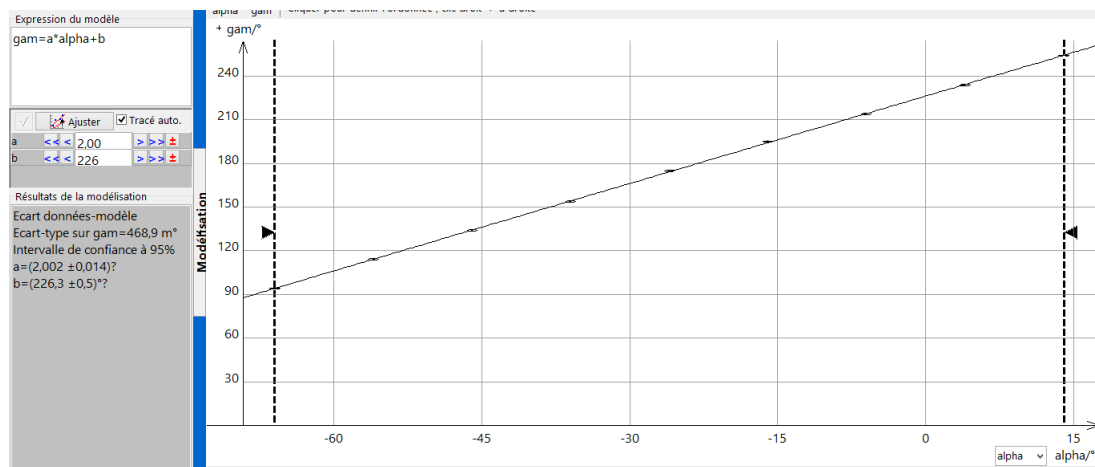


FIGURE 3 – Tracé de γ en fonction de la direction de polarisation α

En précisant une incertitude de lecture de $\pm 0.5^\circ$ pour les angles α et γ , la régression linéaire proposée par le logiciel donne : $\gamma = a \times \alpha + b$ avec $a = 2.002 \pm 0.014$ et $b = 226.3 \pm 0.5^\circ$. Ainsi la relation $\gamma = 2\alpha$ est bien vérifiée. De plus, il faut noter que la valeur de b renvoyée par le logiciel

n'a aucun sens car il ne s'agit que d'un offset et les angles utilisés pour α sont des angles relatifs à l'angle initial d'extinction de l'intensité.