

TP18 : Polarisation, loi de Malus

MP 2025-2026, Lycée Baimbridge

23 février 2026

Matériel

Laser, lampe blanche, lampe spectrale (mercure), filtre antithermique, deux polariseurs, générateur de courant continu, alimentation +15V/-15V, photodiode, boîte à décades de résistances, amplificateur opérationnel, fils, multimètre.

Objectif

Étudier la polarisation de différentes sources lumineuses. Mettre en évidence la loi de Malus.

Compétences évaluées

- Mesurer une intensité lumineuse à l'aide d'une photodiode
- Évaluer rigoureusement des incertitudes de mesure
- Evaluer quantitativement la validité d'une loi théorique.

Consignes pour le compte rendu de TP :

- Décrire le protocole expérimental utilisé
- Utiliser un maximum de schémas
- Apporter un soin particulier aux chiffres significatifs et au traitement des incertitudes
- Si la question n'est pas aboutie, indiquer tout de même ce que vous avez fait, vos mesures, et ce que vous auriez fait si vous aviez eu plus de temps
- Ne pas y passer trop de temps, vous êtes avant tout là pour manipuler !

1 Polarisation de différentes sources lumineuses

Les polariseurs disponibles en TP sont des matériaux qui absorbent l'énergie électrique correspondant au champ électrique dans une dimension $\vec{u}$, en laissant passer le champ porté par le vecteur $\vec{u}_\perp$ (situé dans le plan du polariseur et tel que $\vec{u}_\perp \perp \vec{u}$).

- 1 — On envoie sur le polariseur une onde d'intensité lumineuse I_0 :
- polarisée rectilignement selon $\vec{u}$
 - polarisée rectilignement selon $\vec{u}_\perp$
 - non polarisée (chaque train d'onde a une polarisation aléatoire).

Dans chacun des trois cas, quelle sera l'intensité lumineuse émergente du polariseur ?

□ 2 – Montrer alors que si l'on tourne un polariseur dans son plan, on peut détecter si une onde lumineuse est polarisée linéairement ou non.

□ 3 – Proposer un protocole et déterminer si les différentes sources lumineuses sont polarisées rectilignement, partiellement polarisées ou non polarisées :

- Lampe blanche
- Lampe spectrale
- Laser
- Lumière d'un écran de téléphone portable
- Lumière du soleil
- Bleu du ciel
- Lumière blanche des nuages

Rappel élémentaire de sécurité : On ne regardera pas directement le soleil, un laser ou une lampe spectrale même à travers un polariseur. Le polariseur n'apporte aucune protection.

2 Mesure d'une intensité lumineuse

Pour mesurer une intensité lumineuse, on utilisera une méthode déjà utilisée lors des TP1 et TP7.

Fonctionnement d'une photodiode

Une photodiode est un composant à base d'un semi-conducteurs (souvent du silicium) sensible à la lumière, et capable de transformer un signal lumineux en un signal électrique. Les photodiodes peuvent donc être utilisées en tant que capteur pour détecter la lumière ou mesurer son intensité.



Contrairement à une résistance par exemple, c'est un dipôle qui a une polarité, c'est à dire que ses deux bornes (anode et cathode) ne sont pas équivalentes.

En l'absence de lumière, la photodiode se comporte comme une diode classique, c'est-à-dire qu'elle ne laisse passer le courant que de l'anode vers la cathode (et elle bloque le courant dans l'autre sens).

Par contre, lorsqu'elle est exposée à la lumière, un courant électrique peut exister dans le sens inverse (c'est-à-dire dans le sens où la diode est censée bloquer le courant), et l'intensité i de ce courant "inverse" est proportionnelle à l'intensité lumineuse, ce qui permet d'utiliser la photodiode comme capteur de lumière.

Le courant i passant dans une photodiode aux bornes de laquelle la tension est nulle est ainsi proportionnel à l'intensité lumineuse I :

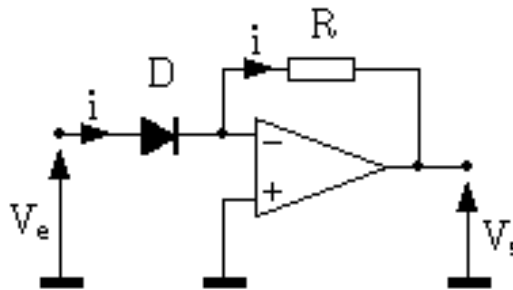
$$i = -K_d \cdot I \quad (1)$$

Le montage photodiode -amplificateur linéaire intégré

Un amplificateur linéaire intégré ou amplificateur opérationnel (abrégé ALI ou AO) est un quadripôle actif. Comme il s'agit d'un composant actif, il doit être alimenté par une source extérieure, en l'occurrence une source de tension continue $\pm 15\text{V}$. **L'alimentation de l'ALI doit être mise en place avant de lui envoyer un signal d'entrée quel qu'il soit.**

L'ALI, sous certaines conditions, permet de maintenir ses bornes $+$ et $-$ au même potentiel ($V_+ = V_-$), bien qu'aucun courant ne rentre ou ne sorte par ces bornes ($i_+ = i_- = 0$). Le courant sortant par la borne de sortie de l'ALI peut être non nul ($i_s \neq 0$).

On peut alors construire le montage suivant :



En pratique, on prendra ici $V_e = 0$ (on connecte l'entrée du circuit à la masse). On peut montrer que le montage permet d'obtenir une tension de sortie :

$$V_s = -Ri \quad (2)$$

□ 4 – A partir des documents, montrer que la tension obtenue en sortie du circuit est proportionnelle à l'intensité lumineuse arrivant sur la photodiode.

□ 5 – Comment mesurer la luminosité du faisceau laser arrivant sur la diode, sachant que l'expérience ne se fait pas dans le noir ?

3 Vérification de la loi de Malus

Nous souhaitons désormais vérifier la loi de Malus, que nous avons vue en cours : si une onde incidente d'intensité I_0 polarisée selon $\vec{u}_x$ est envoyée sur un polariseur formant un angle θ avec $\vec{u}_x$, alors l'onde émergente aura une intensité :

$$I_1 = I_0 \cos^2 \theta \quad (3)$$

Pour vérifier cette loi, nous allons créer une lumière polarisée à l'aide d'un laser et un polariseur. Puis, nous utiliserons un second polariseur (appelé "analyseur") pour vérifier la loi de Malus.

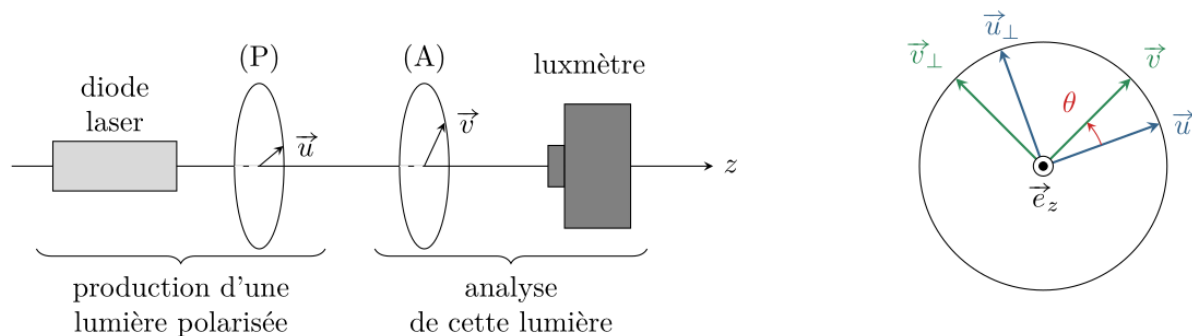


FIGURE 1 – Méthode utilisée pour vérifier la loi de Malus. Ici, la photodiode est utilisée comme luxmètre (mesure d'intensité lumineuse).

- 6 – Réaliser le montage proposé ci-dessus et proposer une méthode permettant de placer les directions $\vec{u}$ et $\vec{v}$ des deux polariseurs avec un angle θ connu précisément. Estimer l'incertitude sur cette valeur.
- 7 – Proposer un protocole simple permettant de tester la validité de la loi de Malus.
- 8 – Mettre en œuvre la méthode en relevant soigneusement les incertitudes.
- 9 – A l'aide de Python, ou sur papier millimétré (au choix), tracer vos points de mesure et les incertitudes associées. Comparer à la loi théorique. La loi est-elle vérifiée?

4 Minimisation des incertitudes de mesure

La méthode de mesure de l'angle θ peut difficilement être améliorée, mais elle rend l'ensemble de l'expérience extrêmement sensible au moindre décalage sur le repérage initial. Notons ϵ ce décalage : lorsqu'on lit un angle θ entre les directions $\vec{u}$ et $\vec{v}$, l'angle réel est $\theta + \epsilon$. Dans ce contexte, ϵ est qualifié de biais systématique : il reste le même à chaque réalisation de l'expérience, c'est-à-dire pour chaque valeur de θ .

Pour éviter toute confusion, notons par la suite $I_m()$ l'intensité mesurée pour un angle lu θ et $I_r()$ l'intensité mesurée pour un angle réellement égal à θ : ainsi, $I_m(\theta) = I_r(\theta + \epsilon)$.

- 10 – A l'aide d'un développement limité, évaluer l'ordre de grandeur de l'erreur commise sur $I(\theta)$ avec le protocole réalisé précédemment.

Comme la loi de Malus est paire en θ , une astuce pour limiter l'influence de cette erreur systématique consiste à moyenner les valeurs pour deux angles opposés. Posons $I'_m(\theta) = \frac{1}{2}(I_m(\theta) + I_m(-\theta))$.

- 11 – Montrer que cette astuce permet, en théorie, de réduire significativement l'erreur systématique. Mettre en œuvre ce nouveau protocole. Y a-t-il un meilleur accord avec la théorie?