

# EXPÉRIENCE 1

## ABSORPTION OPTIQUE

Le but de cette expérience est de familiariser les étudiants avec certaines techniques de spectroscopie optique. L'équipement principal se compose d'une source de lumière «blanche», d'un monochromateur, d'une photodiode au silicium comme détecteur et d'un amplificateur à détection synchrone interfacé à un ordinateur. Vous devriez vous référer aux notes de travaux pratiques du cours PHY 2476 pour vous en remémorer le fonctionnement. Dans un premier temps, vous vous familiariserez avec les propriétés des réseaux (appendice) et caractériserez la résolution du spectromètre en tentant de résoudre les raies du sodium. (Le réseau du spectromètre actuel comporte 1200 traits/mm.)

L'expérience consiste à établir le trajet optique et à mesurer la transmittance et la réflectance de plusieurs échantillons pour les polarisations parallèle et perpendiculaire. En particulier, vous aurez à étudier un échantillon constitué de deux couches minces, respectivement de  $\text{SiO}_2$  et de  $\text{TiO}_2$  déposées sur une lame de verre ( **$\text{SiO}_2/\text{TiO}_2/\text{verre}$** ). En vous inspirant de la théorie explicitée en appendice et en utilisant Matlab, vous pourrez déterminer à partir de vos mesures les épaisseurs respectives des deux couches.

Vous disposez aussi d'un échantillon semi-conducteur (GaSe) dont vous pourrez déterminer le seuil de transmission. Puis, vous examinerez un échantillon de verre contenant des nanoparticules d'or.

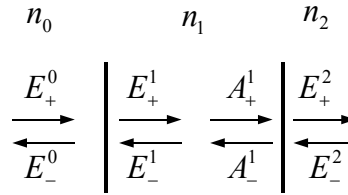
$\lambda$ (nm)	INDICES			
	VERRE	$\text{TiO}_2$	$\text{SiO}_2$	$\text{Ta}_2\text{O}_5$
400	1,5304	2,5356	1,4337	2.281
450	1,5248	2,4301	1,4301	2.233
500	1,5207	2,3644	1,4276	2.207
550	1,5176	2,3211	1,4257	2.196
600	1,5152	2,2912	1,4243	2.186
650	1,5134	2,2697	1,4232	2.184
700	1,5119	2,2537	1,4223	2.182
750	1,5107	2,2415	1,4216	2.181
800	1,5097	2,2321	1,4210	2.181
850	1,5088	2,2245	1,4205	2.180

**Tableau 1.1** Indices de réfraction du verre, du  $\text{TiO}_2$  et du  $\text{SiO}_2$  amorphes en fonction de la longueur d'onde.

## APPENDICE

### FILTRES DIÉLECTRIQUES : APPROCHE MATRICIELLE

Il est possible de générer des filtres diélectriques taillés sur mesure par le dépôt d'une succession de couches minces de matériaux d'épaisseur et d'indice de réfraction différents : miroirs de réflectance supérieure à 99,5 %, miroirs «chauds» et «froids», filtres interférentiels, etc.



Soit le système illustré ci-dessus, comportant trois couches séparées par deux interfaces **parallèles**. Pour simplifier, une incidence normale a été illustrée mais le cas général où l'onde incidente  $E_+^0$  arrive sur la première interface avec un angle d'incidence  $\theta_0$  sera traité. Il faut distinguer les deux états de polarisation possible : **i)** polarisation  $s$  (de l'allemand «*senkrecht*», perpendiculaire) où  $E_+^0$  est perpendiculaire au plan d'incidence, et **ii)** polarisation  $p$  (de l'allemand «*parallel*») où  $E_+^0$  est parallèle au plan d'incidence. Les conditions aux frontières imposent, à l'interface entre les milieux  $i$  et  $i+1$  :

$$\begin{aligned} n_i \cos \theta_i (E_{s+}^i - E_{s-}^i) &= n_{i+1} \cos \theta_{i+1} (E_{s+}^{i+1} - E_{s-}^{i+1}), \\ E_{s+}^i + E_{s-}^i &= E_{s+}^{i+1} + E_{s-}^{i+1}, \\ \cos \theta_i (E_{p+}^i - E_{p-}^i) &= \cos \theta_{i+1} (E_{p+}^{i+1} - E_{p-}^{i+1}), \\ n_i (E_{p+}^i + E_{p-}^i) &= n_{i+1} (E_{p+}^{i+1} + E_{p-}^{i+1}). \end{aligned}$$

Ça donne pour le **cas p** :

$$r_{i,p} = \frac{n_{i+1} \cos(\theta_i) - n_i \cos(\theta_{i+1})}{n_{i+1} \cos(\theta_i) + n_i \cos(\theta_{i+1})}$$

et

$$t_{i,p} = \frac{2 \cdot n_i \cos(\theta_i)}{n_{i+1} \cos(\theta_i) + n_i \cos(\theta_{i+1})}$$

Et pour le cas **s** :

$$r_{i,s} = \frac{n_i \cos(\theta_i) - n_{i+1} \cos(\theta_{i+1})}{n_i \cos(\theta_i) + n_{i+1} \cos(\theta_{i+1})}$$

et

$$t_{i,s} = \frac{2 \cdot n_i \cos(\theta_i)}{n_i \cos(\theta_i) + n_{i+1} \cos(\theta_{i+1})}$$

On peut maintenant écrire la solution des deux couples d'équation aux frontières sous une forme matricielle compacte :

$$\mathbf{E}^i = \mathbf{I}^i \mathbf{E}^{i+1}$$

avec

$$\mathbf{E}^i = \begin{pmatrix} E_+^i \\ E_-^i \end{pmatrix}, \quad \mathbf{I}_s^i = \begin{pmatrix} \frac{1}{t_i} & \frac{r_i}{t_i} \\ \frac{r_i}{t_i} & \frac{1}{t_i} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{I}_p^i = \frac{\cos(\theta_{i+1})}{\cos(\theta_i)} \begin{pmatrix} \frac{1}{t_i} & \frac{r_i}{t_i} \\ \frac{r_i}{t_i} & \frac{1}{t_i} \end{pmatrix}.$$

Il faut aussi propager les faisceaux de l'interface  $i+1$  à l'interface  $i$  :

$$\mathbf{E}^i = \mathbf{T}^i \mathbf{A}^i,$$

avec

$$\mathbf{T}^i = \begin{pmatrix} e^{-i\delta_i} & 0 \\ 0 & e^{i\delta_i} \end{pmatrix}, \quad \delta_i = \frac{4\pi d_i n_i \cos \theta_i}{\lambda_0},$$

où  $d_i$  est l'épaisseur de la couche  $i$  et  $\lambda_0$  est la longueur d'onde dans le vide de l'onde incidente. Le processus se généralise au cas de  $k+1$  couches (numérotées de 0 à  $k$ ) :

$$\mathbf{E}^0 = \mathbf{M} \mathbf{E}^k$$

avec

$$\mathbf{M} = \mathbf{I}^0 \mathbf{T}^1 \mathbf{I}^1 \mathbf{T}^2 \dots \mathbf{T}^{k-1} \mathbf{I}^{k-1}.$$

Le dernier milieu étant d'épaisseur suffisamment grande pour qu'il n'y ait pas d'interférence, on ne perd pas de généralités en posant

$$\mathbf{E}^k = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

En remplaçant les éléments de  $\mathbf{M}$  par leurs valeurs, on peut déterminer les coefficients de réflexion et de transmission de l'empilement de couches :

$$r = \frac{E_-^0}{E_+^0}, \quad t = \frac{E_+^k}{E_+^0} = \frac{1}{E_+^0},$$

de même que sa réflectance  $R$  et sa transmittance  $T$  :

$$R = |t|^2, \quad T = \frac{n_k \cos \theta_k}{n_0 \cos \theta_0} |t|^2.$$

Inversement, un spectre d'absorption ou de réflexion d'une multicouche diélectrique peut permettre de trouver les épaisseurs et indices des couches par une procédure d'optimisation par moindres carrés.

### **Références**

G. R. Fowles, «*Introduction to Modern Optics*» (formalisme un peu différent, incidence normale seulement).

E. Hecht, «*Optics*» (même formalisme que Fowles, incidence oblique incluse).

R. D. Guenther, «*Modern Optics*» (formalisme présenté dans l'appendice).