

# SOURCES LUMINEUSES, SPECTRES ET POLARISATION

*On prendra soin de reporter dans le compte-rendu :*

*courbes visualisées, mesures et leur incertitude estimée, commentaires et interprétations.*

*Les graphes et régressions linéaires seront effectuées à l'aide d'un tableur, et imprimées en fin de séance.*

## Objectifs :

- Observer et analyser le spectre produit par diverses sources lumineuses, de façon qualitative et quantitative.
- Identifier ou produire, à l'aide d'un polariseur, une onde lumineuse polarisée rectilignement et analyser sa direction de polarisation.
- Vérifier la loi de Malus de l'intensité transmise par une succession de deux polariseurs.

La lumière est une onde de nature vectorielle (vibration du champ électromagnétique). Dans le vide comme dans les milieux linéaires (le cas de l'air), l'onde est dite transverse car les vecteurs champ électrique ( $\vec{E}$ ) et magnétique ( $\vec{B}$ ) sont tous deux orthogonaux à la direction de propagation.

Bien qu'aux fréquences de l'optique les récepteurs soient seulement sensibles à la moyenne de la norme du champ, il est parfois possible de mettre en évidence ce caractère vectoriel. En particulier, cela est possible lorsque l'onde est polarisée rectilignement, c'est-à-dire lorsque les vecteurs  $\vec{E}$  et  $\vec{B}$  gardent à tout moment une direction constante<sup>1</sup>.

## Recommandations :

- Une fois allumées, les lampes spectrales **ne doivent plus être éteintes** (les tourner ou les masquer si vous n'en avez plus besoin). En fonctionnement, les lampes peuvent être **très chaudes**.
- Tout faisceau laser est **potentiellement dangereux**, même si ceux utilisés en TP sont de faible puissance. On ne doit **JAMAIS regarder le faisceau en face de sa source**<sup>2</sup>.
- La bougie ne doit être allumée que pendant le temps de la mesure, en éloignant par précaution tout matériau inflammable (papier, plastique, vêtements).
- Les expériences qui ont lieu sur le banc d'optique nécessitent, pour garantir des mesures fiables, de veiller à la qualité du **centrage** des instruments successifs.

## I. Spectres de diverses sources lumineuses

### Spectroscopie

Pour décomposer la lumière émise par une source et observer son spectre, on utilise un prisme taillé dans un verre suffisamment dispersif. Le Prisme à Vision Directe (PVD) présente l'intérêt d'offrir une direction d'observation globalement identique à celle de la lumière incidente. On peut alors obtenir une vision qualitative du spectre en regardant directement la source à travers le PVD. On peut aussi construire une représentation quantitative de ce spectre d'une part en étalonnant la relation entre déviation angulaire et longueur d'onde, mais aussi en mesurant l'intensité du rayonnement en fonction de la longueur d'onde. C'est le principe du spectromètre à fibre qu'on utilise dans ce TP<sup>3</sup>.

---

1. Pour une lumière non polarisée, la direction du champ varie à chaque train d'onde, c'est-à-dire très rapidement en pratique.

2. Pour la même raison il faut se méfier des réflexions parasites qui peuvent se produire sur une surface réfléchissante (montre, bijou métallique, fente réglable et autre instrument).

3. En toute rigueur le spectromètre mesure, par l'intermédiaire d'un capteur CCD, l'irradiance ou *éclairage énergétique*, c'est-à-dire une puissance par unité de surface en  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ . Toutefois, par simplicité on parlera par la suite plus généralement de mesure d'*intensité*, même si le terme est imprécis.

### • MANIP 1 : Observation qualitative à l'aide d'un PVD

A l'aide d'un PVD, observer directement le spectre de diverses sources lumineuses à votre disposition, à l'exception des lasers :

- lumière naturelle solaire,
- lampe à incandescence de bureau,
- tubes fluorescents de l'éclairage de la salle,
- source LED (sur le banc d'optique).
- lampes spectrales à décharges (Sodium, Mercure, ... d'autres ampoules sont disponibles). **Attention : on interposera une lame de verre pour limiter le flux de rayonnement UV.**

On utilise maintenant le spectromètre à fibre connecté à l'ordinateur (logiciel SpectroVio, cf annexe dédiée).

### • MANIP 2 : Observation quantitative à l'aide d'un spectroscopie à fibre

- Détacher la tête de la fibre de son support sur le banc pour l'orienter vers les sources.
- Observer rapidement l'allure des spectres des sources étudiées précédemment.
- Observer le spectre d'un laser vert (à emprunter à un groupe TP LASER). Commenter.
- Observer le spectre d'une flamme de bougie. Ajouter un peu de sel fin à la base de la flamme et renouveler l'observation. Interpréter.

## II. Fabrication ou analyse d'une lumière polarisée

### Principe du polariseur

On utilise un polariseur *dichroïque*, c'est-à-dire un matériau plastique constitué de longues chaînes de polymères étirées majoritairement dans une direction, qui absorbe fortement l'onde lumineuse pour une direction privilégiée du champ électromagnétique.

Lorsqu'une onde lumineuse traverse le polariseur en incidence normale, le champ électromagnétique est parallèle au plan du polariseur. L'une des composantes du champ est entièrement absorbée ou partiellement si l'intensité est trop forte). **La lumière émerge alors polarisée rectilignement** selon la direction orthogonale à la direction d'absorption.

Par ailleurs, si la lumière incidente est déjà polarisée rectilignement, le polariseur ne laisse passer que la projection du champ sur son axe. En tournant le polariseur, on peut alors trouver une position telle que l'absorption soit maximale (voire totale... c'est l'*extinction*).

### • MANIP 3 : Recherche d'une polarisation rectiligne

A l'aide d'un polariseur et d'un écran, analyser quelques sources parmi celles précédemment étudiées pour déterminer si elles sont polarisées ou non. Qu'en est-il de la source LED ?

### Vérification de la loi de Malus

On note  $\theta$  l'angle formé par la direction de la polarisation rectiligne de l'onde incidente et la direction de transmission maximale du polariseur. Le champ qui émerge a subi une projection le long de l'axe du polariseur. Il est donc multiplié par  $\cos \theta$  (et un facteur d'absorption constant). L'intensité du rayonnement émergent, qui dépend du champ de façon quadratique, doit donc varier selon la loi de Malus :

$$I = I_0 \cos^2 \theta,$$

où  $I_0$  est une constante qu'il n'est pas utile de déterminer ici.

On se propose ici de vérifier cette loi de deux manières, en mesurant à la fois l'intensité pour une ou plusieurs longueurs d'ondes précises grâce au spectromètre<sup>4</sup>, mais aussi pour l'intensité totale portée par tout le spectre grâce au *luxmètre*<sup>5</sup>.

4. En fait il s'agit d'une mesure d'*irradiance*, comme précisé plus haut.

5. En toute rigueur le luxmètre ne mesure pas l'*intensité* mais l'*éclairage lumineux* (*flux lumineux* par unité de surface), dont l'unité est le *lux* (lx), qui vaut un *lumen* (lm) par mètre carré. Le flux lumineux en lumen est lui-même

**• MANIP 4 : Loi de Malus**

- Interposer deux polariseurs entre la source LED et la tête de la fibre optique fixée sur son support.
- Pour une série de valeurs de l'angle  $\theta$  formé par les axes des polariseurs, mesurer l'intensité à l'aide du spectromètre pour une ou plusieurs longueurs d'ondes bien choisies <sup>a</sup>.
- A chaque valeur de  $\theta$ , on prendra aussi une mesure avec le luxmètre en prenant soin de le faire toujours dans les mêmes conditions (luxmètre plaqué contre le polariseur par exemple).
- Saisir les séries de mesures dans un tableur et vérifier, en traçant les graphes pertinents, si la loi de Malus s'applique aux longueurs d'ondes choisies ainsi qu'à l'intensité totale.

---

<sup>a</sup>. On prendra soin de régler la durée d'intégration, et/ou jouer sur la position de la fibre, de sorte à maximiser l'amplitude du spectre sans toutefois saturer pendant toute l'expérience.

---

obtenu en multipliant l'intensité lumineuse en *candela* (cd) par l'angle solide utile en *steradian* (sr). Pour résumer :  $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm.m}^{-2} = 1 \text{ cd.sr.m}^{-2}$ . Toutes ces grandeurs sont qualifiées de *lumineuses* car elles sont rattachées uniquement à la partie visible du spectre électromagnétique, et traduisent la perception par l'oeil humain. En cela elles font parties des grandeurs dites *photométriques*, qui sont dites **subjectives**, par opposition aux grandeurs dites *radiométriques*, qui sont indépendantes de l'oeil humain et servent sur tout le spectre.

## ANNEXE - Utilisation du logiciel SpectroVio

Après l'ouverture du logiciel, assurez-vous que la **connexion** soit bien établie (bouton supérieur gauche avec les 2 flèches).

Placez-vous en **mode Spectrographe** (ou Spectromètre, bouton en bas à gauche).

### Fonctions importantes

**Temps d'intégration** : Permet de modifier l'intensité du graphique, en augmentant le temps d'intégration du signal<sup>6</sup>. Attention, en augmentant le temps d'intégration vous augmentez aussi l'intensité du bruit. Pour avoir le meilleur rapport signal sur bruit, on préconise de placer le temps d'intégration à 3 ms.

**Correction de sensibilité** : Le capteur du spectromètre n'est pas également sensible à toutes les longueurs d'ondes ; il admet une certaine courbe de sensibilité. Avant toute exploitation il est nécessaire d'activer la correction de sensibilité, c'est-à-dire la prise en compte de la sensibilité propre du capteur du spectromètre pour ne rendre compte que du spectre de la lumière entrant dans l'instrument. Cela se fait en chargeant un fichier de paramètres propre au spectroscopie utilisé, disponible dans le dossier *Spectrovio* sur le Bureau.

**Snap Shot** : Arrêt sur image. Une fois l'acquisition suspendue vous pouvez utiliser toutes les fonctions du logiciel comme la plaquette ?Outils de mesures ? pour l'exploitation des résultats, ou enregistrer votre courbe (ou même faire une impression d'écran). Si vous souhaitez reprendre l'acquisition appuyez de nouveau sur SNAP SHOT.

### Autres fonctions éventuellement utiles

**Réglage du graphique** : Les réglages du graphique permettent de mieux ajuster le graphique pour l'observation des phénomènes étudiés : Noir, Auto Scale, Full Scale, Manuel.

**Outils de mesure** : Cliquer sur Coordonnées puis choisir le mode Curseur ou Explorer. Le mode Explorer est aussi accessible depuis le mode Zoom.

**Exporter les données** : par une simple sauvegarde du spectre (menu Fichier / Sauver / Spectre), on obtient une sauvegarde du spectre au format texte .txt exploitable avec un tableur ou logiciel de traitement de données quelconque.

**Comparer les courbes** : Les spectres précédemment sauvegardés peuvent ensuite être réutilisés grâce à la fonction de superposition du logiciel (menu Superposition, jusqu'à 7 spectres superposables).

---

6. En cas d'étalonnage de l'appareil (Noir et Blanc pour mode Absorption et Transmission), il faut régler le temps d'intégration avant l'étalonnage et ne plus le modifier ensuite. Dans le cas présent, il n'y a pas d'étalonnage à effectuer en mode Spectromètre.