

## LA DÉTERMINATION DE LA CONCENTRATION DES SUBSTANCES OPTIQUES- ACTIVES AVEC LE POLARIMÈTRE

### 1. Le but du travail

1.1. Mettre en évidence la polarisation rotatoire (activité optique)

1.2. La détermination des concentrations des solutions du sucre en eau (la teneur en saccharose) ( dosage polarimétrique).

1.3. La vérification expérimentale de la formule de calcul pour la concentration.

### 2. La théorie du travail

La polarisation rotatoire est la propriété qu'ont certaines substances (fluides ou solides ) de faire tourner le plan de polarisation d'une onde polarisée rectilignement qui les traverse. On l'appelle aussi biréfringence circulaire ou **activité optique**. Elle a été découverte en 1811 par D'Arago sur le quartz ( $\text{SiO}_2$ ) et par J. B. Biot sur l'essence de térébenthine ( $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$ ).

Elle présente un intérêt à la fois théorique et pratique. En effet, elle prouve expérimentalement la nature vectorielle de la variable lumineuse.

En outre, elle est à la base du dosage des substances chimiques constituées de stéréo- isomères telles que certains sucres.

La polarisation rotatoire peut être induite dans certains matériaux en appliquant un champ magnétique.

Les lois de la polarisation rotatoire ont été établies expérimentalement par Biot.

1ère loi: Certains corps isotropes transparents, traversés par une lumière monochromatique polarisée rectilignement, font tourner le plan de polarisation autour de la direction de propagation du faisceau.

2ème loi: Il existe deux variétés de substances actives: les substances *lévogyres* qui font tourner le plan de polarisation vers la gauche d'un observateur qui reçoit la lumière et les substances *dextrogyres* qui font tourner ce plan vers sa droite.

3ème loi: L'angle de rotation du plan de polarisation est proportionnel à l'épaisseur de la substance traversée.

Aussi introduit-on pour un solide et pour un liquide pur le **pouvoir rotatoire spécifique**  $\{\alpha\}$  :

$$\{\alpha\} = \frac{\alpha}{l} \quad (1)$$

$l$  étant l'épaisseur traversée. On l'exprime souvent en degré par millimètre. Pour une solution de concentration  $c$ , le pouvoir spécifique  $\{\alpha_c\}$  est défini par:

$$\{\alpha_c\} = \frac{\alpha}{lc} \quad (2)$$

Il est pratiquement indépendant de la concentration.

4ème loi: L'angle de rotation  $\alpha$  dépend de la longueur d'onde  $\lambda$  (dans le vide) suivant une loi approchée de la forme:

$$\alpha = \frac{A}{\lambda^2} \quad (3)$$

L'angle de rotation est donc plus élevé dans le bleu que dans le rouge.

5ème loi: Le sens de la rotation du plan de polarisation ne dépend pas du sens de la propagation de la lumière dans le milieu. (Cette loi est caractéristique de la polarisation rotatoire naturelle).

La théorie cinématique du phénomène a été donnée par Fresnel.

L'onde polarisée rectilignement peut être décomposée en deux ondes circulaires, de même amplitude, l'une gauche et l'autre droite.

Fresnel admet qu'un milieu optiquement actif transmet sans déformation, mais avec des vitesses de propagation différentes, des vibrations circulaires gauche et droite de même amplitude.

Après avoir traversé la substance, les deux vibrations circulaires gauche et droite se recomposent avec des retards différents; la direction de la vibration rectiligne résultante a tourné d'un angle égal à la moitié de la différence de phase entre les vibrations circulaires :

$$\alpha = \frac{(K_d - K_g)l}{2} = \frac{\omega l}{2c}(n_d - n_g) = \pi \frac{l}{\lambda_0}(n_d - n_g) \quad (4)$$

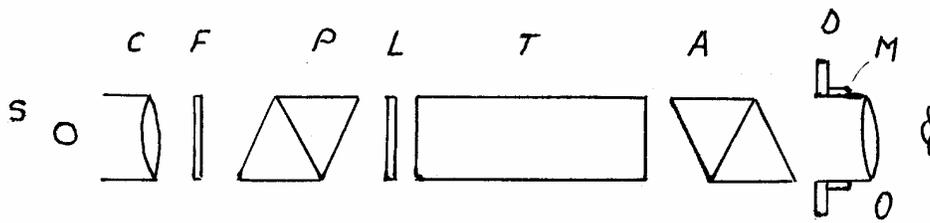
où  $n_d$  et  $n_g$  sont les deux indices associés à  $K_d$  et  $K_g$  (les deux vecteurs d'onde).

En effet, la rotation a lieu vers la gauche ( $\alpha > 0$ ) lorsque  $n_d > n_g$ , c'est - à - dire lorsque  $v_g > v_d$ . C'est l'opposé lorsque  $n_d < n_g$ .

### 3. La description de l'installation expérimentale

Le polarimètre (Fig. 1) est un dispositif utilisé pour la détermination rapide et précise de la concentration des solutions optiques actives.

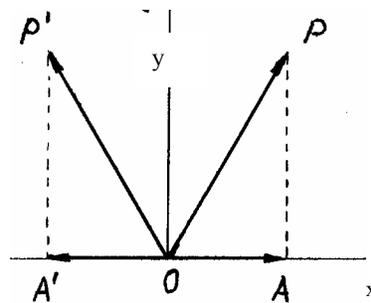
Le fonctionnement de cet appareil s'appuie sur la capacité de l'œil d'apprécier dans la pénombre, l'égalité des éclairagements de deux plages.



**Figure 1**

La source de la lumière S est mise dans le foyer du lentille C avec le rôle de collimateur. Le filtre F permet de passer seulement une onde monochromatique. Le nicol P polarise rectilignement la lumière. La région centrale du fascicule polarisée passe par une lame demionde L. La lumière rectilignement polarisée sur la direction OP (Fig. 2), incidente sur la lame biréfringente L, sort en deux ondes: ordinaire et extraordinaire, dont la différence de chemin optique est  $\frac{\lambda}{2}$ .

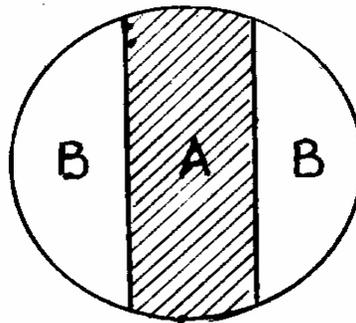
En recomposant les deux ondes on obtient une onde rectilignement polarisée avec la direction de vibration OP' symétrique avec la direction de l'onde incidente OP.



**Figure 2**

Le fascicule de lumière OP passe par le tube T et puis par le nicol A avec le rôle d'analyseur, qui laisse passer une onde linéairement polarisée avec le vecteur lumineux et la projection du vecteur d'onde incidente sur

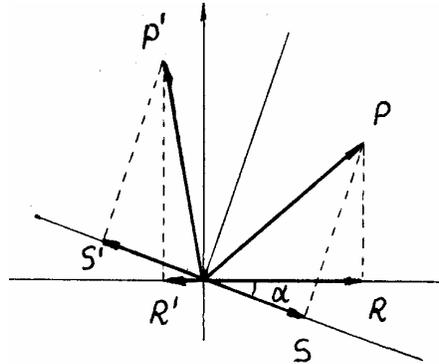
son axe optique (la direction principale d'analyseur). L'image du champ visuel émergent est obtenue dans l'oculaire O qui peut être réglé en utilisant le manchon M. Dans la figure 2, OP est l'amplitude de l'onde qui vient du polariseur à laquelle correspond l'illumination des régions B (Fig. 3) dans le champ visuel émergent et OP' est l'amplitude de l'onde qui sort de la lame demionde à laquelle correspond l'illumination de la région A.



**Figure 3**

Si dans le tube T n'est pas une substance optique active, les vecteurs OP et OP' (Fig. 2) sont symétriques à l'axe Oy. Si l'analyseur polarise la lumière rectilignement sur la direction OA  $\parallel$  Ox les projections des vecteurs OP et OP' sont égales, et, dans le champ visuel on obtient l'égalité des éclairagements des régions A et B. Cette égalisation est de minimum, parce que les vecteurs OP et OP' ont les directions plus proches de l'axe Oy que l'axe Ox. (Si l'analyseur A est tourné avec  $90^\circ$  OA  $\parallel$  Oy, on obtient une égalisation de maximum). Si on introduit le tube T avec substances optiques actives les vecteurs OP et OP' tournent d'un angle  $\alpha$  (ils ne sont plus simetriques vis-à-vis de l'axe Oy) et l'égalité des éclairagements n'est plus réalisée. On la rétablit en tournant l'analyseur du même angle  $\alpha$ . Les

projections  $OS$  et  $OS'$  des vecteurs  $OP$  et  $OP'$  sur la nouvelle direction de polarisation sont égales ( $OS = OS'$ ) (Fig. 4).



**Figure 4**

#### **4. Mode de travail**

**4.1.** On fait l'alimentation de la lampe à vapeurs de Na à la tension de 220V.

**4.2.** On vérifie si les tubes qui sont sur la table de travail sont bien fermés et bien remplis. Sur la table de travail sont cinq tubes. Trois d'entre elles 1, 2, 3 ont la même longueur et contiennent des solutions avec des concentrations différentes.

**4.3.** On tourne le disque gradué ainsi que son zéro coïncide avec le zéro du vernier. On regarde dans l'oculaire et on fait l'image claire en utilisant le manchon M. On va observer un éclairement minimal et uniforme des régions A et B.

**4.4.** On introduit un tube dans le polarimètre. Quand on regarde dans l'oculaire, on observe une image qui n'est pas claire parce que le chemin optique est modifié. Si on actionne le manchon M, on fait l'image claire. On observe que les deux régions A et B ne sont pas uniformément éclairées. On tourne le disque gradué ainsi qu'on obtient l'égalisation du

minimum des intensités des régions A et B. A l'aide d'une lunette on lit sur le disque la valeur de l'angle  $\alpha$ .

### 5. Indications pour le calcul

Pour le calcul en pourcentage de la concentration on utilise la relation

$$c = \frac{\alpha \cdot 100}{\{\alpha_c\}_t^\lambda \cdot l},$$

dans laquelle, pour la rotation spécifique on prend la valeur:

$$\{\alpha_c\}_t^\lambda = 66,5^\circ \quad (t = 20^\circ C, \quad \lambda = 5893 \text{Å}) \quad (3)$$

et pour la longueur  $l$  du tube on considère sa valeur en dm.

Pour chaque tube on fait 5 déterminations de l'angle  $\alpha$  et pour un tube on fait 10 déterminations de l'angle  $\alpha$ . On calcule la concentration pour chaque détermination. On détermine l'angle  $\alpha$  moyen et la concentration moyenne pour chaque tube. Puis, les résultats sont mises dans le tableau.

No.	No. sol.	$l(dm)$	$\alpha$ (°)	$\bar{\alpha}$ (°)	$c(\%)$	$\bar{c}(\%)$

Pour les tubes de la même longueur, mais qui contiennent de solutions avec des concentrations différentes, on représente sur un graphique les valeurs moyennes de l'angle  $\alpha$  fonction des valeurs moyennes de la concentration  $c$ . On vérifie la dépendance linéaire de l'angle de rotation de la longueur du tube. Pour le tube pour lequel on a effectué 10 déterminations on calcule l'erreur standard de la concentration à l'aide de la formule:

$$\sigma_{\bar{c}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}{n(n-1)}} \quad (4)$$

où  $n$  est le nombre de déterminations. Le résultat de la détermination de concentration sera dans l'intervalle

$$c = (\bar{c} \pm \sigma_{\bar{c}})\% \quad (5)$$

## 6. Questions

**6.1.** On considère que dans l'absence du tube, on met le disque gradué à  $90^\circ$ . Qu'est-ce qu'on peut dire de l'éclairement des régions A et B ? Expliquer.

**6.2.** Pour quoi on a besoin du filtre jaune ? On ne peut pas faire de déterminations avec la lumière blanche?

**6.3.** Expliquer la répétition des déterminations.

**6.4.** Pour quoi, en calculent les erreurs, on ne prend pas en considération l'erreur de l'appareil de mesure? Essayer de déterminer l'erreur due à l'appareil de mesure.