

TP - Optoélectronique

Que ce soit dans le monde des télécommunications ou bien celui de l'expérimentation et de la mesure, les émetteurs et récepteurs optiques ont une place essentielle dans la physique expérimentale. Dans ce TP nous essayons de mettre en évidence quelques-unes de leurs principales propriétés.

⇒ Attention : dans ce TP il faut toujours ramener à zéro le courant alimentant les diodes électroluminescentes avant d'éteindre les maquettes.

⇒ Il est important de mettre sous tension en premier le générateur, puis l'oscilloscope. Et ce n'est qu'après cela que l'on peut brancher le photodétecteur étalon sur un port USB. Cela permet d'utiliser le logiciel Bode-Auto les appareils ayant les bonnes références.

A. Étude statique

I. Montage émetteur

Une des difficultés des mesures "photométriques" est de disposer d'un faisceau lumineux connu. Nous utiliserons ici un récepteur calibré en guise d'étalon de mesure. Nous disposons de trois sources de lumière (diodes électroluminescentes - LED) réunies dans un même boîtier : une source rouge (R : $\lambda = 640 \text{ nm}$ – intensité max $\approx 600 \text{ mcd}$), une verte (V : $\lambda = 525 \text{ nm}$ – intensité max $\approx 800 \text{ mcd}$) et une bleue (B : $\lambda = 470 \text{ nm}$ – intensité max $\approx 1500 \text{ mcd}$).

Le montage utilisé pour la LED est celui d'une diode polarisée en direct : c'est grâce au courant direct qu'il peut y avoir émission de lumière ; la puissance émise est notée ici P_{opt} . La LED est alimentée par une source de courant, dont le schéma est fourni Fig. 1, et qui est identique pour les trois types de LED. Le potentiomètre P_0 permet de régler, par l'intermédiaire de la tension V_0 , le courant direct dans la diode (noté I_F), la tension à ses bornes est notée V_F .

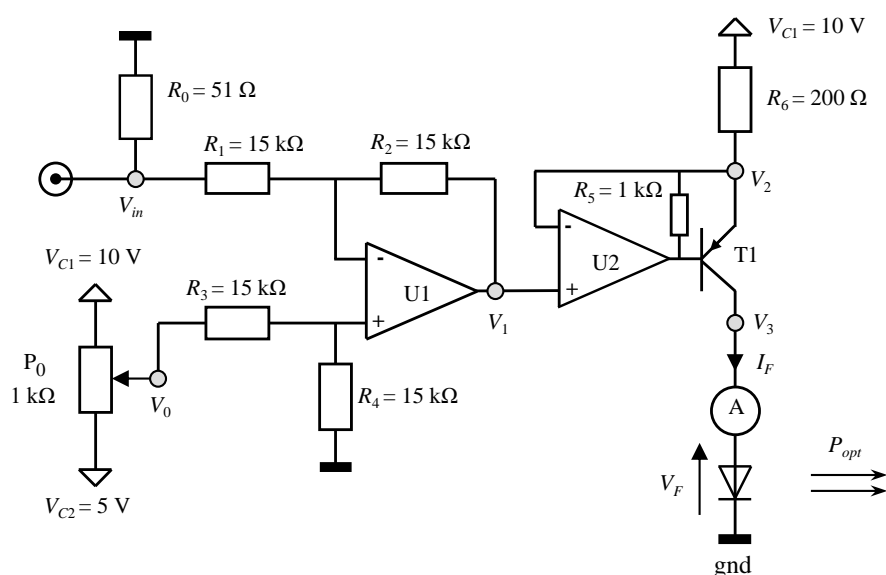


Figure 1. Circuit de mise en œuvre d'une LED et détermination des caractéristiques statiques.

Le montage de la Fig. 1 permet aussi de superposer une tension de modulation V_{in} à la composante continue V_0 . On utilise pour cela un soustracteur réalisé avec des résistances $R = 15 \text{ k}\Omega$. L'entrée V_{in} se fait sur une résistance $R_0 \approx 50 \Omega$ petite par rapport à $15 \text{ k}\Omega$ ce qui ne perturbe pas le soustracteur mais permet d'avoir une tension d'entrée nulle en ce point lorsqu'aucun générateur n'est connecté. Le générateur utilisé pour la modulation voit donc une impédance d'entrée sur la maquette de 50Ω . On obtient donc en V_2 : $V_2 = V_1 = V_0 - V_{in}$. Dans cette partie d'étude statique on a $V_{in} = 0$.

Cette configuration permet de retrouver la tension V_0 en sortie du soustracteur quand on n'applique pas de tension sur V_{in} .

Si l'amplificateur opérationnel fonctionne bien dans son domaine linéaire, alors le courant I_F est donné avec une bonne approximation par la formule : $I_F = (V_{C1} - V_2) / R_6$. Les tensions $V_{C1} = 10 \text{ V}$ et $V_{C2} = 5 \text{ V}$ sont obtenues avec des régulateurs ; $R_0 = 200 \Omega$ (résistance à 1%).

II. Détecteur étalon

Pour mesurer la puissance optique émise par une LED et connaître la puissance reçue par le détecteur à caractériser on utilise un détecteur étalon qui est lui-même un photomètre à diode PIN délivrant l'information *puissance reçue* (en W). Ce photomètre est calibré pour différentes longueurs d'onde : ***il convient de bien sélectionner celle qui correspond à la LED étudiée.*** Le boîtier du détecteur est connecté à un PC par un port USB, les réglages et prises de mesure se font donc sur l'ordinateur.

On dispose d'un banc optique permettant de placer le boîtier contenant les sources, une lentille et le photodétecteur. On peut donc focaliser le faisceau émis par la source sur le photomètre étalon à l'aide de la lentille fournie afin de récolter le maximum de flux optique. Compte tenu des positions des trois LED sur un même axe vertical il faut déplacer verticalement le boîtier à chaque changement de LED, et si nécessaire reprendre légèrement le réglage de focalisation.

Nous supposons que le montage optique est bien fait et que la puissance reçue par le détecteur est égale à la puissance émise P_{opt} par la LED.

Il est ainsi possible de tracer pour chacune des LED les deux caractéristiques statiques $I_F(V_F)$ (courant - tension) et $P_{opt}(I_F)$ (puissance émise - courant).

III. Montage détecteur

On utilise comme photodétecteur une photodiode OPT-P100-6 (Silicon Sensors) de type PIN, dont les électrodes (anode et cathode) sont reliées à un connecteur BNC. **Pour ce modèle l'anode est reliée au boîtier.**

Si on fait varier la puissance optique reçue par le composant, on constate, lorsque la photodiode est polarisée en inverse, que le courant inverse qui la traverse varie aussi, dans le même sens. L'évolution de ce courant en fonction du nombre de photons reçus par unité de temps Φ_p peut être modélisée de la façon suivante :

$$I_{ph} = q \cdot \eta \cdot \Phi_p + I_S$$

où η est le rendement quantique (rapport du nombre d'électrons mis en conduction sur le nombre de photons reçus) et I_S est le courant d'obscurité que l'on pourra négliger dans cette première approche.

On peut aussi montrer en appelant ν la fréquence des photons reçus et h la constante de Planck ($h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$) que :

$$I_{ph} = q \cdot \eta \cdot \frac{P_{opt}}{h \cdot \nu}$$

On définit la sensibilité de la photodiode par la formule suivante :

$$S = \frac{\partial I_{ph}}{\partial P_{opt}} = \frac{I_{ph}}{P_{opt}} = \frac{q \cdot \eta}{h \cdot \nu} = \frac{q \cdot \eta}{h \cdot c_0} \lambda_0.$$

Un exemple de courbe de sensibilité en fonction de la longueur d'onde est donné Fig. 2.

Afin de mesurer le courant dans la photodiode, plusieurs circuits électroniques sont envisageables pour réaliser une conversion courant/tension. On considère dans ce TP le montage de la figure 3, montage dit de transconductance, associant la photodiode, polarisée en inverse sous une tension notée V_{pol} réglable par deux petits potentiomètres (réglages grossier et fin), à un amplificateur opérationnel.

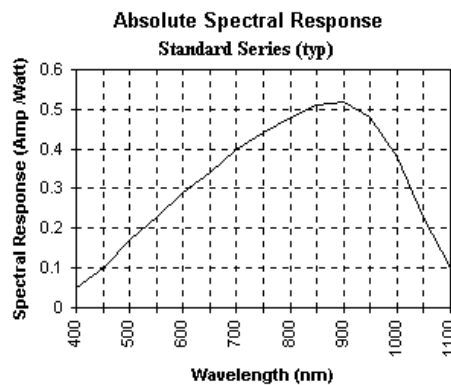


Figure 2. Sensibilité spectrale

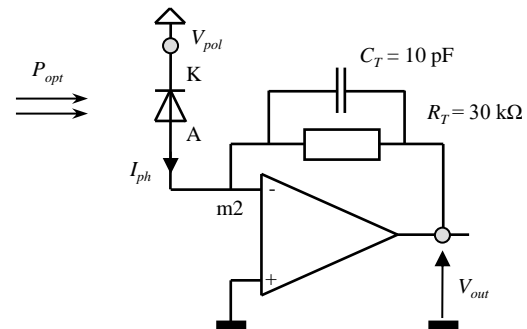


Figure 3. Montage de transconductance

La résistance de transconductance a pour valeur $R_T = 30 \text{ k}\Omega$ et le condensateur $C_T = 10 \text{ pF}$.

Ce circuit réalise une conversion courant tension et permet donc d'observer à l'oscilloscope une tension image du courant qui traverse la photodiode.

Etablir l'expression de la tension V_{out} en fonction de la puissance optique reçue P_{opt} .

IV. Travail expérimental

Nous allons chercher à étudier les caractéristiques de la photodiode pour les trois longueurs d'onde. Compte tenu du temps limité disponible pour ce TP, chaque type de LED sera étudié par deux binômes puis les résultats seront mis en commun.

⚡ **Attention de bien indiquer sur le logiciel du photomètre étalon la bonne longueur d'onde correspondant à la LED utilisée !**

1. Etalonnage de la LED.

On connecte la fiche banane blanche (sortie courant I_{out}) de la partie "émetteur" de la maquette à la fiche banane dont la couleur correspond à celle de la LED à étudier, mais en passant par un ampèremètre (voir Figure 1).

Réaliser les réglages optiques nécessaires, afin d'obtenir une "image" de la LED la plus lumineuse et la plus petite possible sur le récepteur étalon (le récepteur calibré du photomètre). La lentille utilisée a pour distance focale 30 mm.

Relever les caractéristiques statiques $I_F(V_F)$ et (puissance émise - courant) $P_{opt}(I_F)$ en prenant suffisamment de points pour bien mettre en évidence la tension seuil de la LED, puis au-delà du coude avec 5 points pour I_F (1 - 5 - 10 - 15 et 20 mA). Les valeurs des grandeurs "tension V_F aux bornes de la LED" et "courant I_F " sont mesurées par méthode volt-ampèremétrique donc à l'aide d'un voltmètre et d'un ampèremètre. Justifier le choix de la configuration courte-dérivation.

Déduire de la caractéristique $I_F(V_F)$ la tension de seuil pour la LED étudiée.

Comparer les tensions de seuil des différentes LED, de quoi dépend ce seuil ?

Que peut-on en conclure concernant les LED étudiées ?

2. Caractérisation de la photodiode

On remplace le récepteur étalon par la photodiode à étudier, en prenant soin de la placer de telle sorte que la tache image de la source soit intégralement comprise sur sa partie réceptrice. On relie la photodiode à la partie "réception" de la maquette par un câble coaxial de 50 cm, et on configure la maquette afin d'utiliser le montage transconductance (cf. Fig. 3) ; le point K (la cathode) est relié à V_{pol} mais on doit relier par un petit fil A (l'anode) au point m_2 (entrée inverseuse de l'amplificateur opérationnel). La tension V_{pol} est réglable à l'aide du potentiomètre P_1 .

Relever les courbes $I_{ph}(P_{opt})$ pour quelques valeurs (5 au maximum) de P_{opt} (donc de I_F), tout en faisant varier V_{pol} à chaque valeur de P_{opt} (V_{pol} : 10 V ; 6 V ; 3 V ; 1 V et 0,5 V)

En déduire la sensibilité de la photodiode à la longueur d'onde de travail.

3. Autres longueurs d'onde

A partir des valeurs de l'ensemble des binômes tracer la courbe donnant les variations de la sensibilité en A/W de la photodiode en fonction de la longueur d'onde.

Comparer cette courbe à celle de la Fig. 2. Conclusion ?

Evaluer aussi le rendement quantique en fonction de la longueur d'onde.

B. Étude dynamique

Le montage permettant de moduler la puissance optique émise par la LED est donné Fig. 4. La tension V_{in} est fournie par le générateur de fonction.

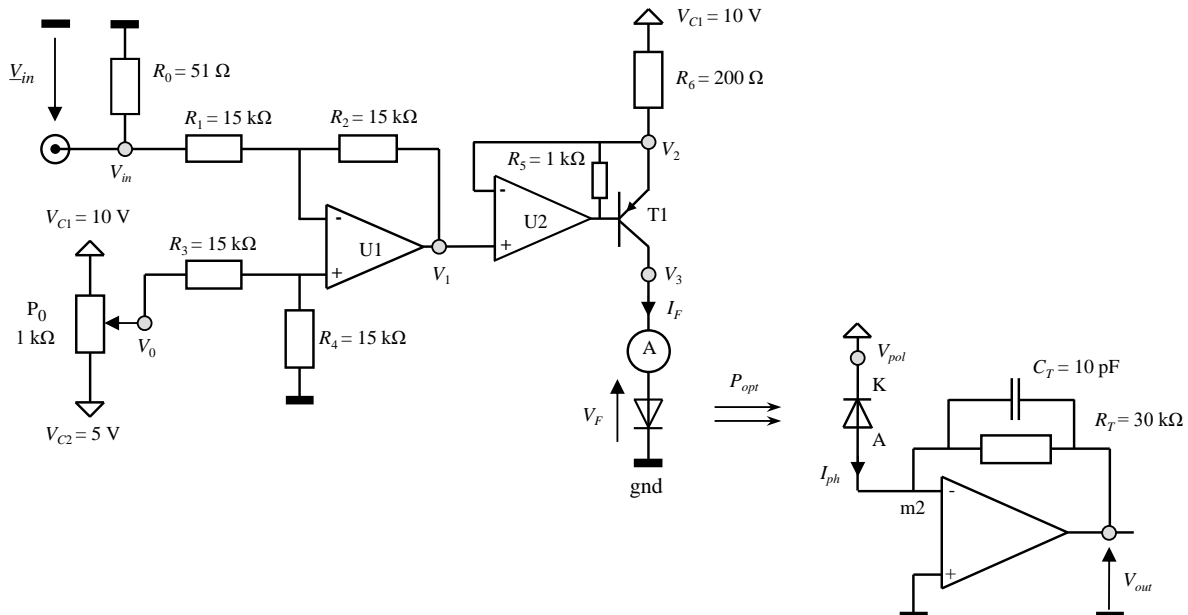


Figure 4. Montage pour la modulation et la démodulation d'un faisceau lumineux.

On peut continuer de travailler avec la diode utilisée dans la partie précédente, ou utiliser la LED bleue plus puissante.

La photodiode étant sensible à la puissance optique c'est elle qui assure directement la démodulation. Choisir, en réglant V_0 , un point de polarisation "bien placé" de façon à obtenir un comportement linéaire, avec la meilleure dynamique possible.

1. Appliquer un signal sinusoïdal ou carré, très basse fréquence (qq Hz), à l'entrée modulation V_{in} et observer le comportement de la LED.

Quel type de modulation réalise-t-on ?

On observera, sur un poste de TP, une modulation par un signal audio.

2. Avec un signal sinusoïdal à l'entrée V_{in} observer le signal V_{out} en sortie du montage de détection (celui de la Fig. 3). Comparer cette tension à celle réalisant la modulation. Interpréter les différences observées ?

3. Tracer, grâce à l'outil "Bode Auto", pour V_{pol} prenant les valeurs 0,5 V 1,5 V 6 V et 10 V, le diagramme de Bode de la fonction de transfert $\underline{T} = \frac{V_{out}}{V_{in}}$

En déduire la variation de la fréquence de résonance et de la fréquence de coupure en fonction de la tension de polarisation V_{pol} .

Sur quel paramètre physique du montage influe la tension V_{pol} ?

4. En récupérant un fichier de sortie du programme "Bode Auto" sous le logiciel Igor faire un ajustement (fit) pour identifier les paramètres de la fonction de transfert qui semble a priori cadrer avec les courbes déjà obtenues. Conclusion ?

5. Comment pourrait-on affiner le modèle du montage détecteur de la Fig 3 si l'on veut pouvoir expliquer la forme des diagrammes de Bode observés à la question précédente ?

Quel est le rôle du condensateur C_T ?

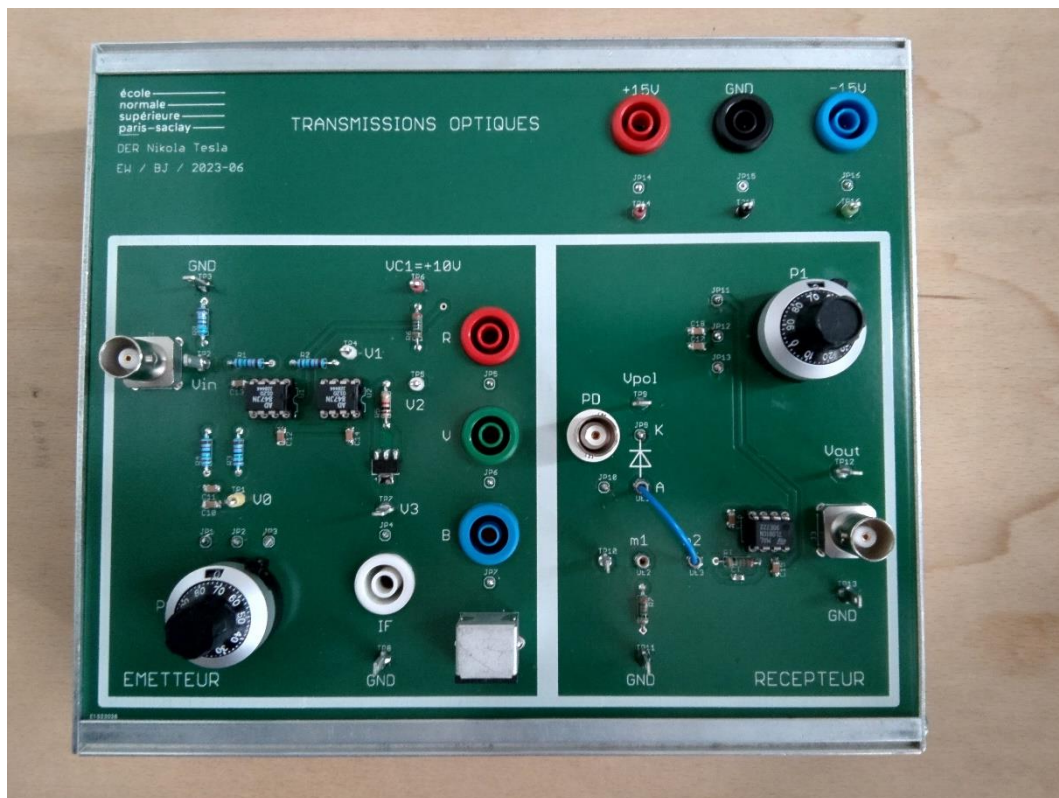


Figure 5. Maquette pour Transmissions Optiques