

TD d'Optique 4

Polarisation – Milieux anisotropes – Biréfringence

02/10/2019



EXERCICE I POLARISATION

1. Rappeler ce qu'on appelle polarisation d'une onde lumineuse, et donner l'expression d'ondes polarisées rectilignement, circulairement et elliptiquement.
2. Pourquoi la plupart des sources émettent-elles de la lumière «non polarisée» ?
3. Citer plusieurs manières de polariser une onde lumineuse.
4. Énoncer la loi de Malus.

EXERCICE II MILIEUX ANISOTROPE

1. Donner, dans un milieu anisotrope, la relation entre la polarisation  $\vec{P}$  et le champ électrique  $\vec{E}$ . Qu'appelle-t-on axes principaux du milieu ?
2. Les directions du vecteur d'onde  $\vec{k}$  et du vecteur de Poynting  $\vec{\Pi}$  sont-elles parallèles dans un tel milieu ?
3. On appelle *milieu uniaxe* un milieu pour lequel la matrice des indices présente une symétrie de révolution, autour d'un axe appelé *axe optique*. On appelle  $(Oz)$  cet axe. Dans ce cas, on a  $n_x = n_y = n_o$ , appelé indice ordinaire, et  $n_z = n_e \neq n_o$  appelé indice extraordinaire.

Donner des exemples de milieux uniaxes.

*Dans tout ce qui suit, on ne considère que des milieux uniaxes.*

4. Que se passe-t-il pour une onde plane monochromatique en incidence normale sur la face d'entrée d'un milieu uniaxe, lorsque cette face est taillée  
— perpendiculairement à l'axe optique (lames perpendiculaires),

- parallèlement à l'axe optique (lames parallèles ou lames à retard),
- de façon quelconque par rapport à l'axe optique.

5. Dans ce dernier cas, le rayon «extraordinaire» est-il plus ou moins incliné sur l'axe que le rayon «ordinaire» ?
6. Un axe est dit *axe neutre* de la lame si une onde polarisée selon cet axe voit son état de polarisation inchangé par la lame. Quelle est la différence entre les axes principaux d'une lame et ses axes neutres ? Qu'appelle-t-on axe lent et axe rapide ?
7. Sans chercher à la résoudre, donner l'équation constitutive qui permet de trouver la valeur de l'indice «vu» par l'onde.
8. Donner des exemples de biréfringence induite.

EXERCICE III ACTION D'UNE LAME BIREFRINGENTE

On considère une lame d'épaisseur  $e$ , d'axe optique dans le plan de la lame. On note  $n_e$  et  $n_o$  les indices extraordinaires et ordinaires associés. On note  $\Delta n = n_e - n_o$ . On éclaire la lame avec un faisceau collimaté, polarisé, monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$  dans le vide, en incidence normale sur la lame.

1. Quelle modification de polarisation est induite par la lame ?
2. Pour quelles épaisseurs  $e' \neq e$  de lame obtiendrait-on le même effet ? Qu'appelle-t-on *ordre* d'une lame biréfringente ? Qu'est-ce qu'une lame mince ? Quel est l'avantage d'une lame d'ordre zéro ?
3. Qu'est qu'une lame demi-onde ? Une lame quart-d'onde ? À quoi servent-elles ?
4. On considère deux polariseurs croisés. On les éclaire avec un faisceau collimaté issu d'une source de lumière naturelle (lampe Quartz-Iode, par exemple). On intercale entre les deux polariseurs une lame biréfringente quelconque.

Les axes neutres de la lame font un angle de  $45^\circ$  avec les directions des polariseurs. Décrire ce qui se passe dans le cas d'une lame mince, puis dans le cas d'une lame épaisse.

#### EXERCICE IV POUVOIR ROTATOIRE

1. Qu'appelle-t-on pouvoir rotatoire ? Donner quelques exemples de milieux optiquement actifs.
2. Qu'est-ce que l'effet Faraday ?
3. Un isolateur optique permet de laisser passer la lumière qui se propage dans un sens, tout en bloquant la lumière qui se propage en sens opposé. Expliquer comment on peut réaliser un isolateur en utilisant l'effet Faraday ? Est-ce que cela est possible avec un milieu optiquement actif ?
4. On considère à nouveau le montage polariseur-analyseur croisés de l'exercice précédent, éclairé par de la lumière blanche collimatée. On intercale cette fois entre les deux polariseurs une substance présentant une activité optique. Qu'observe-t-on ?
5. Citer quelques applications du pouvoir rotatoire et de l'effet Faraday.

#### EXERCICE V MESURE DE DIFFÉRENCE D'INDICE : COMPENSATEUR DE BABINET

Un compensateur de Babinet<sup>1</sup> est un dispositif permettant de mesurer la biréfringence d'un échantillon d'épaisseur connue, c'est-à-dire la différence d'indice entre les lignes neutres. Il est constitué d'un biprisme de lames biréfringentes identiques, mais dont les axes lents sont perpendiculaires entre eux. Chaque prisme est d'angle au sommet  $\theta$  petit, et de hauteur  $h$ . Le second prisme peut coulisser grâce à l'action d'une vis micrométrique graduée. On note  $\Delta$  le déplacement relatif du second prisme par rapport au premier (voir FIG. 5.1). Quand  $\Delta = 0$ , les deux prismes sont centrés sur l'axe ( $Oz$ ).

L'axe rapide la première lame et l'axe lent de la seconde lame sont orientés selon ( $Ox$ ). L'axe lent de la première lame et l'axe rapide de la seconde sont selon ( $Oy$ ). On note  $n_1$  et  $n_2$  les indices rapide et lent, respectivement.

Ce compensateur est placé entre polariseur et analyseur croisés, dont les axes sont orientés à  $45^\circ$  des axes ( $Ox$ ) et ( $Oy$ ). L'ensemble est éclairé par une onde lumineuse plane monochromatique, de longueur d'onde  $\lambda_0$  dans le vide, se propageant suivant l'axe ( $Oz$ ). On prendra l'origine de cet axe à l'entrée du premier prisme.

1. Comment s'assurer, expérimentalement, que les axes du Babinet sont bien orientés vis-à-vis du polariseur et de l'analyseur ?

1. Cf. TP Polarisation II, Bruhat d'Optique p.432 et Sextant

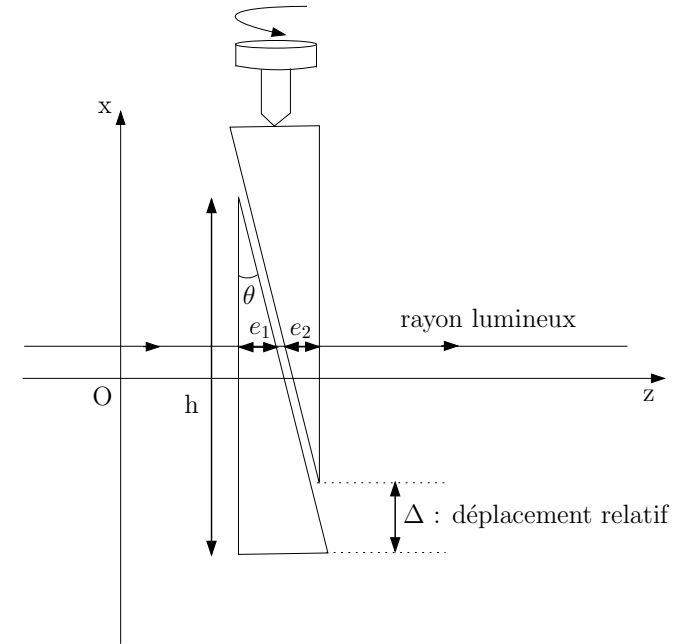


FIGURE 5.1 – Compensateur de Babinet.

2. Calculer la différence de marche induite par le compensateur de Babinet entre les deux polarisations, pour un rayon écarté de  $x$  de l'axe optique.
3. Pour quel interféromètre avait-on obtenu un résultat similaire ? Comment faut-il éclairer le compensateur et quel plan faut-il conjuguer avec l'écran d'observation pour observer des interférences ? Pourquoi a-t-on besoin de l'analyseur pour observer ces interférences ?
4. Calculer l'éclairement sur un écran placé derrière l'ensemble du dispositif. Qu'observe-t-on en lumière monochromatique ? En lumière polychromatique ?
5. Pour une lumière monochromatique, on note  $N$  le nombre de franges sombres qui défilent devant un point fixe de l'écran lorsque la vis micrométrique est déplacée d'une distance  $\Delta_0$ . Donner l'expression de  $N$  en fonction de  $\Delta_0$  et des autres données du problème.

6. On introduit une lame cristalline, dont on veut mesurer la biréfringence, entre le premier polariseur et le compensateur, de telle sorte que ses lignes neutres soient parallèles aux axes ( $Ox$ ) et ( $Oy$ ).
- 6.1 Faut-il éclairer en lumière blanche ou monochromatique ? Comment procéder alors ?
- 6.2 Quel est le facteur limitant la précision ?
- 6.3 Peut-on déterminer par cette méthode l'axe lent et l'axe rapide de la lame ?
- 6.4 Cette méthode est-elle adaptée aux lames minces ou aux lames épaisses ?
7. Citer d'autres méthodes de mesure de biréfringence.

#### EXERCICE VI EXPÉRIENCE DE FRESNEL-ARAGO

*Cf. Épreuve A de la session 2005.*

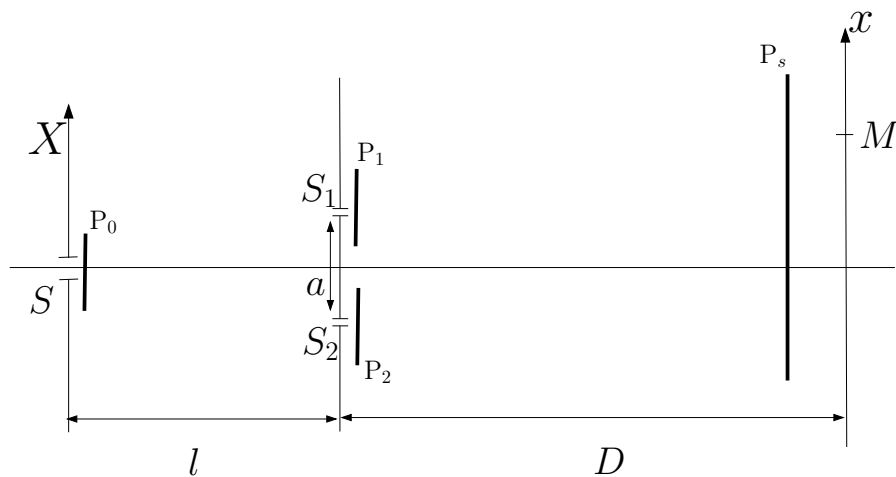


FIGURE 6.1 – Expérience de Fresnel-Arago.

On considère un dispositif à fentes d'Young, avec une fente source unique  $S$  éclairant deux fentes sources secondaires  $S_1$  et  $S_2$ . On néglige tout problème de cohérence

temporelle ou de cohérence spatiale. On rappelle alors, suivant les notations de la figure 6.1, que la vibration lumineuse en  $M$  est la somme de  $s_1$  et  $s_2$  respectivement issues des sources  $S_1$  et  $S_2$ , avec  $s_1 = s_0 e^{i\varphi_1}$  et  $s_2 = s_0 e^{i\varphi_2}$ . La différence de phase vaut

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{ax}{D}.$$

On ajoute trois polariseurs  $P_0$ ,  $P_1$  et  $P_2$ . On tient compte désormais du caractère vectoriel du champ. Il convient donc de raisonner en terme de champ électrique. On note  $\vec{E}_1^0$  et  $\vec{E}_2^0$  l'amplitude des champs juste après les polariseurs  $P_1$  et  $P_2$ . On note  $\vec{E}_0$  l'amplitude du champ juste avant ces polariseurs. On peut éventuellement ajouter un polariseur  $P_s$  juste avant l'écran d'observation. Pour le moment, ce dernier est absent.

1. Exprimer, de manière générale, le champ électrique en  $M$ , en utilisant les résultats obtenus dans le cadre de l'approximation scalaire.
2. En déduire l'intensité dans le plan d'observation.
3. La fente source est une source non polarisée. On ajoute un polariseur  $P_s$  juste avant l'écran d'observation. Observe-t-on des interférences dans les cas suivants (on repère la direction pointée par le polariseur par rapport à l'axe ( $SX$ )) ?

Cas n°	$P_0$	$P_1$	$P_2$	$P_s$
1	absent	$0^\circ$	$0^\circ$	absent
2	absent	$0^\circ$	$90^\circ$	absent
3	absent	$0^\circ$	$90^\circ$	$45^\circ$
4	$45^\circ$	$0^\circ$	$90^\circ$	$\pm 45^\circ$