

Pourquoi rechercher la pénombre avec un polarimètre de Laurent ?

par Christophe GENIN
 IUT du Limousin - Département génie biologique
 genin@unilim.fr

RÉSUMÉ

Utiliser un polarimètre de Laurent est simple et les mesures polarimétriques sont précises. Cet article a pour seul objectif la justification des réglages de pénombre que le manipulateur effectue aussi bien pour faire un zéro qu'une mesure lors d'une analyse chimique.

INTRODUCTION

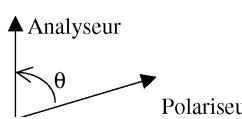
Les dosages polarimétriques sont des dosages simples et précis qui permettent de caractériser et de doser des substances optiquement actives. On peut notamment s'en servir pour la mutarotation du glucose et l'inversion (ou hydrolyse) du saccharose.

Lorsque l'inversion du saccharose est provoquée par la présence d'une enzyme, l'invertase, alors le dosage polarimétrique permet de détecter la pasteurisation d'une bière. En effet les bactéries et la levure de bière libèrent l'invertase au cours de leur métabolisme. Elles sont, tout comme l'invertase, détruites par un chauffage suffisamment long à une température supérieure à 60°, pour obtenir un produit biologiquement stable, ce qui est l'objectif d'une pasteurisation. Détecter l'activité de l'invertase est une manière indirecte de contrôler la présence de bactérie et l'efficacité de la pasteurisation. C'est une méthode d'analyse chimique alternative aux méthodes microbiologiques par ensemencement et vérification de l'absence de colonies bactériennes.

L'objectif de cet article est seulement d'expliquer théoriquement les manipulations effectuées sur le polarimètre de Laurent en justifiant le réglage visuel de l'équipénombre pour le zéro et les mesures.

1. RAPPEL

La loi de Malus donne la relation entre l'intensité lumineuse I_e entrant dans le polariseur et l'intensité lumineuse I à la sortie de l'analyseur, dont l'axe fait un angle θ avec celui de l'analyseur :



$$I = T \times I_e \cos^2 \theta$$

Figure 1

où T est un facteur de transmission indépendant de θ . On pose $I_o = T \times I_e$. Si $\theta = \pi/2$ rad, il y extinction, $I = 0$.

Il semblerait simple et efficace de mesurer le pouvoir rotatoire d'une solution simplement par mesure directe de l'angle de rotation de l'analyseur qui provoque l'extinction. Ce procédé n'est pas précis. L'œil détecte difficilement le minimum car l'éclairage varie lentement à son voisinage et la méthode fait trop appel à la mémoire visuelle. De plus, il est inévitable qu'une lumière parasite viendra perturber la mesure.

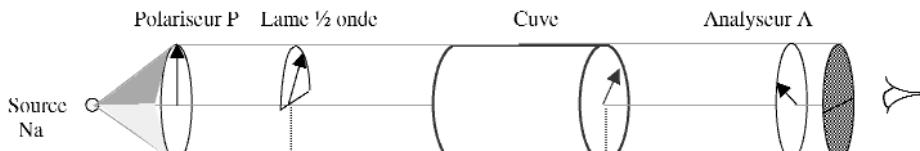
Remarque : Dans la suite de cet article, nous considérerons que la valeur initiale de θ est $\pi/2$ rad.

2. PRINCIPE DU POLARIMÈTRE DE LAURENT

À la place du procédé à minimum d'éclairage, il est préféré un analyseur de pénombre où l'égalité d'éclairage de deux plages, séparées par une ligne fine, est recherchée.

Le faisceau lumineux émis par une lampe à sodium est divisé en deux par une lame retardatrice demi-onde qui change l'orientation de la polarisation rectiligne de la lumière d'un angle β pour une moitié du faisceau ; on définira le sens de β de sorte que $|\beta| < \pi/2$ rad. L'observateur voit dans un oculaire deux demi-disques dont la luminosité est différente. En faisant tourner l'analyseur, l'observateur recherche une luminosité égale et minimum pour les deux parties : c'est l'équipénombre qui permet de déterminer des directions de polarisation.

♦ Schéma de principe du polarimètre à analyseur de pénombre



♦ Polarisation des faisceaux avec la cuve remplie d'eau (sans activité optique)

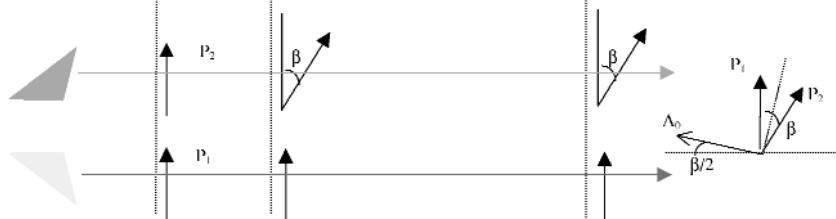


Figure 2

Par rapport au montage sans lame demi-onde et pour régler l'équipénombre, il faut tourner de $\beta/2$, dans le sens de β , l'axe de l'analyseur (ce qui lui donne la direction A_0). On obtient alors :

- ♦ l'angle entre P_1 et A : $\theta_1 = \pi/2 - \beta/2$
- ♦ et l'angle entre P_2 et A : $\theta_2 = \pi/2 + \beta/2$

Intensités luxmineuses observées

La loi de Malus appliquée à chaque moitié du faisceau donne :

$$I_1 = I_0 \cos^2(\pi/2 - \beta/2) = I_0 \sin^2(\beta/2)$$

$$I_2 = I_0 \cos^2(\pi/2 + \beta/2) = I_0 \sin^2(\beta/2)$$

Donc $I_1 = I_2 \ll I_0$ car on choisit volontairement β très petit (quelques degrés).

♦ Polarisation des faisceaux avec la cuve remplie d'une substance optiquement active

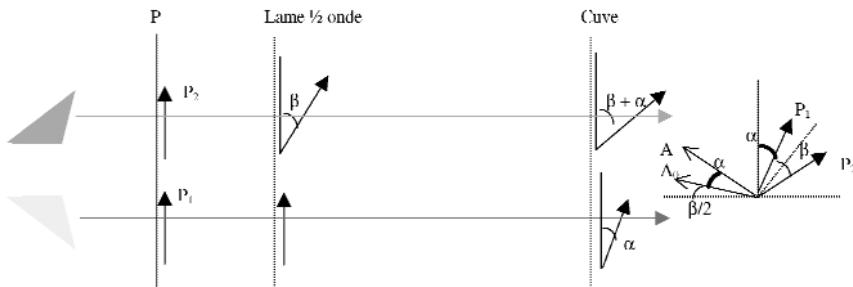


Figure 3

P_1 et P_2 ont tourné d'un angle α , ce qui modifie les intensités lumineuses. Pour retrouver l'équipénombre, il faut de nouveau tourner l'analyseur du même angle α . On choisira pour α la même convention d'orientation que pour β . La direction de l'axe A de l'analyseur ayant tourné de $\alpha + \beta/2$ par rapport à sa direction initiale, on trouve :

- ♦ l'angle entre P_1 et A : $\theta_1 = \pi/2 + \alpha - \beta/2 - \alpha = \pi/2 - \beta/2$
- ♦ et l'angle entre P_2 et A : $\theta_2 = \pi/2 + \alpha + \beta/2 - \alpha = \pi/2 + \beta/2$

Intensités lumineuses observées

Elles valent encore : $I_1 = I_0 \cos^2(\pi/2 - \beta/2) = I_0 \sin^2(\beta/2)$

$$I_2 = I_0 \cos^2(\pi/2 + \beta/2) = I_0 \sin^2(\beta/2)$$

Donc on retrouve $I_1 = I_2 \ll I_0$. **Le réglage de l'équipénombre se fait en tournant l'analyseur d'un angle égal au pouvoir rotatoire de la substance.**

Dans ce procédé, les pertes de lumière par réflexion et par transmission dans la lame demi-onde n'ont aucune importance même si elles ne sont pas négligeables. En effet on obtient α par mesure d'une différence d'angles, entre celui réglé avec l'eau et celui obtenu avec la solution optiquement active.

On pourrait rechercher non pas l'équipénombre mais l'égalité d'éclairement maximum. Ce qui est théoriquement possible ne l'est pas en pratique du fait de l'éblouissement et parce que les éclairements des deux plages varient très peu en valeur relative autour de leur maximum.

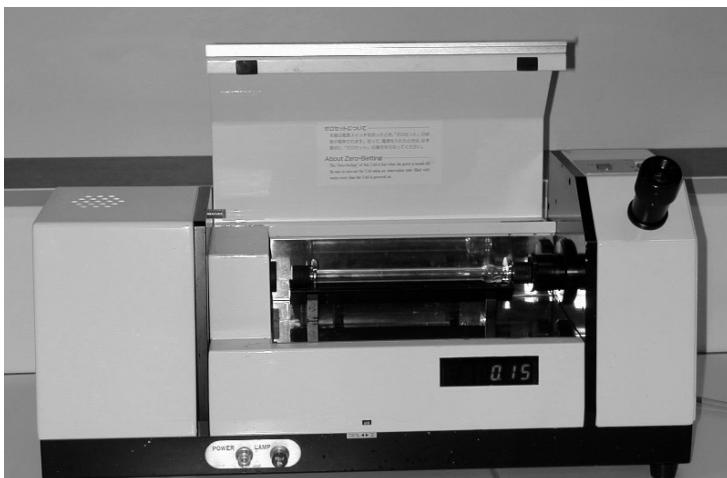
Par rapport à un analyseur simple, l'intérêt de ce dispositif réside dans une bien meilleure précision sur la détermination de α , comme nous allons le voir maintenant.

3. AVANTAGES DU POLARIMÈTRE DE LAURENT

- ◆ La lumière parasite ne diminue pas la précision des mesures, si son intensité est petite vis-à-vis de $I_0 \sin^2(\beta/2)$.
- ◆ La sensibilité de l'appareil est excellente mais elle dépend de la sensibilité de l'œil. Il faut que l'éclairement sur l'œil soit intense. C'est pourquoi la ligne de séparation des plages doit être la plus fine possible pour qu'elle s'évanouisse lorsque l'équipénombre est réalisée. Les réglages initiaux de la lame demi-onde et de l'analyseur sont réalisés de manière à ce que l'éclairement en équipénombre soit suffisant. Pour cela, le cercle oculaire couvre en général intégralement la pupille de l'œil. Et il faut une source lumineuse très intense.
- ◆ Un mécanisme de rotation de l'analyseur permettant des mesures d'angles faibles est évidemment nécessaire.

4. MANIPULATION DU POLARIMÈTRE DE LAURENT

Le polarimètre utilisé est un modèle Atago Polax-D (*cf. photo ci-dessous*), à lampe à vapeur de sodium. Les consignes d'utilisation sont cependant générales à tout appareil.



Étape 1

- ◆ Avec la cuve remplie d'eau, régler l'équipénombre en tournant l'analyseur.
- ◆ Un angle est affiché, appuyer sur le bouton zéro, l'affichage est : 0 degré.

Étape 2

- ◆ Avec la cuve remplie d'une solution contenant une substance optiquement active, régler de nouveau l'équipénombre en tournant l'analyseur.
- ◆ Le zéro ayant été fait auparavant en 1), on lit alors directement le pouvoir rotatoire de la solution en degrés.

Conditions de manipulations

- ◆ Allumer la lampe à sodium bien avant les mesures pour que l'intensité lumineuse soit stable (il faudrait veiller à n'utiliser que les raies spectrales telles que la lame retardatrice soit bien demi-onde).
- ◆ Effectuer des lavages à l'eau et à l'alcool nombreux et soignés (avant, pendant et après les mesures).
- ◆ Prendre les mesures à une température précise (nécessité de placer les solutions au bain-marie dont la température est convenablement réglée).

Observations

Réglage

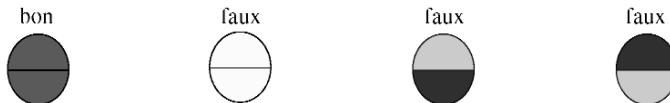


Figure 4

CONCLUSION

Avec l'appareil utilisé en travaux pratiques, la précision est de $0,05^\circ$, environ dix fois moins que les meilleurs. Exprimée en concentration de saccharose ($[\alpha]_{D}^{25^\circ C} = 66 \cdot \text{dm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-3}$, $\text{MM} = 342 \text{ g.mol}^{-1}$), la précision est alors de $0,38 \text{ g.l}^{-1}$ soit environ $10^{-3} \text{ mol.l}^{-1}$ pour une cuve de longueur 2 dm et à $25^\circ C$, ce qui est suffisant : les solutions de saccharose utilisées pour les dosages sont usuellement à des concentrations voisines de 100 g.l^{-1} . Les dosages sont donc précis pour peu que les mesures soient effectuées par la même personne et à condition de suivre scrupuleusement les consignes d'utilisation.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier le relecteur de cet article qui m'a permis d'enrichir et d'améliorer le texte par ses commentaires et en me fournissant d'utiles renseignements.

BIBLIOGRAPHIE

- ◆ BRÉNON-AUDAT F., RAFFLEGEAU F. et PRÉVOTEAU D. *Chimie inorganique et générale : travaux pratiques commentés*. Paris : Dunod, 1995.
- ◆ BRUHAT G. *Cours de physique générale - Optique*. 6^e édition, Paris : Masson, 1992, p. 487-495.
- ◆ CHRISTALLER P. « Étude polarimétrique de l'inversion du saccharose ». *Bull. Un. Phys.*, février 1992, vol. 86, n° 741, p. 205-215.
- ◆ EBC Technology and Engineering Forum. *Beer Pasteurisation*. Nüremberg : C. Getränke-Fachverl, 1995.
- ◆ HUARD S. *Polarisation de la lumière*. Paris : Masson, 1994, p. 240-242.
- ◆ PÉREZ J.-P. *Optique : fondements et applications*. 5^e édition, Paris : Masson, 1996, p. 409-423.
- ◆ SONNEVILLE M. « Étude cinétique de la réaction d'hydrolyse du saccharose par une méthode polarimétrique ». *Bull. Un. Phys.*, mars 1997, vol. 91, n° 792 (1), p. 549-557.



Christophe GENIN
Agrégé de chimie
IUT du Limousin
Département génie biologique