

# Influence de la taille de la cellule de détection en optique

par Frédéric PAVIET-SALOMON

G.R.E.S.E.P.

Lycée Fustel de Coulanges - 67000 Strasbourg

---

## 1. INTRODUCTION

Dans le domaine de l'optique, l'enregistrement d'une figure d'interférence ou de diffraction à l'aide d'une cellule photoélectrique est facilement réalisable. Toutefois, l'interprétation des résultats expérimentaux peut s'avérer délicate lorsque la largeur du détecteur et la longueur caractéristique des variations du phénomène étudié sont du même ordre de grandeur.

Le but de cet article est de proposer, à l'aide du logiciel REGRESSI, une méthode simple permettant la prise en compte de la taille de la cellule de détection.

## 2. PRÉSENTATION DE L'EXPÉRIENCE

### 2.1. Matériel utilisé

- Source lumineuse : Laser He-Ne (longueur d'onde 635 nm).
- Dispositif interférentiel : Jeux de 2, 3 et 4 fentes de 0,05 mm de largeur et distantes de 0,1 mm.
- Cellule de détection : Photodiode PIN BPW34 d'environ 3 mm de largeur.
- Table traçante, A. Op. TL081 et diverses résistances.
- Micro-ordinateur et interface ORPHY-GTS.

### 2.2. Méthode d'acquisition (figure 1)

Le faisceau laser éclaire directement le dispositif interférentiel. La figure obtenue est observée dans un plan situé à quelques mètres (3,09 m pour les enregistrements donnés dans cet article).

La photodiode est fixée sur le bras de la table traçante qui, à l'aide de la fonction base de temps, est utilisée comme un capteur de position. Soit  $I_{cc}$  le courant de court-circuit de la photodiode. Ce courant est proportionnel au flux lumineux intercepté. On réalise alors un montage convertisseur courant-tension classique. L'amplificateur opérationnel fonctionnant en régime linéaire, la relation  $V_+ = V_-$  implique que le courant traversant la photodiode est égal à  $I_{cc}$ . On en déduit que la tension de sortie,  $V_s = R I_{cc}$ , est elle-même proportionnel aux flux lumineux. Ce signal est alors appliqué aux bornes de l'interface ORPHY-GTS.

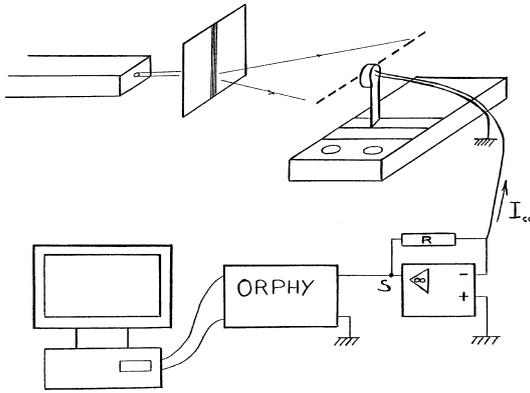


Figure 1 : Schéma du dispositif expérimental.

### 3. EXPLOITATION DES RÉSULTATS

Étant données la distance  $D$  séparant le dispositif interférentiel et le plan d'observation, les calculs sont menés dans le cadre de l'approximation de Fraunhofer. Soient  $l$  la largeur d'une fente,  $d$  la distance entre deux fentes successives et  $\lambda$  la longueur d'onde. On pose :

$$\frac{1}{a} = \frac{\pi l}{\lambda D} \quad \text{et} \quad \frac{1}{b} = \frac{\pi d}{\lambda D}.$$

Le constructeur donne  $d = 2l$ , soit  $b = \frac{a}{2}$ . Pour les enregistrements réalisés  $a = 1,25$  cm.

Soit  $y$  la variable désignant la position de la cellule.

L'expression de l'intensité lumineuse normalisée à un est donnée, pour N fentes, par la fonction :

$$F(y) = \frac{1}{N^2} \left( \frac{\sin \frac{y}{a}}{\left(\frac{y}{a}\right)} \right)^2 \left( \frac{\sin \left( N \frac{y}{b} \right)}{\sin \left( \frac{y}{b} \right)} \right)^2 \quad \text{que l'on appellera modèle M1.}$$

Dans cette expression,  $\left( \frac{\sin \left( \frac{y}{a} \right)}{\left( \frac{y}{a} \right)} \right)^2$  correspond au phénomène de diffraction par une fente et  $\left( \frac{\sin \left( N \frac{y}{b} \right)}{\sin \left( \frac{y}{b} \right)} \right)^2$  au phénomène d'interférence entre les N fentes.

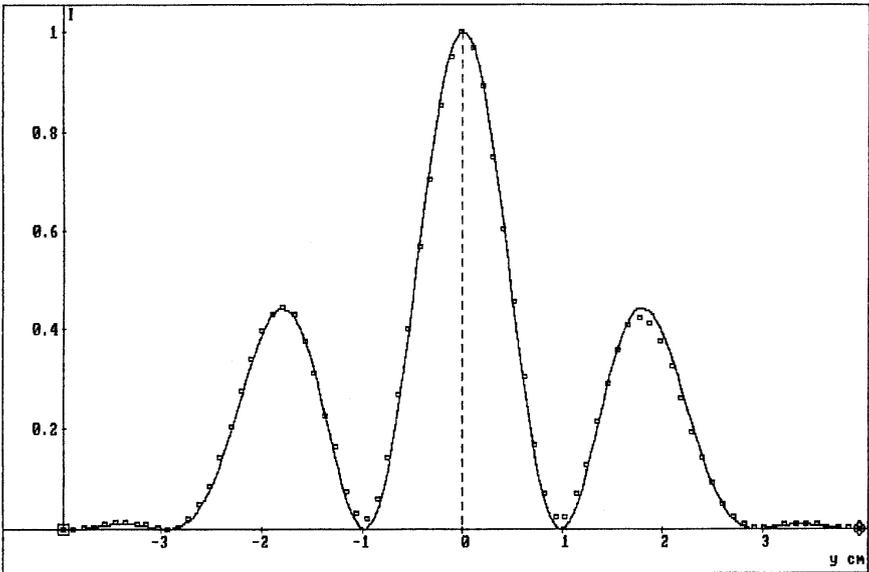


Figure 2 : Points expérimentaux et modèle M1 pour N = 2.

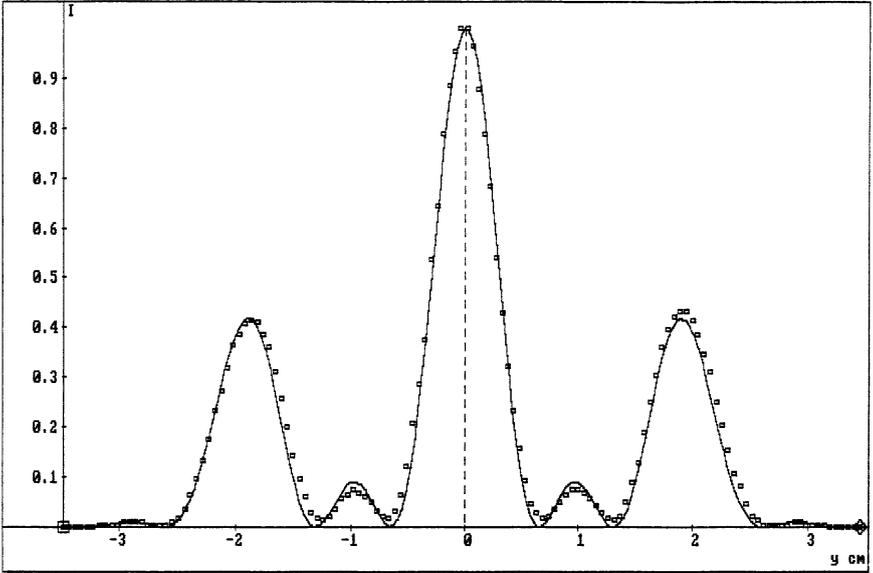


Figure 3 : Points expérimentaux et modèle M1 pour  $N = 3$ .

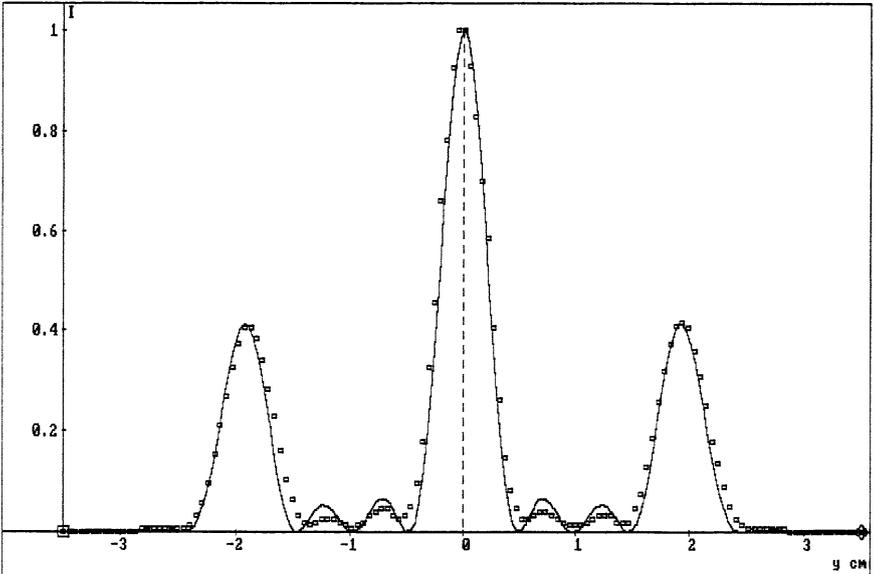


Figure 4 : Points expérimentaux et modèle M1 pour  $N = 4$ .

Les figures 2 à 4 représentent les points expérimentaux et les courbes théoriques pour différentes valeurs de N. L'accord entre le modèle M1 et les points expérimentaux est meilleur pour les faibles valeurs de N, c'est-à-dire pour les courbes variant lentement en y.

Sur la figure 4, on peut constater que, d'une part, les maximums secondaires théoriques sont plus élevés que ceux enregistrés et que, d'autre part, les minimums détectés sont non nuls.

Ces deux écarts au modèle M1 sont dus à la largeur de la cellule de détection. En effet, pour chaque position du capteur, l'intensité lumineuse mesurée est en fait une valeur moyenne prise sur sa surface.

Soient  $F(y)$  l'intensité en y donnée par M1 et  $I(y)$  l'intensité lumineuse mesurée à l'aide de la cellule.

$$I(y) = \alpha \int_{y-c}^{y+c} F(x) dx \quad \text{soit} \quad \frac{dI(y)}{dy} = \alpha \{F(y+c) - F(y-c)\} \quad \text{que l'on}$$
 appellera modèle M2.

Où  $2c$  désigne la largeur du détecteur et  $\alpha$  une constante de proportionnalité.

$\alpha \neq \frac{1}{2c}$ , car les courbes enregistrées ont été normalisées à un et la largeur du détecteur a pour effet de diminuer la valeur des maximums. On peut cependant prévoir que  $2c\alpha$  sera supérieur et voisin de 1.

On utilise la fonction du logiciel REGRESSI qui permet de modéliser une courbe par l'équation différentielle qu'elle vérifie. On utilise le modèle M2, les paramètres  $\alpha$  et  $c$  étant ajustés par le logiciel pour obtenir la meilleure adéquation possible avec les points expérimentaux. Les figures 5 à 7 représentent les points expérimentaux et les courbes obtenues à partir du modèle M2, pour les différentes valeurs de N. La concordance entre le modèle M2 et les points expérimentaux est excellente.

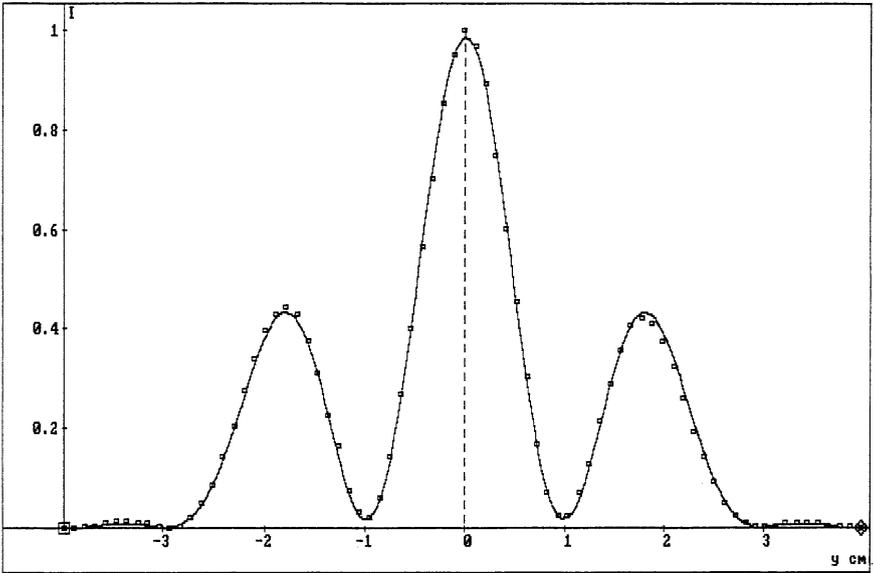


Figure 5 : Points expérimentaux et modèle M2 pour  $N = 2$ .

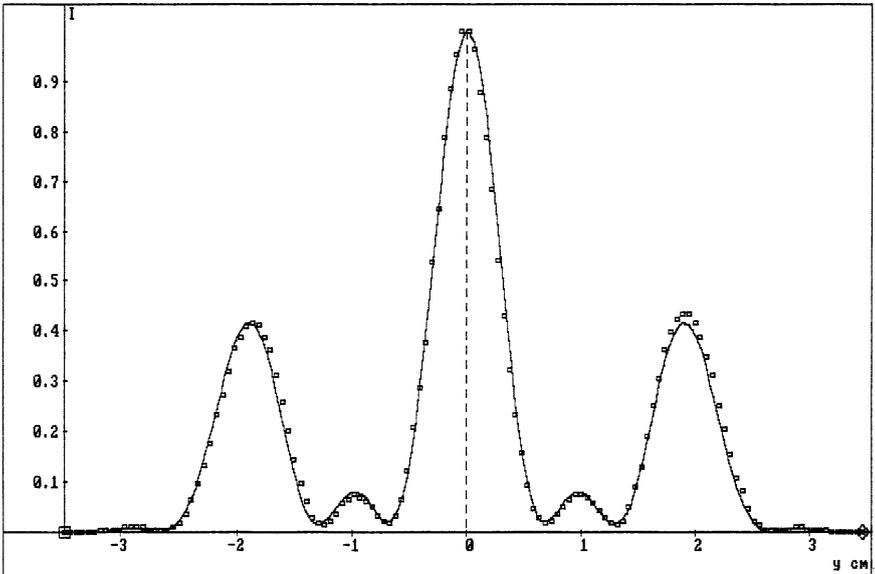


Figure 6 : Points expérimentaux et modèle M2 pour  $N = 3$ .

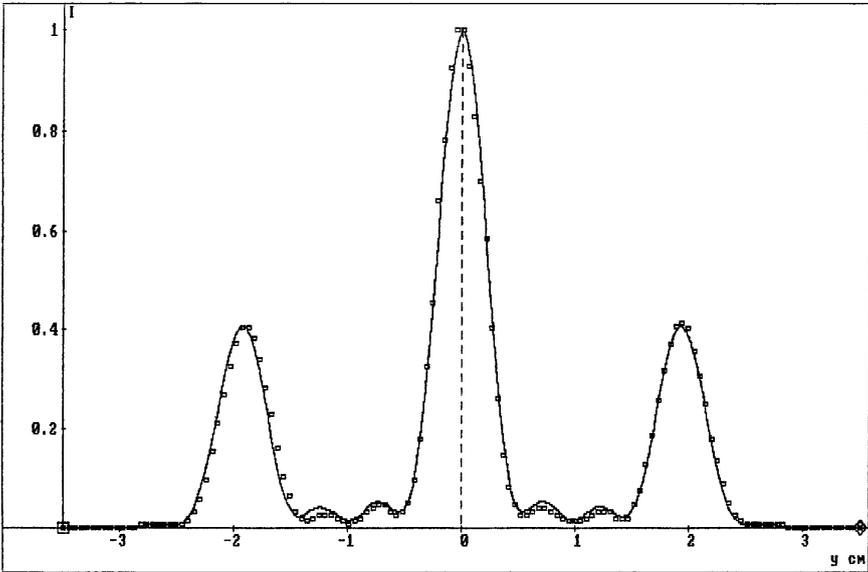


Figure 7 : Points expérimentaux et modèle M2 pour  $N = 4$ .

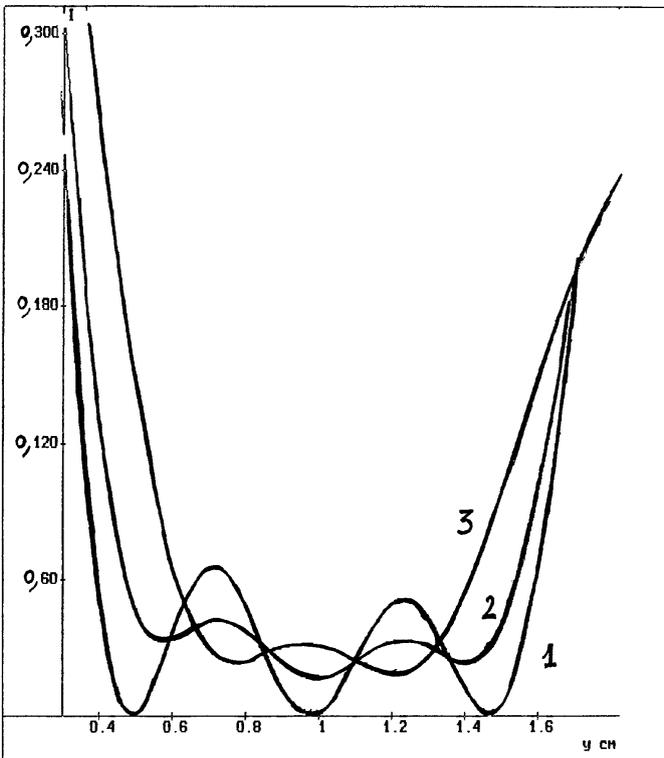
Le tableau ci-dessous regroupe les résultats obtenus lors des modélisations des différentes courbes. Le logiciel donne  $c$  et  $\alpha$  avec une précision de 5 %.

	$N = 2$	$N = 3$	$N = 4$
$C$ en mm	$1,60 \pm 0,80$	$1,52 \pm 0,08$	$1,58 \pm 0,08$
$\alpha$ en $\text{cm}^{-1}$	$3,15 \pm 0,16$	$3,47 \pm 0,17$	$3,50 \pm 0,17$
$2C\alpha$	1,008	1,055	1,106

On remarque que les valeurs proposées pour  $c$  sont très proches les unes des autres et que, compte tenu des incertitudes, la valeur de  $c$  doit être comprise entre 1,52 et 1,60 mm. La valeur moyenne  $c = 1,57$  mm appartient à cet intervalle. Cette valeur correspond à une cellule de largeur 3,14 mm ce qui est en parfait accord avec la cellule utilisée. On a donc réussi, à partir des enregistrements réalisés, à remonter à la taille du détecteur.

La figure 8 représente une simulation des phénomènes observables au niveau des maximums secondaires pour  $N = 4$ . Les différentes

courbes correspondent à des enregistrements qui seraient réalisés à l'aide de cellules de différentes largeurs. Lorsque la taille du détecteur augmente, on constate que le contraste des maximums secondaires diminue, allant même jusqu'à s'inverser. Cette inversion de contraste ne doit pas surprendre. En effet, la cellule est dans ce cas si large que, lorsque son centre se trouve au niveau d'un minimum, elle recouvre les deux maximums secondaires adjacents provoquant ainsi une augmentation de l'intensité lumineuse moyenne détectée. Il n'y aura alors qu'un seul maximum secondaire détecté alors que la figure réelle en présente deux.



**Figure 8 :** Simulation des enregistrements obtenus pour des capteurs de différentes largeurs. Ces courbes sont tracées pour  $N = 4$  dans la région des maximums secondaires.

La courbe 1 correspond à un capteur de largeur 0,1 mm.

La courbe 2 correspond à un capteur de largeur 3,6 mm.

La courbe 3 correspond à un capteur de largeur 7,0 mm.

#### 4. CONCLUSION

Cet article a permis de mettre en exergue que la prise en compte de la largeur du capteur justifie l'écart entre les courbes enregistrées et celles prévues par le modèle M1. Cet écart est d'autant plus important que le terme  $\frac{b}{N}$ , longueur caractéristique des variations du terme d'interférence, est proche de c demi-largeur du détecteur. Le tableau ci-dessous donne les valeurs prises par ce terme dans les différents cas.

	N = 2	N = 3	N = 4
$\frac{b}{N}$ en mm	3,13	2,08	1,56

Il est également important de garder présent à l'esprit que l'utilisation d'une cellule trop large peut conduire à des enregistrements présentant des caractéristiques différentes des phénomènes observés (nombre de maximums, contraste). Ces expériences facilement réalisables sont donc un moyen de sensibiliser les élèves aux problèmes liés à la détection et à l'exploitation des résultats.