

## LP 6 – Phénomènes de polarisation optique

Manon LECONTE et Joachim GALIANA - ENS de Lyon

Dernière mise à jour : 19 mai 2020

*Merci à Karine Braganti pour sa précieuse aide.*

**Mots-clé** : polarisation, loi de Biot, cristaux liquides.

**Niveau** : terminale STL

**Pré-requis** :

- Ondes mécaniques, progressives, périodiques [T STL]
- Ondes électromagnétiques, lumière [T STL]
- Chiralité [T STL]
- Concentration d'une espèce chimique ; dosage par étalonnage [T STL]
- Etats de la matière [seconde]

**Bibliographie** :

- Valeur, *Lumière et luminescence*
- Hecht, *Physique* [Niveau : \*\*\* ]
- Houard, *Optique, une approche expérimentale et pratique*
- Animations EduMedia (polarisation, polariseur) [Niveau : \* ]
- Taillet, *Dictionnaire de physique* [Niveau : \*\* ]
- Ray, *La physique par les objets du quotidien*, chap. 10 [Niveau : \*\* ]

### Plan proposé

<b>I - De la lumière naturelle à la lumière polarisée</b>	<b>3</b>
A/ Description . . . . .	3
B/ Obtention d'une lumière polarisée rectilignement . . . . .	3
<b>II - Utilisations de la polarisation</b>	<b>4</b>
A/ Polarimétrie . . . . .	4
B/ Afficheurs à cristaux liquides . . . . .	6

## Liste de matériel

### Création d'une lumière polarisée rectilignement

- deux polariseurs ;
- un LASER ;
- un banc optique ;
- un écran.

### Mesure d'une concentration par polarimétrie

- deux polariseurs ;
- un LASER ;
- un banc optique ;
- un écran ;
- solutions de limonène à différentes concentrations connues ;
- solution de limonène de concentration inconnue ;
- une cuve rectangulaire ;
- un support-Boy ;
- ordinateur avec Regressi.

## Introduction pédagogique

La leçon se place assez naturellement dans le programme actuel de terminale STL, en SPCL, dans le cadre de l'étude des ondes. Les phénomènes de polarisation sont abordés sous deux angles dans le programme de terminale : la mesure (menant à la détermination d'une concentration) et l'utilisation de ces phénomènes (écrans LCD...).

On se limite à des dispositifs optiques simples : LASER, polariseur et analyseur, pour que l'élève identifie le plus facilement possible tous les éléments associés au phénomène de polarisation.

**Difficulté** : Comprendre le phénomène de polarisation, qui n'est pas visible à l'œil nu. Pour cela, on fera des analogies avec les ondes mécaniques (excitation d'une corde) et on utilisera des animations en ligne.

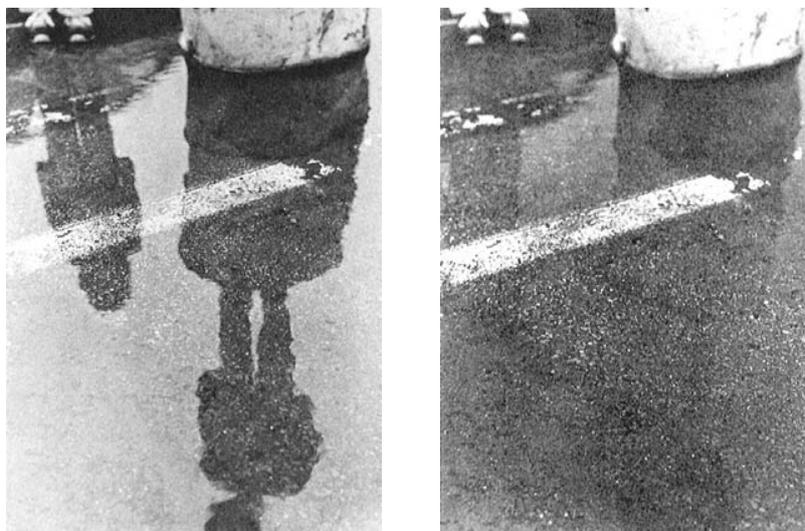
**Exemple de TD** : analyse documentaire autour des cristaux liquides.

**Exemples de TP** :

- "Démonstration" de la loi de Biot (retrouver la formule en faisant varier certains paramètres) ;
- Détermination d'une concentration à l'aide la loi de Biot ;
- Analyse d'écrans LCD.

## Introduction

Dans la vie de tous les jours, on rencontre des objets « polarisants ». Par exemple, les lunettes anti-reflets permettent de ne plus observer de reflets à la surface d'une flaque, d'un lac...



(a) Sans filtre anti-reflet

(b) Avec filtre anti-reflet

**Figure 1** – Photographie d'une flaque d'eau (**Source** : Hecht (p. 1020)).

Pour comprendre ce qu'il se passe, il faut se rappeler de la nature de la lumière : il s'agit d'une onde électromagnétique. Elle correspond à la propagation dans l'espace d'un champ électrique et d'un champ magnétique couplés et orthogonaux entre-eux, tous les

deux orthogonaux à la direction de propagation : l'onde est **transverse**.

Nous allons expliquer cette observation par l'étude de la polarisation de la lumière.

**Objectifs** – Comprendre le phénomène de polarisation de la lumière et savoir comment l'exploiter.

## I - De la lumière naturelle à la lumière polarisée

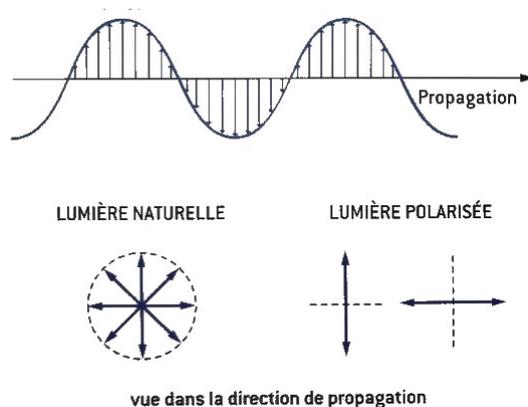
### A/ Description

**Définition – Polarisation** : orientation du vecteur champ électrique lorsqu'un observateur regarde l'onde se propageant vers lui.

**Polarisation rectiligne** : le champ électrique est émis suivant une seule direction, appelée **axe de polarisation**.

On peut faire l'analogie avec les ondes mécaniques : on peut exciter une corde verticalement, horizontalement, ... ces différentes directions d'excitation correspondent aux différentes polarisations de l'onde sur la corde.

La lumière est toujours polarisée à un instant donnée. On considère qu'elle n'est pas polarisée quand les variations de la direction du champ électrique sont trop rapide par rapport au temps d'observation (exemple : le Soleil). On parle alors de **lumière naturelle**.



**Figure 2** – Visualisation de la polarisation d'une onde (**Source** : Valeur, *Lumière et luminescence* (p. 29)).

### B/ Obtention d'une lumière polarisée rectilignement

La polarisation d'une onde électromagnétique ne se voit pas directement à l'œil nu. On a recours à des matériaux (les mêmes que celui des lunettes polarisantes) appelés **polariseurs**, qui ne sélectionnent qu'une seule direction de polarisation, appelée **axe de transmission**.

**Expérience** – Passage d'un rayon laser à travers un polariseur, HECHT p. 1015. On observe une intensité lumineuse moindre quand le rayon passe par le polariseur. En revanche, si on tourne l'axe de transmission, l'intensité lumineuse reste constante.

Cependant, cette expérience ne montre pas que la lumière en sortie du polariseur est polarisée. On a alors recours à un second polariseur, appelé **analyseur**.

**Expérience** – Passage d'un rayon laser à travers un polariseur puis un analyseur. En tournant l'analyseur, on observe une **extinction** si son axe de transmission est orthogonal à celui du polariseur.

**Animation** – Montage expérimental (Source : eduMedia).

**Remarque** – Une erreur s'est glissée dans l'animation : l'axe de polarisation de l'onde en sortie de l'analyseur doit être le même que l'axe de transmission de l'analyseur.

## II - Utilisations de la polarisation

### A/ Polarimétrie

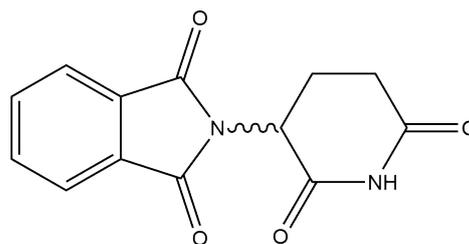
**Définition** – **Polarimétrie** : mesure de l'angle de déviation de l'axe de polarisation d'une lumière polarisée rectilignement après passage dans un échantillon.

#### 1) Vers la loi de Biot

Certaines molécules sont dites **chirales** : elles ne sont pas superposables à leur image dans un miroir plan. Ces différences dans l'organisation spatiale de la molécule ont plusieurs conséquences, parfois désastreuses. Par exemple, le (+)-limonène a une odeur d'agrumes (orange ou citron), tandis que le (-)-limonène a une odeur de pin. Le thalidomide est un médicament dont l'énantiomère est tératogène (il conduit à des malformations du fœtus s'il est prescrit à des femmes enceintes).



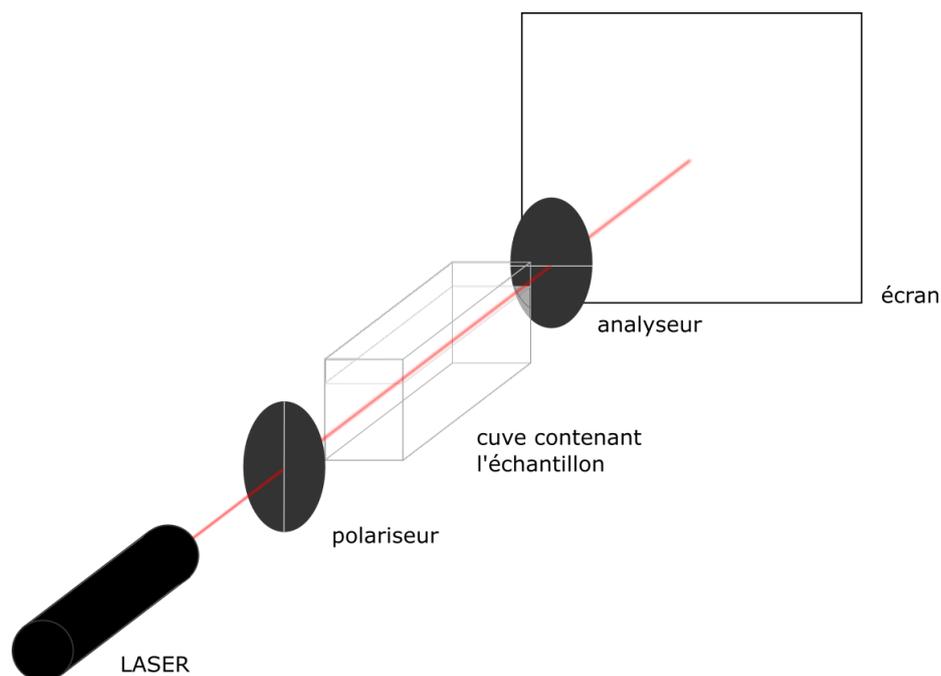
(a) Structure du (+)-limonène



(b) Structure du thalidomide

Ces molécules chirales ont également la capacité de dévier la lumière polarisée. On dit qu'elles sont **optiquement actives**. Le (+)-limonène dévie la lumière polarisée dans le sens positif, c'est-à-dire vers la droite quand on regarde la lumière ayant traversé l'échantillon. On dit que le (+)-limonène est **dextrogyre**. A l'inverse, le (-)-limonène est **lévogyre** et dévie la lumière polarisée dans le sens négatif.

**Expérience** – On reprend le montage précédent en se plaçant à l'extinction et on ajoute une cuve.



- Si elle contient de l'éthanol, on observe toujours une extinction ;
- En revanche, si on ajoute du limonène énantiomériquement enrichi, on observe de nouveau de la lumière. On cherche la nouvelle extinction. L'angle de déviation mesuré suit la loi de Biot.

**Définition** – **Loi de Biot** : (début du XIX<sup>me</sup> siècle) le **pouvoir rotatoire** de l'échantillon vérifie  $\alpha = [\alpha] l c$ , avec  $\alpha$  en degrés ( $^{\circ}$ ),  $l$  en dm,  $c$  en g/mL, donc  $[\alpha]$  en  $^{\circ}\text{mL/g/dm}$ .

## 2) Détermination d'une concentration par polarimétrie

On effectue un dosage par étalonnage : tout d'abord, on mesure les angles de déviation de plusieurs solutions de limonène de concentrations connues dans la même cuve. On connaît alors la valeur de  $[\alpha]_D^{20} l$  en traçant la droite d'étalonnage. Puis, on mesure l'angle de déviation pour une solution de concentration inconnue. On en déduit grâce à la loi de Biot cette concentration.

La plus grosse incertitude sur cette expérience est la mesure de l'angle de déviation, car il est difficile de repérer une extinction (c'est tout de même plus simple que de repérer

un maximum d'intensité).

## B/ Afficheurs à cristaux liquides

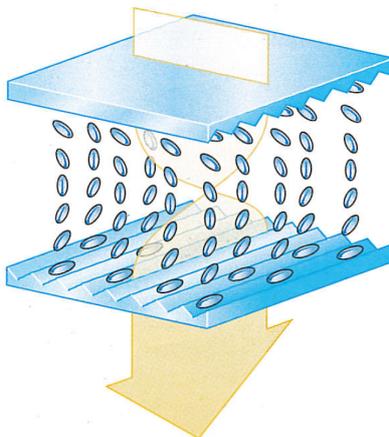
### 1) Les cristaux liquides

**Définition – Cristal liquide** : milieu constitué de molécules allongées pouvant s'aligner entre elles.

Le cristal liquide est un état de la matière intermédiaire entre les états solide et liquide. Les molécules qui le composent, représentées par des bâtonnets, créent une **anisotropie** du milieu : la lumière ne se propage pas de la même manière dans les différentes directions du cristal liquide. Cette anisotropie est utilisée dans de nombreux écrans : calculatrice, écrans LCD (*Liquid Crystal Display*), ...

### 2) Les écrans à cristaux liquides

Lorsque l'on place un cristal liquide entre deux plaques, les molécules qui le constituent s'orientent globalement parallèlement aux plaques. Si l'on fait passer de la lumière polarisée à travers ce dispositif, son axe de polarisation est dévié de  $90^\circ$  (figure 3).

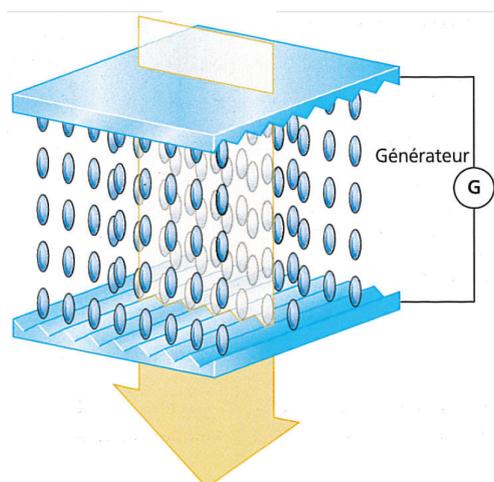


**Figure 3** – Cellule de cristaux liquides éclairée par une lumière polarisée (**Source** : Ray (p. 93)).

Lorsque l'on applique une tension entre les deux plaques, les molécules s'orientent orthogonalement à celles-ci. Ainsi, l'axe de polarisation de la lumière polarisée qui traverse la cellule de cristaux liquides n'est pas déviée (figure 4).

On peut ainsi utiliser ce système pour l'affichage des écrans : on allume les pixels, correspondant à des cellules de cristaux liquides en leur imposant une tension, comme un interrupteur.

Pour montrer qu'un écran est de type LCD, il suffit de l'observer à travers un polariseur. Si en faisant tourner ce dernier on observe une extinction, il s'agit d'un écran LCD.



**Figure 4** – Cellule de cristaux liquides soumise à une tension éclairée par une lumière polarisée (Source : Ray (p. 94)).

## Conclusion

La lumière naturelle est non polarisée. Pour créer une lumière polarisée rectilignement, c'est à dire dont le champ électrique est dans un axe de polarisation fixe, il faut la faire passer à travers un matériau polarisant.

Cependant, la lumière peut aussi se polariser après réflexion sur un matériau non polarisant (flaque d'eau, carrelage, vitre, ...). Ces reflets peuvent être gênants, c'est pourquoi on utilise des lunettes polarisantes, anti-reflets.