

TP7 : Etude d'une onde sphérique

MP 2025-2026, Lycée Baimbridge

3 novembre 2025

Matériel

Alimentation continue, alimentation +15/-15V, ampoule, amplificateur opérationnel, photodiode, boîte à décades de résistances, fils, multimètre, banc optique.

Objectif

Étudier la décroissance de l'amplitude d'une onde lumineuse sphérique en fonction de la distance.

Compétences évaluées

- Utiliser un capteur optique
- Utiliser un amplificateur opérationnel
- Réaliser une régression linéaire avec Python et estimer l'incertitude des coefficients de régression

Consignes pour le compte rendu de TP :

- *Décrire le protocole expérimental utilisé*
- *Utiliser un maximum de schémas*
- *Répondre aux questions à l'aide des numéros*
- *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 !*

Dans ce TP, nous cherchons à déterminer la loi de décroissance de l'intensité lumineuse en fonction de la distance à une source lumineuse.

Pour cela, nous ferons des mesures à l'aide d'une photodiode et nous les analyserons à l'aide de Python pour estimer les incertitudes.

1 Introduction

Dans le chapitre d'optique, nous allons définir une variable $I(\vec{r}, t)$ appelée *éclairement* ou *intensité lumineuse*. Cette variable correspond à ce que l'on peut mesurer à l'aide de photodétecteurs, à savoir l'énergie transportée par l'onde lumineuse en un point de l'espace et à un instant donné.

Nous souhaitons déterminer la loi de l'intensité créée par une ampoule en fonction de la distance à cette ampoule, et on supposera qu'il s'agit d'une loi de puissance :

$$I(r) = K \cdot r^\alpha \quad (1)$$

L'objectif du TP est double :

- Montrer que l'intensité lumineuse I est bien proportionnelle à la puissance de la source lumineuse
- Déterminer l'exposant α et son incertitude, afin de le comparer avec la valeur théorique $\alpha = 2$.

2 Méthode de mesure de l'intensité lumineuse

Pour mesurer l'intensité lumineuse, nous allons utiliser une photodiode (composant déjà rencontré lors du TP1).

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 :

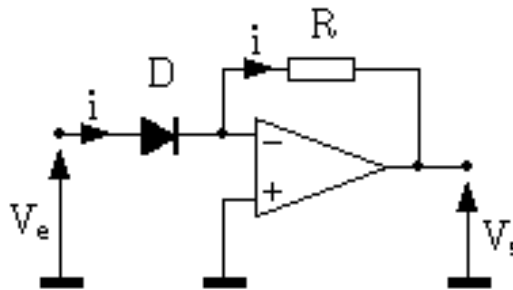
$$i = -K_d \cdot I \quad (2)$$

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 :

$$V_s = -Ri \quad (3)$$

- ☐ 1 – A partir des documents, montrer que la tension obtenue en sortie du circuit est proportionnelle à l'intensité lumineuse.
- ☐ 2 – Alimenter l'ampoule. Déterminer la puissance électrique reçue par l'ampoule pour différentes tensions imposées.
- ☐ 3 – Placer la photodiode à une distance donnée de l'ampoule et réaliser le montage.
- ☐ 4 – Montrer théoriquement que la tension mesurée en sortie du circuit doit être proportionnelle à la puissance électrique reçue par l'ampoule.
- ☐ 5 – Est-ce le cas expérimentalement ? Commenter.

3 Variation de l'intensité avec la distance

- ☐ 6 – Choisir maintenant une valeur de tension fixe pour alimenter la lampe, qu'on ne touchera plus pour le reste du TP. Proposer un protocole permettant de vérifier l'équation 1 à l'aide d'une régression linéaire.

□ 7 – Mettre en œuvre le protocole en apportant un soin particulier à l'estimation des incertitudes de vos mesures. Estimer α (sans incertitude pour l'instant).

4 Incertitude sur une régression linéaire

On souhaite maintenant estimer l'incertitude sur α à partir des mesures précédentes.

Pour cela, on peut utiliser une méthode dite de Monte Carlo : supposons que l'on a n mesures $x_i \pm u(x_i)$ et $y_i \pm u(y_i)$, et que l'on cherche l'incertitude sur les coefficients de la régression linéaire $y = ax + b$

On va simuler m jeux de données à partir de ces mesures. Considérons un de ces jeux de données numéroté j ($1 \leq j \leq m$). Pour l'obtenir, on simule pour tout i des valeurs perturbées $x'_{i,j}$ et $y'_{i,j}$ à partir des lois normales correspondant aux incertitudes de chaque point. On réalise alors une régression linéaire sur ces points $(x'_{i,j}, y'_{i,j})$ avec $1 \leq i \leq n$ et on obtient une valeur a_j de notre paramètre physique. On calcule enfin l'incertitude type sur a comme l'écart-type des a_j .

□ 8 – A l'aide d'un code python, mettre en œuvre la méthode de Monte Carlo pour estimer l'incertitude sur R et présenter le résultat final (protocole D). On utilisera le code fourni.

□ 9 – Ce résultat est-il cohérent avec la loi théorique ? Quels facteurs expérimentaux peuvent limiter la précision des mesures ?