

PHY335  
Physique des ondes  
Laboratoire 3  
Polarisation, Réflexion et transmission

Jean-Sébastien Closson-Duquette, Xavier Daxhelet, André Bordeleau et Paul Paradis

10 décembre 2024

# 1 Introduction

Cette manipulation permettra à l'étudiant de se familiariser avec le phénomène de la polarisation de la lumière ainsi que les concepts associés à la caractérisation des phénomènes de réflexion et de transmission de la lumière (plan d'incidence, composantes parallèle et perpendiculaire des champs, coefficients de réflexion et de transmission). Le laboratoire comporte quatre expériences :

1. Vérification de la loi de Malus.
2. Détermination du degré de polarisation  $V_R$  de la lumière réfléchiée par une plaque de verre.
3. Détermination de l'orientation du champ électrique de la lumière réfléchiée.
4. Détermination de l'orientation du champ électrique de la lumière transmise.

La figure ci-dessous montre le matériel utilisé lors de la réalisation des manipulations mentionnées.

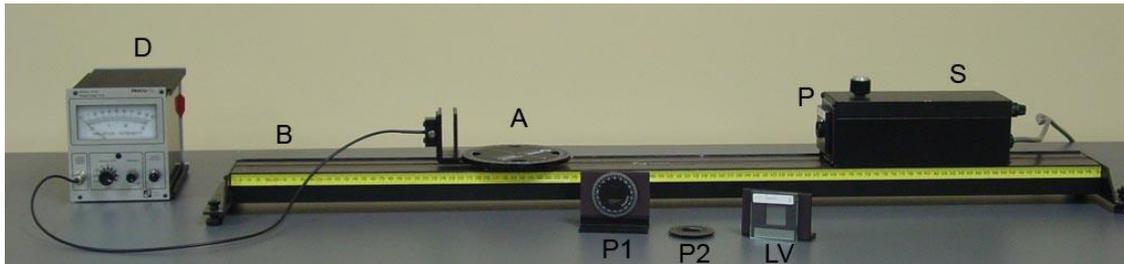


FIGURE 1 – Montage expérimental avec tous les éléments.

A : Positionneur angulaire , B : Banc d'optique, D : Détecteur (Photomètre), LV : Lame de verre ( $n = 1,52$ )  
P : Pupille,  $P_1$  : Polariseur 1,  $P_2$  : Polariseur 2, S : Source blanche

Note : L'axe d'un polariseur est orienté selon la direction  $0^\circ - 180^\circ$  et la référence est l'encoche en bas du support du polariseur.

## 2 Calculs préliminaires

Avant de vous présenter au laboratoire, il est préférable de calculer les valeurs théoriques des parties 2 à 4 afin de pouvoir évaluer la validité des résultats expérimentaux obtenus.

Prenez les données fournies pour votre lumière incidente  $\theta_i$  et  $\gamma_i$  correspondant à votre équipe (Tableau VI) et ainsi que le numéro de votre montage et notez les au tableau I.

1. Déterminez théoriquement le degré de polarisation  $V_{Rc}$  de la lumière réfléchiée par une plaque de verre ( $n = 1,52$ ). Elle est donnée par la relation suivante :

$$V_{Rc} = \frac{I_{r\perp} - I_{r\parallel}}{I_{r\perp} + I_{r\parallel}} = \frac{r_{\perp}^2 - r_{\parallel}^2}{r_{\perp}^2 + r_{\parallel}^2}. \quad (1)$$

Reportez la valeur calculée au tableau III

2. Déterminez théoriquement l'orientation  $\gamma_r$  du champ électrique de la lumière réfléchiée. Utilisez les équations vues en classe et reportez la valeur calculée au tableau IV.
3. Déterminez théoriquement l'orientation  $\gamma_{tt}$  du champ électrique de la lumière transmise. Utilisez les équations vues en classe. N'oubliez pas qu'il y a deux interfaces et donc une double transmission! Reportez la valeur calculée au tableau V.

### 3 Manipulation

#### 3.1 Vérification de la loi de Malus

Cette expérience permettra de vérifier la loi de Malus à l'aide de deux polariseurs.

Vérifiez que le  $0^\circ$  du plateau tournant soit bien aligné avec la ligne centrale tracée sur le rail (voir figure 2). Faites la vérification avant chaque manipulation.



FIGURE 2 – Alignement du plateau avec la ligne centrale du rail.

- a) Pour cette manipulation, il faut que les deux polariseurs  $P_1$  et  $P_2$  soit installés tel qu'illustré à la figure 3.

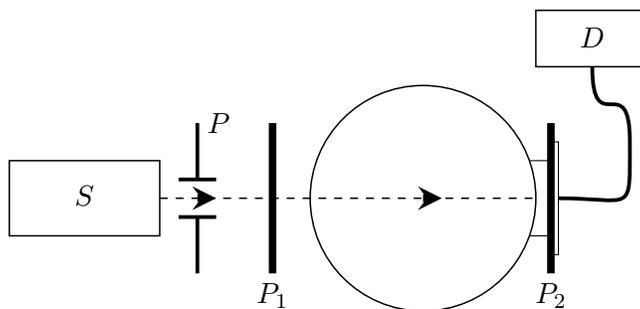


FIGURE 3 – Montage pour la vérification de la loi de Malus.

- b) Mettez les deux polariseurs  $P_1$  et  $P_2$  à  $0^\circ$ .
- c) Calibrez le détecteur tel qu'indiqué à la section 4 *Calibration*. Afin d'éviter les effets de parallaxes, assurez-vous d'être placé bien en face de l'écran et de faire vos lectures en gardant la même position.
- d) Notez l'intensité et reportez-la sur la première ligne du tableau II. Pour  $\theta_0 = 0^\circ$ , la valeur expérimentale de l'intensité  $I_{\text{Exp}}$  correspond à  $I_i$  de l'intensité calculée  $I_c$ .
- e) Tourner  $P_1$  par incréments de  $10^\circ$  débutant avec la situation où les deux axes (ceux de  $P_1$  et de  $P_2$ ) sont parallèles ( $\theta = 0^\circ$ ) et notez  $I_{\text{Exp}}$  dans le tableau II. Votre dernière mesure correspond à  $\theta = 90^\circ$ .

### 3.2 Degré de polarisation par réflexion

Vous allez mesurer le degré de polarisation d'un faisceau de lumière naturelle réfléchi sur une lame de verre ( $n = 1,52$ ) selon l'angle d'incidence ( $\theta_i$ ) de votre équipe et donné au tableau I. Pour cette expérience, vous n'utiliserez qu'un seul polariseur ( $P_2$ ).

Assurez-vous que la lame de verre soit bien alignée sur le plateau tournant. Les mesures prises lors de cette expérience doivent être très précises !



FIGURE 4 – Alignement de la lame de verre sur le plateau.

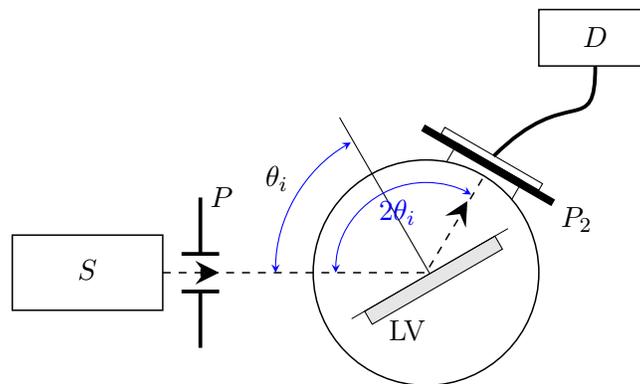


FIGURE 5 – Montage pour la mesure du degré de polarisation par réflexion

- Placez le montage tel qu'illustré à la figure 5, en respectant la valeur initiale de l'angle  $\theta_i$  correspondant à votre numéro d'équipe (tableau I). Notez que l'angle du support du polariseur doit être à  $2\theta_i$ .
- Sélectionnez l'échelle 0.3 à l'aide du bouton *sensitivity* du détecteur.
- Mettez  $P_2$  à  $0^\circ$ .
- Calibrez le détecteur en débutant par l'étape 2 de la section 4 *Calibration*.
- Tournez le polariseur afin de trouver les intensités minimum et maximum entre  $0^\circ$  et  $180^\circ$ . Mesurez les intensités maximale et minimale ainsi que les angles correspondants et les reporter au tableau III.

### 3.3 Établissement de l'axe de vibration

Pour les deux dernières expériences, ajoutez au montage précédent le premier polariseur  $P_1$ . Il faut placer le premier polariseur  $P_1$  selon votre angle  $\gamma_i$  tel que montré à la figure 6. La lumière doit être entrante sur le polariseur  $P_1$ .

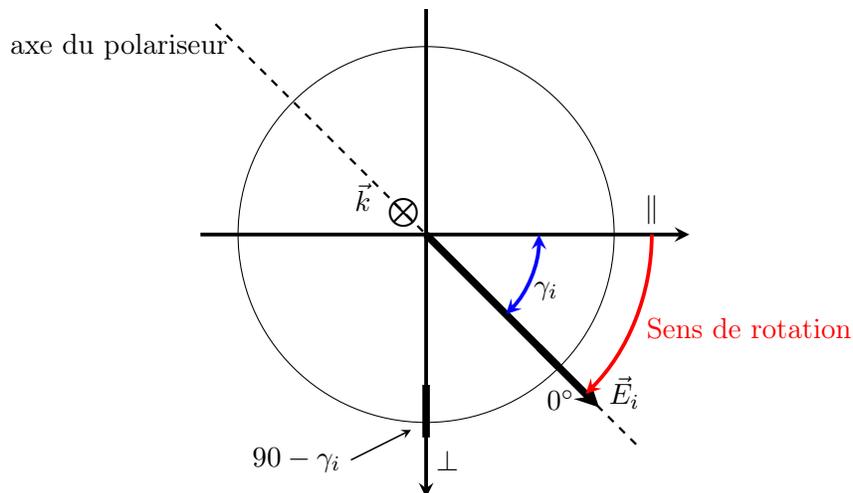


FIGURE 6 – Position du polariseur  $P_1$  pour l'établissement de l'axe de vibration.

#### 3.3.1 Établissement de l'axe de vibration de la lumière réfléchie

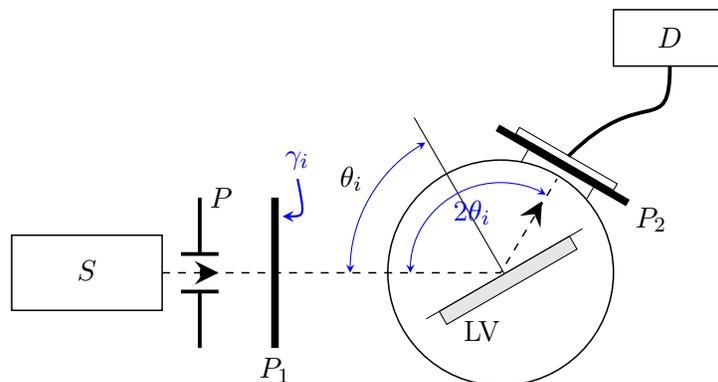


FIGURE 7 – Polarisation de la lumière réfléchie.

- Réalisez le montage présenté à la figure 7, en respectant les valeurs des angles  $\theta_i$  et  $\gamma_i$  qui vous ont été fournies (tableau I). Notez que l'angle du support du polariseur  $P_2$  doit être à  $2\theta_i$ .
- Placez initialement le polariseur  $P_2$  à  $90^\circ$ .
- Tournez le polariseur  $P_2$  dans le sens anti-horaire afin de trouver l'angle correspondant à l'intensité *maximale* et reportez vos résultats au tableau IV.
- Prenez une photo du polariseur  $P_2$  en vous assurant que votre angle est bien visible.

### 3.3.2 Établissement de l'axe de vibration de la lumière transmise

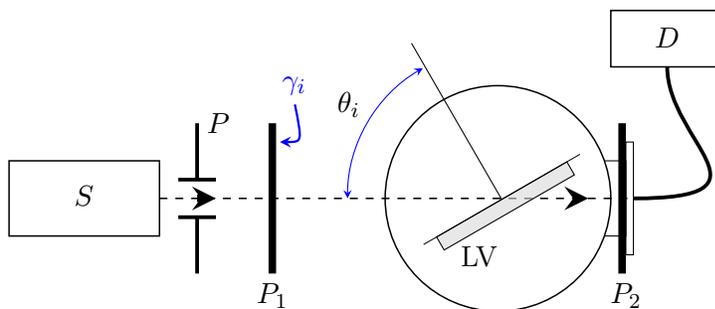


FIGURE 8 – Polarisation de la lumière réfléchie.

- Réalisez le montage présenté à la figure 8, en respectant les valeurs initiales des angles  $\theta_i$  et  $\gamma_i$  qui vous ont été fournies (tableau I).
- Placez initialement le polariseur  $P_2$  à  $90^\circ$ .
- Tournez le polariseur  $P_2$  dans le sens anti-horaire afin de trouver l'angle correspondant à l'intensité *minimale* et reportez vos résultats au tableau V.
- Prenez une photo de  $P_2$  en vous assurant que votre angle est bien visible.

## 4 Calibration

La calibration du détecteur (montré à la figure 9) pour chaque manipulation est une étape importante. Elle permet la mesure de la lumière provenant de la source seulement et d'éliminer la puissance provenant de sources extérieures comme les lampes du plafond ou l'éclairage des différents appareils.

Le détecteur possède trois boutons. Le premier "*Sensitivity*" est celui de l'échelle, il permet de diminuer ou d'augmenter la sensibilité de l'appareil. Notez dans votre rapport à quelle l'échelle vous avez fait vos mesures. Théoriquement, les échelles 0.1, 1, 10, 100 et 1000 font référence aux graduations jusqu'à 10 et les autres 0.3, 3, 30, 300 font référence aux graduations jusqu'à 3. Mais peu importe l'échelle, référez-vous aux graduations jusqu'à 10 (voir la figure 9). Le deuxième bouton "*Variable*" permet d'ajuster le maximum d'intensité de l'échelle à la graduation 10. Les mesures des intensités sont de toute façon relatives. Le troisième bouton "*Zero adjust*", le plus important, permet d'ajuster le zéro de la mesure et d'ainsi éliminer les intensités provenant des sources externes.



FIGURE 9 – Détecteur

Les étapes de la calibration sont les suivantes :

1. Sélectionnez l'échelle correspond à votre manipulation avec le bouton *sensitivity*.
  2. À l'aide du bouton *Variable* ajustez l'aiguille de l'écran entre 9 et 10. L'idéal est que l'aiguille pointe sur 10. Vous devez toujours laisser un laps de temps afin que l'aiguille se stabilise.
  3. Cachez la lumière à la sortie de la pupille à l'aide de la plaque noire et ajustez le bouton "zero adjust" afin que l'aiguille soit à zéro.
  4. Vérifier que l'aiguille ne dépasse pas 10. Sinon recommencer les sections 2 et 3.
- N'oubliez pas de prendre vos mesures lentement afin de permettre à l'aiguille de se stabiliser.

## 5 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

### 5.1 Vérification de la loi de Malus ; $I_c = I_i \cos^2 \theta$

Établissez l'intensité  $I_c$  qui devrait atteindre le détecteur en vertu de la loi de Malus pour chacun des angles considérés lors de la manipulation. Notez que du fait des réflexions multiples et de l'absorption, aucun polariseur ne peut transmettre 100% de l'intensité lumineuse incidente. Aux fins de la vérification de la loi de Malus, vous considérez  $I_i$  comme l'intensité mesurée pour  $\theta = 0^\circ$  c'est-à-dire  $I_{\text{Exp}}(0)$ .

Reportez vos résultats au tableau II et tracez un graphique illustrant les résultats expérimentaux et la courbe théorique.

### 5.2 Détermination expérimentale d'un degré de polarisation $V_R$ de la lumière réfléchie par une plaque de verre

À l'aide des résultats de la manipulation 2 évaluez le degré de polarisation de la lumière réfléchie à l'aide de l'équation suivante,

$$V_{RE} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}. \quad (2)$$

Reportez vos résultats au tableau III.

### 5.3 Établissement de l'axe de vibration de la lumière réfléchi.

Étant donné les valeurs de  $\theta_i$  et  $\gamma_i$ , établissez l'orientation théorique que devrait présenter le champ électrique réfléchi  $E_{rc}$ . Prenez  $n = 1,52$  pour l'indice de réfraction de la lame de verre. Reportez votre résultat au tableau IV.

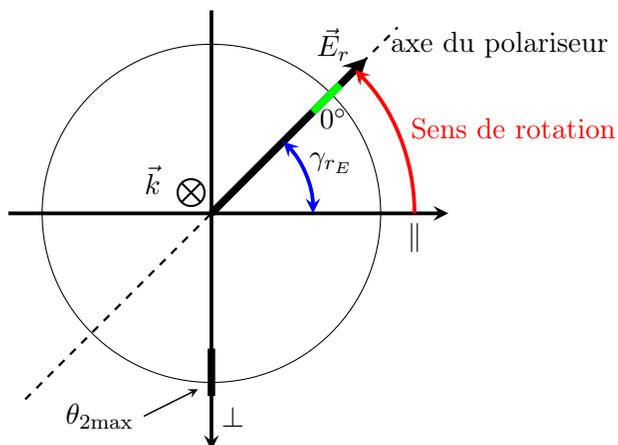


FIGURE 10 – Détermination de l'orientation du champ électrique réfléchi.

À partir de la mesure de  $\theta_{2\max}$ , déduisez l'axe de vibration du champ réfléchi  $E_r$ , à savoir  $\gamma_{rE}$ . Votre conclusion devra être justifiée par une figure représentant :

1. le polariseur avec la mesure utilisée ;
2. l'axe du polariseur ;
3. le champ électrique réfléchi  $E_r$  ;
4. le système d'axes  $\parallel$  et sur lequel apparaîtra clairement  $\gamma_r$  ;
5. le vecteur  $\vec{k}$ .

La figure 10 illustre ce qui est demandé dans le cas d'une mesure de  $\theta_{2\max}$ .

### 5.4 Établissement de l'axe de vibration de la lumière transmise.

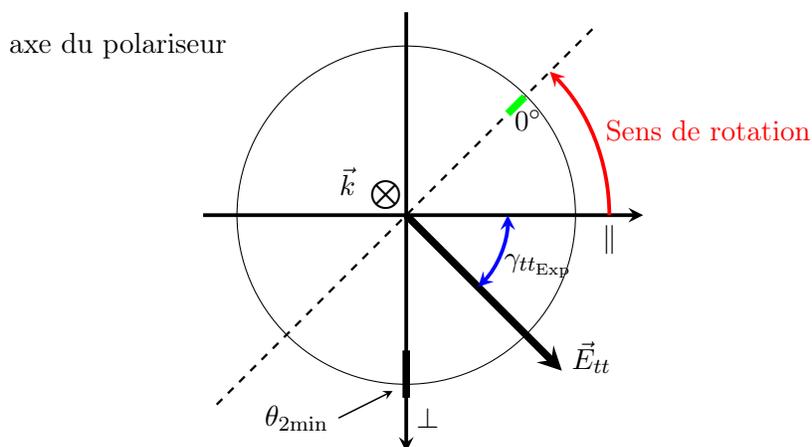


FIGURE 11 – Détermination de l'orientation du champ électrique transmis.

Étant donné les valeurs de  $\theta_i$  et  $\gamma_i$ , établissez l'orientation théorique que devrait présenter le champ électrique transmis  $E_t$ . En d'autres termes, calculez la valeur théorique de  $\theta_t$ . Prenez  $n = 1,52$  pour l'indice de réfraction de la lame de verre. Reportez votre résultat au tableau V.

À partir de la mesure de  $\theta_{2\min}$ , déduisez l'axe de vibration du champ réfléchi  $E_{tt_c}$ , à savoir  $\gamma_{tt_E}$ . Votre conclusion devra être justifiée par une figure représentant :

1. le polariseur avec la mesure utilisée ;
2. l'axe du polariseur ;
3. le champ électrique réfléchi  $E_{tt}$  ;
4. le système d'axes  $\parallel$  et sur lequel apparaîtra clairement  $\gamma_{tt}$  ;
5. le vecteur  $\vec{k}$ .

## 6 RAPPORT DE LABORATOIRE

Le rapport de laboratoire doit contenir les éléments suivants :

- Une page couverture avec numéro d'équipe, cours, groupe, enseignant et étudiant, etc ;
- les tableaux I à V remplis ;
- les détails des calculs pour les expériences 1 à 4 décrits dans la section "Interprétation des résultats".
- En ce qui a trait l'expérience 1 (vérification de la loi de Malus), vous vous contenterez d'un seul calcul type et d'un graphique représentant l'intensité transmise par le polariseur  $P_2$  en fonction de l'angle ;
- Pour les expériences 3 et 4, le calcul doit être accompagné de la figure décrite ci-haut qui justifie votre conclusion pour  $\gamma_{r_c}$  et  $\gamma_{tt_c}$  ;
- Inclure les photographies que vous avez prises lors de vos expériences ;
- une brève discussion sur les différences entre les résultats expérimentaux et les valeurs calculées pour chaque expérience.

## 7 TABLEAUX DES RÉSULTATS

$\theta_i$	$\gamma_i$	$\theta_t$	n° de montage

TABLEAU I – Données du problème.

$\theta$	$I_{\text{Exp}}$	$I_c$
0°		
10°		
20°		
30°		
40°		
50°		
60°		
70°		
80°		
90°		

TABLEAU II – Vérification de la loi de Malus

$I_{\text{max}}$	$\theta_{\text{max}}$	$I_{\text{min}}$	$\theta_{\text{min}}$	$V_{RE}$	$V_{Rc}$

TABLEAU III – Degré de polarisation par réflexion

$\theta_{2\max}$	$\gamma_{rE}$	$\gamma_{rc}$

TABLEAU IV – lumière réfléchie polarisée

$\theta_{2\min}$	$\gamma_{ttE}$	$\gamma_{ttc}$

TABLEAU V – lumière transmise polarisée

## 8 Données des différentes équipes :

Équipe	$\theta_i$	$\gamma_i$
1	20	20
2	20	30
3	20	40
4	20	50
5	30	20
6	30	30
7	30	40
8	30	50
9	40	20
10	40	30
11	40	40
12	40	50
13	50	40

TABLEAU VI – Données théoriques fournies du problème