

# Compléments pour le TP optoélectronique

— Lasers, Matériaux et Milieux Biologiques —

## Instrumentation et composants optiques

### 1 Composants optoélectroniques

#### 1.1 Diode laser

Les matériaux à semi-conducteurs utilisés dans les lasers étaient initialement constitués d'une simple jonction p-n qui constituait la zone active où s'effectue l'inversion de population. Ces lasers à homojonction présentaient des seuils très élevés. La zone active de la plupart des lasers utilisés actuellement est une hétérojonction, c'est-à-dire une jonction comportant de nombreuses couches de différents matériaux (semi-conducteurs dopés et non dopés, couches métalliques et matériaux isolants électriques). Leur seuil est beaucoup moins élevé. Lorsque la zone active a une épaisseur inférieure à 10 nm, on parle alors de laser à puits quantique. Les seuils sont beaucoup plus bas que dans un laser à hétérojonction traditionnel et l'épaisseur de la zone détermine la longueur d'onde d'émission.

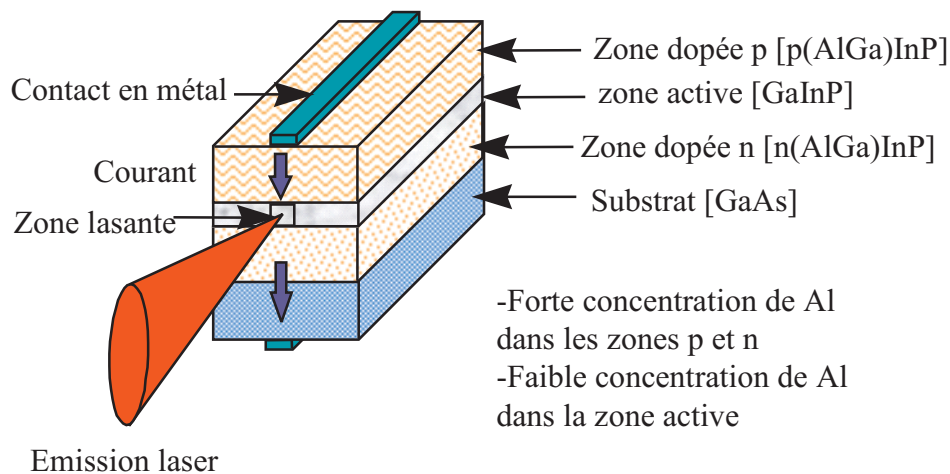


FIGURE 1 – Exemple de laser à semi-conducteur à hétérojonction.

Du fait des dimensions différentes dans les deux directions transverses de la jonction p-n, l'émission lumineuse se fait sur un cône fortement asymétrique. Ce défaut peut être corrigé à l'aide d'une paire de prismes anamorphoseurs telle que représentée sur la figure ci-dessous.

La diode laser utilisée émet jusqu'à 5 mW dans le rouge à 635 nm environ. Le matériau utilisé est l'AlGaInP dans une structure à puits quantiques multiples. L'indice typique du matériau est de 3,5. La diode comporte à l'intérieur de son boîtier une **photodiode intégrée** qui permet de mesurer à tout instant la puissance émise. Elle est connectée via un circuit

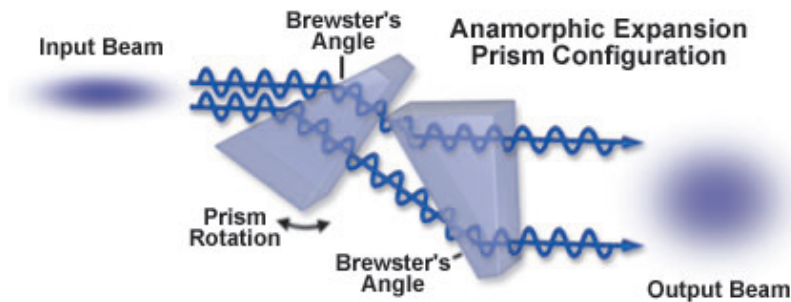


FIGURE 2 – Prismes anamorphoseurs (<http://www.olympusfluoview.com/>).

électronique placé à l'arrière de son support à une **alimentation en courant**. Sa température est fixée à une valeur que l'on peut ajuster grâce à un **asservissement de température** qui utilise un élément Peltier et une thermistance.

## 1.2 Asservissement en température de la diode laser

Un contrôleur électronique permet d'asservir la température. Il utilise une thermistance et un élément Peltier situé sous le support de la diode laser. L'association thermistance/Peltier permet, à l'aide d'une boucle d'asservissement électronique, de réguler la température autour d'une température de consigne choisie.

Une thermistance est constituée de grains d'oxydes métalliques qui sont des semi-conducteurs et qui ont la particularité d'avoir une conductivité qui augmente très rapidement avec la température suivant une loi connue. En connaissant sa résistance (en  $k\Omega$ ) on peut donc connaître la température.

Un élément Peltier est une pompe à chaleur thermo-électrique. Il est constitué par des thermocouples (autres matériaux semi-conducteurs) placés entre deux plaques céramiques. Lorsqu'un courant circule dans un sens dans le Peltier, il chauffe une des plaques et refroidit l'autre. Lorsqu'il est parcouru par un courant de sens opposé, l'effet contraire se produit. Il permet donc de réguler la température.

## 1.3 Diode électroluminescente (LED)

Une diode électroluminescente (LED) est un composant optoélectronique comportant un grand nombre de points communs avec une diode laser. Comme le laser, il s'agit d'une jonction p-n. L'émission de lumière se produit grâce à l'injection de porteurs dans la jonction à l'aide d'un courant électrique. Cependant les dopages sont différents et la structure de la LED est beaucoup plus simple. Par conséquent, la LED ne fonctionne pas en régime d'inversion de population. Il ne s'agit que d'émission spontanée. Elle émet donc sur une plage de fréquence bien plus importante que le laser. Enfin son émission est beaucoup moins directive que celle d'un laser. La LED utilisée ici émet 8 mW dans un cône d'angle au sommet de  $20^\circ$ . Comme le laser, elle peut être modulée en intensité si le courant électrique qui l'alimente est lui-même modulé. Les LED sont beaucoup plus faciles à réaliser que les diodes laser et coûtent beaucoup moins cher.

## 1.4 Photodiode (indépendante de la diode laser)

Là encore il s'agit d'une jonction p-n, mais qui permet cette fois-ci de mesurer une intensité lumineuse. Dans une photodiode idéale, chaque fois qu'un photon est absorbé on crée une paire électron-trou. On peut alors connaître le flux lumineux en mesurant le courant aux bornes de la photodiode. Une photodiode est en quelque sorte le réciproque d'un émetteur à jonction (LED et diodes lasers).

## 1.5 Barrette CCD

La barrette utilisée ici est constituée de 1024 pixels ayant chacun pour largeur  $14 \mu\text{m}$ . Chaque pixel est un élément photosensible qui accumule une charge entre ses électrodes. Celle-ci augmente linéairement avec le temps d'exposition et le flux lumineux, tant qu'il n'y a pas de saturation. Durant le temps  $T_L$ , on mesure de manière séquentielle la charge sur les 1024 pixels. Il est ainsi possible de visualiser la forme du faisceau qui arrive sur la barrette.

On dispose en sortie de l'électronique de commande de deux signaux logiques TTL :

- Un signal de déclenchement qui marque le début de lecture des pixels de la barrette.
- Un signal d'horloge qui commande la cadence de lecture de chaque pixel.

Le schéma ci-dessous représente les différents signaux observés à la sortie de l'électronique de commande lorsque la barrette est éclairée de manière uniforme.

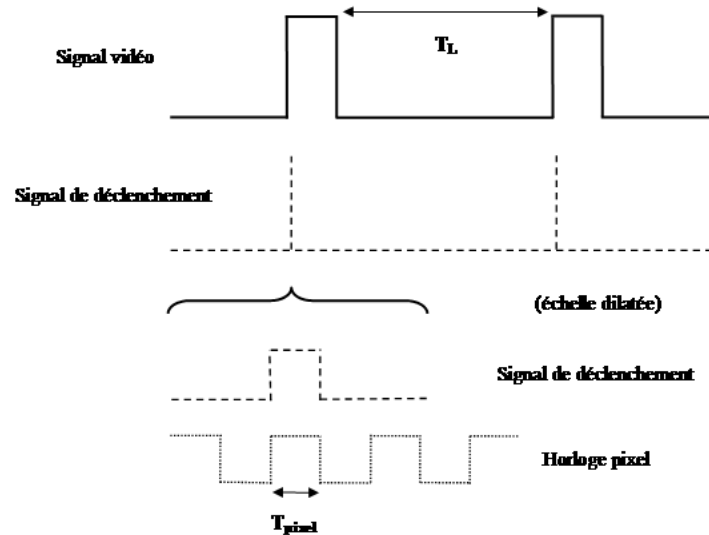


FIGURE 3 – Signaux observés à la sortie de l'électronique de commande.

En fait, entre la fin du temps d'intégration et le début du temps de lecture, il existe un temps dit « de calibration » qui correspond à la lecture d'une dizaine de pixels « noirs » qui ne sont jamais éclairés et qui peuvent servir pour calibrer la barrette. Ce temps, bien que très court, peut être visualisé.

## 2 Instruments d'optique

### 2.1 Spectromètre à deux fentes d'entrée/sortie

Ce spectromètre comporte une fente d'entrée d'ouverture variable, un réseau et deux miroirs sphériques de rayon de courbure  $R$  et situés à la distance  $R/2$  des fentes (voir figure suivante). Lorsque de la lumière est envoyée dans la fente d'entrée, elle est diffractée et elle peut dans certaines conditions, et en première approximation, être assimilée à une onde sphérique dont la source serait la fente d'entrée.

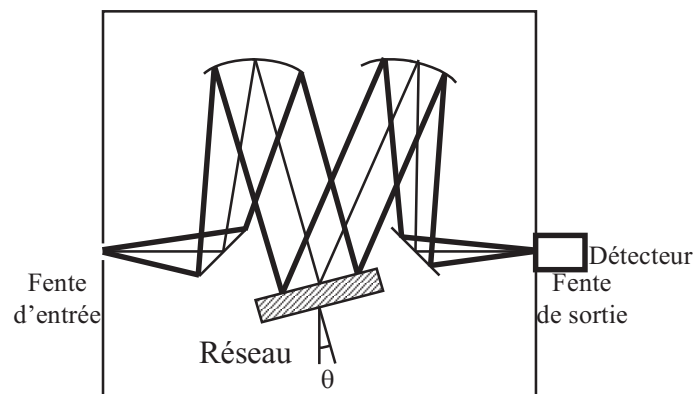


FIGURE 4 – Spectromètre à deux fentes.

Les miroirs sphériques du point de vue de l'optique géométrique se comportent comme des lentilles de focale  $R/2$ . Après sa réflexion sur le premier miroir sphérique, l'onde peut être assimilée à une onde plane qui à son tour se diffracte sur le réseau suivant l'ordre 1, soit suivant un angle qui dépend de sa longueur d'onde. Lorsque le réseau est bien orienté pour la fréquence considérée, l'onde peut se réfléchir alors sur le deuxième miroir sphérique et la lumière est focalisée sur la fente de sortie. On fait ainsi l'image de la fente d'entrée au niveau de la fente de sortie.

On mesure l'intensité transmise par la fente de sortie à l'aide d'un photodétecteur. L'orientation du réseau est repérée sur le côté du spectromètre par un cadran qui permet de lire la longueur d'onde. On peut ainsi, en tournant le réseau et en mesurant l'intensité transmise, connaître le spectre de la lumière. Plus la fente d'entrée est petite plus le pouvoir de résolution est important. Lorsque la fente est ouverte à la graduation 0,02, on arrive à une résolution de 0,2 nm.

### 2.2 Spectromètre à barrette de CCD

Dans la configuration utilisée (voir schéma ci-dessous), la fente de sortie a été remplacée par une barrette CCD comportant 1024 pixels répartis linéairement. Le pixel central est placé exactement à l'endroit où se situait la fente. Pour un faisceau de longueur d'onde  $\lambda_0$  donnée, il existe une position du réseau pour laquelle il sera diffracté suivant un angle tel que toute la lumière arrive sur le pixel central. Pour cette même position du réseau, il existe deux longueurs

d'onde  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  telles qu'un faisceau de longueur d'onde  $\lambda_1$  (respectivement  $\lambda_2$ ) soit diffracté sur le premier pixel de la barrette (respectivement le dernier).

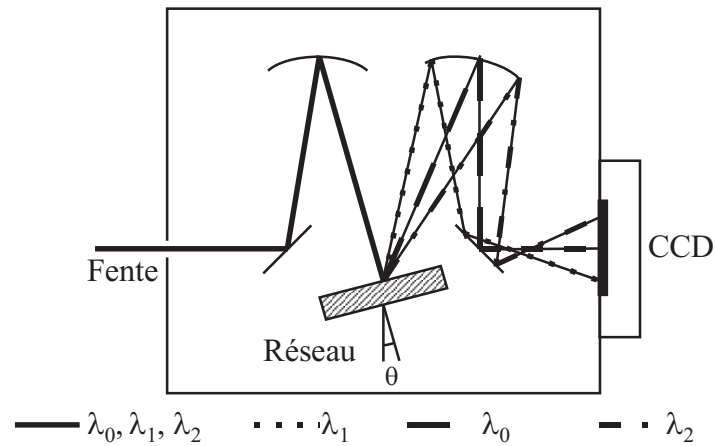


FIGURE 5 – Spectromètre à barrette CCD.

Tout faisceau de longueur d'ondes comprise entre  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  sera diffracté par le réseau sur un ou des pixels de la barrette. Lorsqu'un faisceau est composé de plusieurs raies de longueurs d'onde différentes comprises entre  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$ , la répartition d'intensité sur la barrette permet donc de connaître instantanément le spectre de ce faisceau.