

LP 33 – Phénomènes de polarisation optique

Manon LECONTE - ENS de Lyon

Dernière mise à jour : 19 mai 2020

Merci à Joachim Galiana, Estelle Meyer et Hélène Piot-Durand-Lecomte pour leur précieuse aide.

Mots-clé : polarisation rectiligne, loi de Malus, polariseur à grille, écran LCD.

Niveau : PCSI

Pré-requis :

- Description des ondes (ondes mécaniques, ondes électromagnétiques) [PCSI]
- Mouvement d'espèces chargées sous l'action d'un champ électrique ou d'une tension [TS]
- Projection des vecteurs [TS]
- Images numériques (pixellisation) [TS]

Bibliographie :

- Salamito, *Physique tout-en-un PCSI* [Niveau : *]
- Taillet, *Dictionnaire de physique* [Niveau : *]
- Valeur, *Lumière et luminescence*
- Hecht, *Optique* [Niveau : ***]
- Fruchart, *Physique expérimentale : optique, mécanique des fluides, ondes et thermodynamique : expériences*
- Ray, *La physique par les objets du quotidien*, chap. 10 [Niveau : *]

Plan proposé

I - De la lumière naturelle à la lumière polarisée	2
A/ Description	2
B/ Obtention d'une lumière polarisée rectilignement	4
C/ Loi de Malus	5
II - Afficheurs à cristaux liquides	6
A/ Les cristaux liquides	6
B/ Les écrans à cristaux liquides	6

Liste de matériel

Création d'une lumière polarisée rectilignement

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

Vérification de la loi de Malus

- deux polariseurs ;
- un LASER ;
- un banc optique ;
- un photodétecteur (photodiode) ;
- une carte d'acquisition Sysam ;
- un ordinateur muni du logiciel Latispro.

Introduction pédagogique

Ce cours se place au niveau PCSI, à la fin de la séquence sur la propagation du signal. Il pourra se placer juste après un cours sur la diffraction à l'infini. A ce niveau, on se focalise sur la polarisation rectiligne et on introduit la loi de Malus, qui peut faire l'objet d'un TP.

On fait le choix de travailler avec un laser pour avoir une lumière plus visible et plus concentrée. Cela permet de s'affranchir d'autres dispositifs optiques (lentilles, diaphragmes, ...) qui pourraient être utiles si on utilisait une source de lumière moins concentrée.

Difficultés :

- la notion de polarisation peut sembler de prime abord abstraite car elle est invisible à l'œil nu. On s'appuiera donc sur l'expérience et des schémas afin de mieux visualiser le phénomène ;
- matériaux responsables de la création d'une lumière polarisée (polariseur à grille et cristaux liquides) → comprendre comment leur anisotropie influe sur la polarisation de la lumière.

Exemples de TD : Etude documentaire sur des applications de la polarisation optique (écrans LCD, verres polarisants, ...).

Exemples de TP :

- Déterminer l'axe de polarisation d'une lumière polarisée ;
- Retrouver expérimentalement la loi de Malus.

Introduction

Peut-être avez-vous déjà fait l'expérience de prendre une photographie en format paysage l'été ? Si vous portiez alors des lunettes de soleil aux verres polarisants, vous avez pu vous apercevoir que l'écran de votre appareil s'éteignait dans cette position, mais pas dans la position verticale. Cela est dû à la polarisation de la lumière émise par l'écran de l'appareil.

- | **Objectifs** – Comprendre le phénomène de polarisation optique.
Connaître la loi de Malus.

I - De la lumière naturelle à la lumière polarisée

A/ Description

La lumière est une onde électromagnétique composée d'un champ magnétique \vec{B} et d'un champ électrique \vec{E} et qui se propage selon un vecteur d'onde \vec{k} . Ces trois vecteurs sont orthogonaux les uns par rapport aux autres et orientés selon le trièdre direct $(\vec{k}, \vec{E}, \vec{B})$. On appelle alors **plan transverse** le plan formé par les vecteurs \vec{E} et \vec{B} .

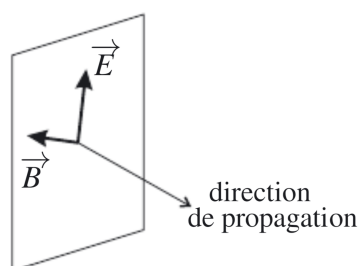


Figure 1 – Triède direct constituant la lumière (Source : Salamito (p. 143)).

Définition – Polarisation : orientation du vecteur champ électrique \vec{E} 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**.

| **Animation – Lumière polarisée rectilignement** (Source : GeoGebra.

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 donné. 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 (c'est le cas de la lumière nous provenant du Soleil). On parle alors de **lumière naturelle**.

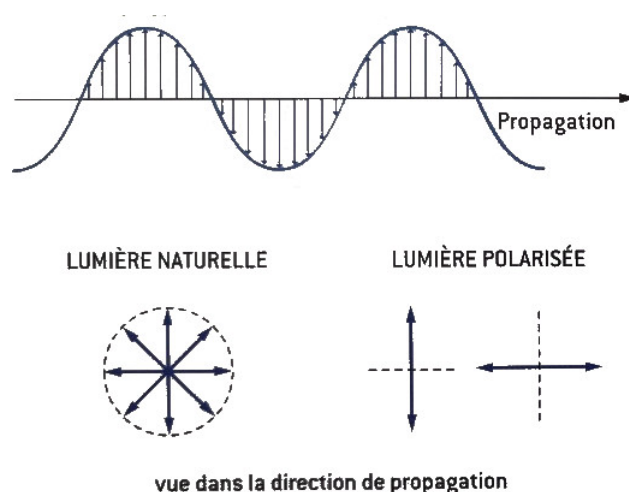


Figure 2 – Visualisation de la polarisation d'une onde (Source : Valeur, *Lumière et luminescence* (p. 29)).

B/ Obtention d'une lumière polarisée rectilignement

1) Montage expérimental

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.

2) Polariseur à grille

Il existe plusieurs types de matériaux employés pour obtenir un polariseur. Les **polariseurs à grille** étaient les premiers polariseurs utilisés historiquement.

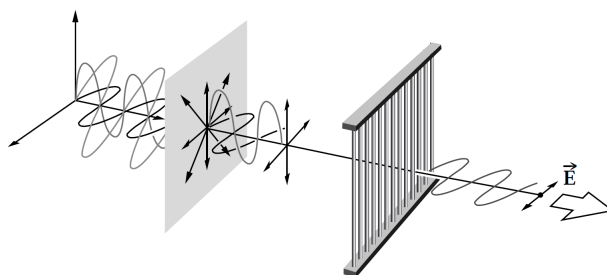


Figure 3 – Fonctionnement du polariseur à grille (**Source** : Hecht (p. 347)).

Ils sont composés d'une grille de fils conducteurs. Lorsqu'une lumière naturelle arrive sur cette grille, la composante du champ \vec{E} parallèle aux fils induit un mouvement des électrons libres du conducteur. L'énergie qui a ainsi été transmise au matériau est dissipée par effet Joule. On en déduit une atténuation de la composante du champ \vec{E}

parallèle aux fils. La composante orthogonale au fil n'induit quant à elle pas de mouvement d'électrons et donc pas de dissipation d'énergie. C'est ainsi que l'on obtient une lumière polarisée selon l'axe orthogonal à la grille.

Aujourd'hui, on utilise essentiellement des matériaux polymères, appelés **Polaroïds**.

C/ Loi de Malus

Animation – Evolution de l'éclairement en fonction de l'angle entre l'axe du polariseur et celui de l'analyseur (**Source** : univ. Le Mans).

L'éclairement est proportionnel à la moyenne du carré de la norme du champ électrique. Or, si l'on fait passer une lumière polarisée rectilignement à travers un analyseur, on peut considérer qu'elle est projetée selon l'axe de l'analyseur :

$$\|\vec{E}'\| = \|\vec{E}\| \cos \alpha \tag{1}$$

avec α l'angle entre l'axe de l'analyseur \vec{v}_A et la direction du champ \vec{E} , soit entre les axes de l'analyseur et du polariseur.

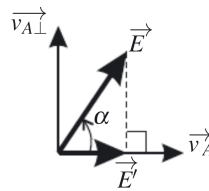


Figure 4 – Projection du champ électrique sur l'axe de l'analyseur (**Source** : Salamito (p. 146)).

On en déduit une expression de l'éclairement :

Définition – **Loi de Malus** : $\mathcal{E}' \propto \mathcal{E} \cos^2 \alpha$.

Expérience – Détermination expérimentale de la loi de Malus à l'aide d'un photorécepteur (**Source** : Fruchart (p. 184)).

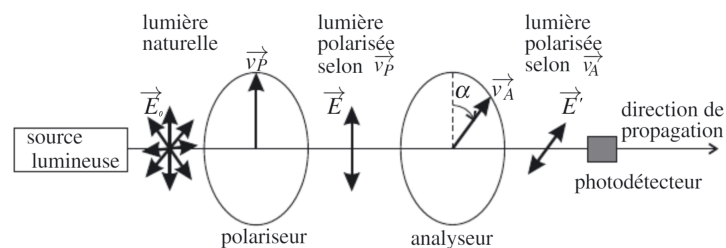


Figure 5 – Montage expérimental (**Source** : Salamito (p. 147)).

II - Afficheurs à cristaux liquides

A/ 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*), ...

B/ 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° (figure 6).

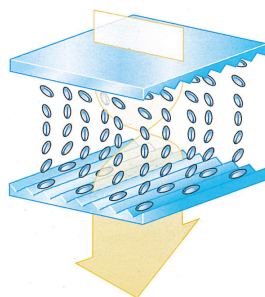


Figure 6 – Cellule de cristaux liquides éclairée par une lumière polarisée (**Source** : Ray (p. 93)).

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 7).

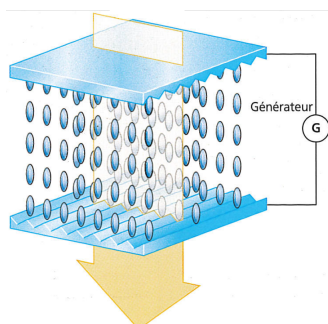


Figure 7 – Cellule de cristaux liquides soumise à une tension éclairée par une lumière polarisée (**Source** : Ray (p. 94)).

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.

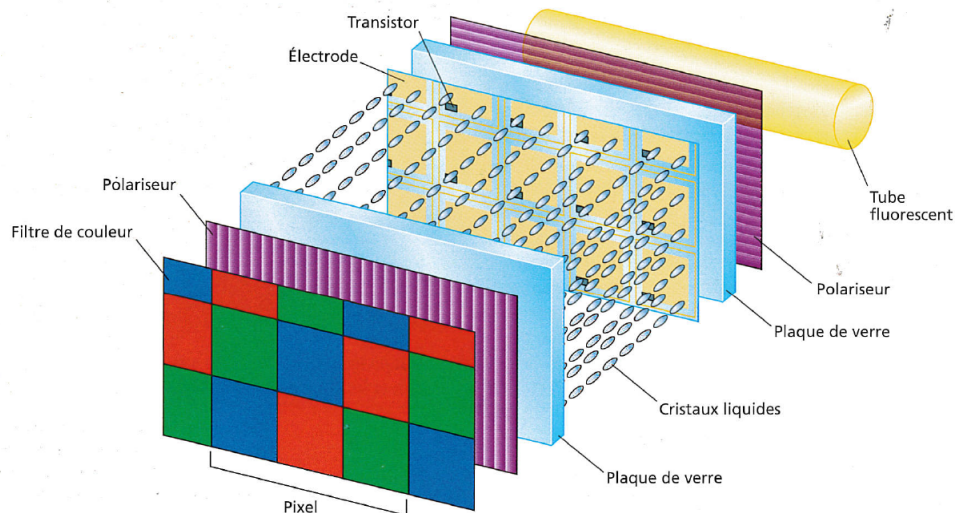


Figure 8 – Affichage sur un écran LCD composé de pixels (**Source** : Ray (p. 96)).

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.

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, par exemple un polariseur à grille. Pour déterminer si une lumière est polarisée rectilignement, on peut utiliser un dispositif polariseur + analyseur et observer l'influence de l'angle entre leurs deux axes sur l'éclairement. Cette dernière suit la loi de Malus : $\mathcal{E}' \propto \mathcal{E} \cos^2 \alpha$.

Une application à grande échelle de la polarisation optique est l'écran LCD, utilisant des cristaux liquides. On comprend alors pourquoi la lumière des écrans est généralement polarisée et donc pourquoi on observe une extinction en les tournant et en portant des lunettes de soleil polarisantes.

Il existe un autre moyen de polariser partiellement la lumière : la réflexion sur un matériau diélectrique (flaque d'eau, carrelage, vitre, ...). C'est ce que l'on verra en PC.