

Caractériser le pouvoir rotatoire de différents sucres dans l'eau (Puissance et polarisation)

DOMINIQUE TROTTIER-BEAULIEU¹ AND JOËL BISSENETTE²

¹Scientifique senior

²Scientifique senior

Compiled March 25, 2024

Les sucres sont composés d'une structure moléculaire différente. Une hypothèse est que cette différence agit sur l'angle de polarisation d'un faisceau lumineux initialement polarisé linéairement. Cette capacité qu'a une substance de modifier l'angle du plan de polarisation de la lumière à une longueur d'onde et une température donnée est nommée le «pouvoir rotatoire spécifique». Le but de ce laboratoire est de déterminer ce «pouvoir rotatoire spécifique» pour différents types de sucre et d'en déduire si celui-ci change de façon significative. Pour le trouver, un polariseur a été placé devant un laser polarisé linéairement et l'angle à laquelle l'intensité était maximale a été mesurée afin de s'assurer que le polariseur soit aligné avec la polarisation du laser. Ensuite, des solutions d'eau contenant différents sucres ont été placées devant la source dans un contenant d'une largeur de 0.125 dm et le nouvel angle auquel l'intensité était maximale a été déduit. Ce nouvel angle correspond à l'angle de déviation de la polarisation induit par le contenant et le sucre. Pour le sucre blanc, le pouvoir rotatoire spécifique mesuré à une longueur d'onde de 633 nm et une température de 25°C est de $(+77 \pm 1)^\circ \text{cm}^3 \text{dm}^{-1} \text{g}^{-1}$. La faible épaisseur de la cuvette contenant les solutions et la biréfringence produite par le matériau utilisé pour la fabriquer sont cependant la cause d'imprécisions rendant la prise de mesures difficile. Il serait pertinent pour une expérience future d'utiliser un contenant en verre de longueur suffisamment grande pour augmenter l'angle de déviation de la polarisation.

1. INTRODUCTION

Sur le marché, on retrouve une multitude de sucres aux propriétés différentes. Celles-ci permettent aux sucres de remplir différentes fonctions essentielles ou non au bien-être de l'organisme. Ces propriétés résultent d'une structure moléculaire particulière. Le but de ce laboratoire est donc de déterminer si ces différences structurelles modifient de façon significative le pouvoir rotatoire et de calculer expérimentalement la valeur du pouvoir rotatoire spécifique (i.e. le pouvoir rotatoire à une longueur d'onde et une température donnée) de chacun des sucres. Le pouvoir rotatoire

est l'angle de déviation d'un faisceau lumineux polarisé linéairement lorsqu'il traverse un milieu biréfringent. Il se calcule par la formule suivante :

$$\alpha = [\alpha]_{\lambda}^T l C \quad (1)$$

où α est le pouvoir rotatoire de la solution en degré, $[\alpha]_{\lambda}^T$ est le pouvoir rotatoire spécifique de la solution à une température et une longueur d'onde données, l est la longueur de la cuvette contenant la solution en décimètre (dm) et C est la concentration de soluté dans celle-ci en gramme par centimètres cubes (g/cm^3).

Outre la température et la longueur d'onde émise, la cause de cette déviation de la lumière lorsqu'elle passe dans une solution d'eau est la structure moléculaire du soluté qui la compose. En effet, le pouvoir rotatoire est influencé par la dissymétrie de la structure moléculaire [1]. Avec l'équation (1), il est possible de constater qu'en augmentant la longueur de la cuvette et/ou en augmentant la concentration du soluté, l'angle de déviation de la polarisation du rayon lumineux induite par les différents sucres sera de plus en plus facile à mesurer précisément.

2. MÉTHODE

Les échantillons analysés sont composés d'une solution sucrée à base d'eau du robinet et de sucre tels que ceux énumérés dans le diagramme à la figure 4. Les solutions sont disposées dans des cuvettes [UV-Transparent cuvettes 12.5x12.5x45mm Sarstedt] contenant 7.03 ml du mélange. La figure 1 montre la configuration schématique du montage du laboratoire. La source lumineuse est un laser He-Ne d'une puissance de 10 mW ayant une longueur d'onde de 633 nm. Afin de limiter le désalignement du faisceau durant l'expérience, le laser doit être fixé à l'aide de deux points d'ancrage. Un détecteur [DET36A2 Thorlabs] placé à la sortie du laser est connecté sur à un multimètre [Mastercraft CCL0110] dans le but de mesurer l'intensité I_0 . L'intensité maximale I_0 mesurée est de $(235.0 \pm 0.4) \mu\text{A}$.

Par la suite, un polariseur [ThorLabs PHY286900] est solidement fixé sur l'axe optique du laser. Ce polariseur agit à titre d'analyseur. La distance entre le laser et l'analyseur comme montré sur le schéma de la figure 1 n'a pas vraiment d'importance pourvu qu'il y ait assez d'espace pour installer la monture de soutien des échantillons. Le détecteur utilisé précédemment est maintenant déplacé derrière l'analyseur de façon permanente pour le reste de l'expérience. Ce faisant, l'analyseur doit être ajusté de manière à être sur le même axe de transmission de la

polarisation du laser. Lorsque l'intensité mesurée est maximale à la sortie de l'analyseur (168.2 ± 0.6) μA , celui-ci se trouve aligné avec la polarisation du laser.

Après avoir réalisé toutes les étapes préliminaires, il est possible de commencer l'analyse des échantillons. Comme expliqué dans l'introduction, les molécules chirales feront tourner le plan de polarisation. Lors de la dépose de l'échantillon, une diminution de l'intensité sera parfaitement observable. Pour déterminer l'angle de rotation du pouvoir rotatoire, il suffit de tourner l'analyseur (gauche ou droit) pour trouver la plus haute intensité transmise possible. Une fois l'intensité maximale trouvée, l'expérimentateur cesse toute manœuvre et note l'angle indiqué sur l'analyseur en prenant soin de soustraire le point de référence de l'analyseur qui est de $(260.0 \pm 0.5)^\circ$. Une courbe qui décrit la loi de Malus est tracée pour chacun des échantillons. Pour ce faire, l'intensité est mesurée à chaque 20 degrés de rotation de l'analyseur sur un intervalle de 180 degrés. L'équation théorique de la loi de Malus est la suivante.

$$I = I_0 \cos^2 \theta \quad (2)$$

Finalement, le pouvoir rotatoire $[\alpha]_\lambda^T$ des composants peut être obtenu de deux façons. La première manière consiste à utiliser le déphasage entre les deux courbes de Malus comme à la figure 2 et d'isoler le pouvoir spécifique dans l'équation Eq. (1). La deuxième approche utilise la pente de l'angle en fonction de la concentration pour trouver directement le pouvoir spécifique. Cette pente est égale au pouvoir multiplié par la longueur de la cuvette.

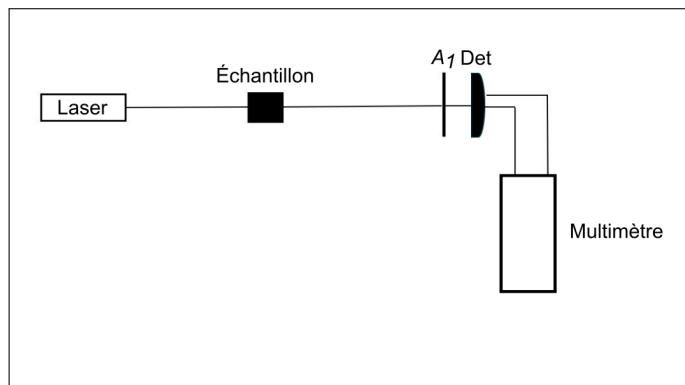


Fig. 1. Diagramme schématique du montage expérimental utilisé pour la prise de mesures. A_1 est l'analyseur. L'analyseur ne fait qu'intercepter le plan de polarisation pour l'incident donné. Det est le détecteur qui est connecté au multimètre en fonction microampère.

3. RÉSULTATS

Les données mesurées de l'intensité par rapport à l'angle de polarisation pour un montage sans cuvette et avec l'ajout d'une cuvette vide sont représentées dans la figure 2. L'intensité maximale du rayon lumineux sans cuvette est de (169 ± 5) μA , alors qu'avec l'ajout de la cuvette, elle est de (119 ± 2) μA . L'ajout de la cuvette vide induit un déphasage de $(41.1 \pm 0.5)^\circ$ avec les données sans cuvette, ce qui correspond au pouvoir rotatoire du contenant. Ces valeurs ont été obtenues à l'aide d'un ajustement de la courbe de tendance («Curve fit») pour chacun des deux ensembles de données.

La figure 3 représente l'angle de polarisation du sucre blanc en fonction de la concentration. Dans ce cas, la pente donne une valeur de $(9.7 \pm 0.5)^\circ \text{cm}^3 \text{g}^{-1}$. Cela équivaut, en divisant par la longueur, à un pouvoir rotatoire de $(+77 \pm 1)^\circ \text{cm}^3 \text{dm}^{-1} \text{g}^{-1}$.

Les données obtenues pour l'angle de rotation du polariseur à laquelle l'intensité est maximale en fonction de la concentration pour différents sucres sont représentées par la figure 4. Cette angle de rotation résulte de l'addition de l'angle de polarisation du sucre avec celui de la cuvette. À l'aide de l'équation (1), on trouve un pouvoir spécifique moyen de $(+35 \pm 1)^\circ \text{cm}^3 \text{dm}^{-1} \text{g}^{-1}$ pour la cassonade et de $(+24 \pm 1)^\circ \text{cm}^3 / \text{dm}^{-1} \text{g}^{-1}$ pour l'édulcorant.

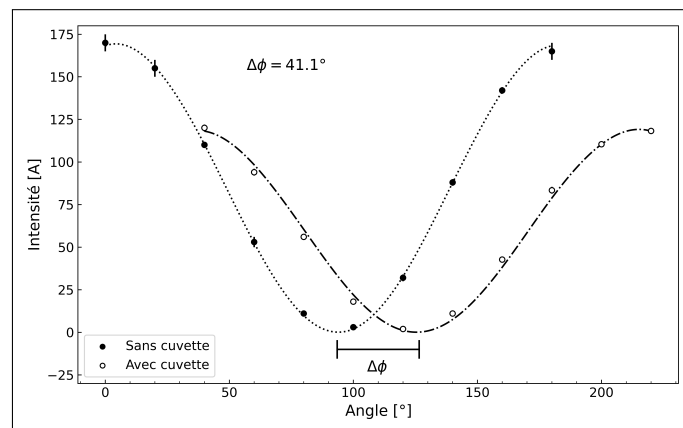


Fig. 2. Graphique de l'intensité en fonction de l'angle de polarisation de la lumière pour les montages sans cuvette et avec cuvette vide. L'intensité maximale du montage avec cuvette diminue d'environ 50 ampère par rapport au montage sans cuvette. On constate également que l'ajout d'une cuvette produit un déphasage de polarisation de $(41.1 \pm 0.5)^\circ$ avec l'angle de polarisation du rayon lumineux lorsqu'il n'y a pas de cuvette.

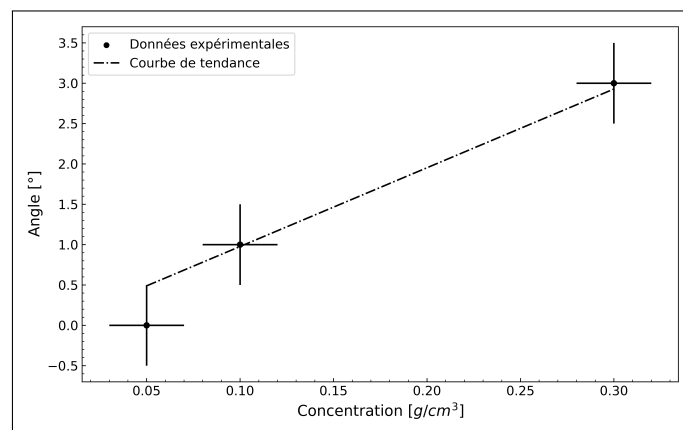


Fig. 3. Graphique de l'angle de rotation du plan de polarisation en fonction de la concentration (g/ml) du sucre blanc (saccharose). La pente d'un tel graphique vaut $[\alpha]_\lambda^T \cdot l = ^\circ \text{cm}^3 \text{g}^{-1}$.

4. DISCUSSION

Pour le sucre blanc, on a obtenu un pouvoir rotatoire de $(+77 \pm 1)^\circ \text{cm}^3 \text{dm}^{-1} \text{g}^{-1}$. Cela équivaut à un écart de 16% avec la valeur théorique à une longueur d'onde de 580 nm qui est

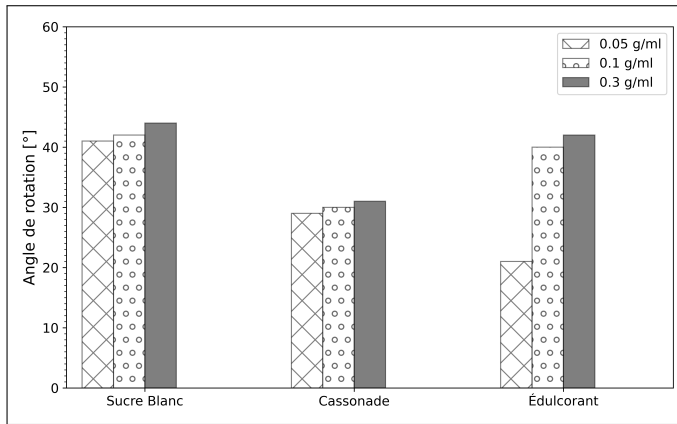


Fig. 4. Histogramme répertoriant les différentes substances utilisées selon 3 concentrations. Soit (0.05 ± 0.02) g/ml, (0.10 ± 0.02) g/ml et (0.30 ± 0.02) g/ml.

de $+66.5^\circ \text{cm}^3 \text{dm}^{-1} \text{g}^{-1}$ [2]. La différence de longueur d'onde est négligée puisque le pouvoir rotatoire spécifique varie peu avec celle-ci. Le signe positif vient du fait que le sucre blanc (saccharose) est une molécule dextrogyre [3] donc la polarisation effectue une rotation vers la droite. Malheureusement, il n'a pas été possible de mesurer un angle de rotation pour de faibles concentrations de sucre blanc. En effet, la concentration de 0.05 g/ml donne une valeur de $(0.0 \pm 0.5)^\circ$.

Le pouvoir spécifique obtenu est de $(+24 \pm 1)^\circ \text{cm}^3 / \text{dm}^{-1} \text{g}^{-1}$ pour l'édulcorant. Cela nous donne donc un pouvoir rotatoire positif, indiquant que l'édulcorant utilisé dans la solution est dextrogyre. Ce résultat concorde avec les résultats attendus, puisque l'édulcorant utilisé est de la marque Splenda, qui est composé en partie de sucralose, une molécule dextrogyre [4]. La valeur du pouvoir rotatoire obtenu ne dépend pas seulement du sucralose, car les sachets de la marque Splenda contiennent également du dextrose et de la maltodextrine [5]. Ces derniers peuvent altérer la valeur réelle du pouvoir spécifique du sucralose.

Pour le cas de la cassonade, les résultats obtenus ne sont pas très concluants. En fait, pour une concentration de $(0.3 \pm 0.2) \text{ g/ml}$, le pouvoir spécifique mesuré est de $(+35 \pm 1)^\circ \text{cm}^3 \text{dm}^{-1} \text{g}^{-1}$. Afin de confirmer la validité des résultats, une concentration de $(0.49 \pm 0.2) \text{ g/ml}$ de cassonade a été testée. À cette concentration, l'angle de rotation mesuré est de 19° par rapport à l'angle de référence de l'analyseur. La cause de cette différence de résultat sera expliquée en détail plus loin dans le rapport. Même si cette différence de pouvoir rotatoire est très grande, ce qui n'est sensé être le cas, on remarque que le pouvoir rotatoire de la cassonade diminue avec la concentration. Il s'avère que ce phénomène n'est pas complètement absurde (voir cet excellent article scientifique [6]).

Il est possible de constater à la figure 2 que l'introduction d'une cuvette de plastique vide produit une diminution de l'intensité transmise ainsi qu'un déphasage non négligeable. La diminution de l'intensité est produite par la réflectivité du faisceau laser sur le plastique. Le faisceau n'est pas parfaitement incident sur la cuvette donc selon la logique des coefficients de Fresnel et de la loi de Snell une partie de la lumière est réfléchi et l'autre transmise. Cela a pour conséquence de diminuer l'intensité transmise. Dans le cas présent, nous avons une intensité $I_0 = (169 \pm 5) \mu\text{A}$. Avec l'ajout de la cuvette vide, une diminution de $(50 \pm 3) \mu\text{A}$ est observable ce qui nous donne

l'intensité résultante $I = (119 \pm 2) \mu\text{A}$. Le déphasage, quant à lui, est provoqué par la biréfringence à contrainte mécanique [7]. Cette biréfringence, qui est irrégulière sur la cuvette comme on peut observer à la figure 5, produit un retard de phase dans la polarisation à cause des contraintes mécaniques formées par le moulage du plastique à l'usine. Sur la figure 5, une cuvette est placée entre deux polariseurs afin de voir le changement d'état de polarisation. Cet effet, à une conséquence majeure sur la validité des mesures. L'intensité transmise (courbe de Malus) de plusieurs cuvettes vides différentes a été acquise. Le déphasage des cuvettes varie de $(21.4 \pm 0.5)^\circ$ à $(42.3 \pm 0.5)^\circ$. L'utilisation d'une seule et unique cuvette fixe aurait permis de connaître avec plus de précision la valeur de l'angle de rotation causé par la biréfringence.

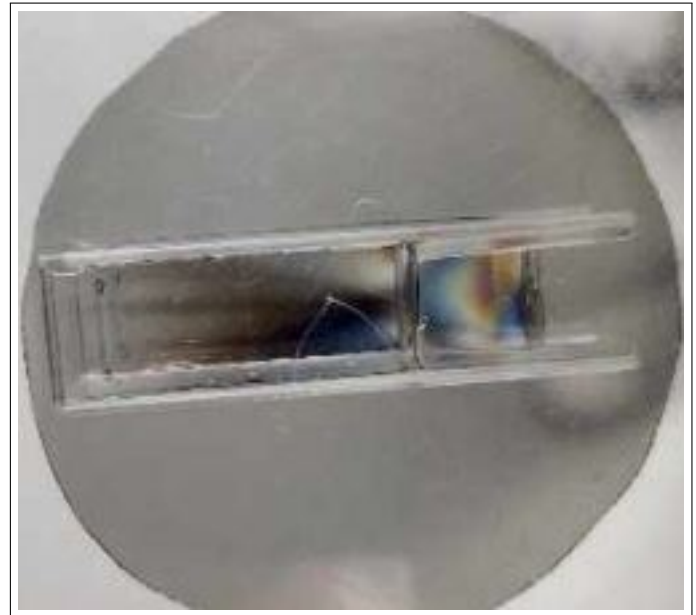


Fig. 5. Biréfringence produite par les contraintes mécaniques du moulage. Il est préférable pour le lecteur d'avoir une version du rapport en couleur afin de bien discerner les détails de l'image

5. CONCLUSION

Pour conclure, ce laboratoire avait pour but de déterminer le pouvoir rotatoire du saccharose, de la cassonade et du Splenda à une longueur d'onde de 633 nm et une température de 20°C . Le pouvoir rotatoire spécifique mesuré pour le saccharose est de $(+77 \pm 1)^\circ \text{cm}^3 \text{dm}^{-1} \text{g}^{-1}$, tandis qu'il est d'environ $(+35 \pm 1)^\circ \text{cm}^3 \text{dm}^{-1} \text{g}^{-1}$ pour la cassonade et de $(+24 \pm 1)^\circ \text{cm}^3 / \text{dm}^{-1} \text{g}^{-1}$ pour l'édulcorant.

Ces résultats démontrent donc une certaine différence de sucre en sucre. Cependant, la taille du contenant utilisé pour réaliser les manipulations, ainsi que la biréfringence irrégulière produite par celui-ci rendent les résultats erronés. Il serait donc pertinent de refaire l'expérience, mais cette fois, avec un meilleur matériel. L'utilisation d'un analyseur avec une vis d'ajustement dans les millidegrés permettrait de mesurer de très petits angles de rotation. Une cuvette de taille plus grande permettrait également d'observer un angle de rotation plus important de la polarisation du laser. Il serait également pertinent d'utiliser une cuvette en verre plutôt qu'en plastique afin de restreindre

la biréfringence liée aux imperfections contenues dans le contenant.

REFERENCES

1. A. St-Gelais, "Pouvoir rotatoire: Application aux analyses d'huiles," <https://phytochemia.com/fr/2022/01/20/pouvoir-rotatoire-application-aux-analyses-dhuiles/> (2022). [En ligne].
2. R. Y. L. K. C. G. S. C. L. Q. Li D, Weng C, "An optical chiral sensor based on weak measurement for the real-time monitoring of sucrose hydrolysis," <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7867249/>: :text=In
3. P. Y. Touitou, Fac. de médecine Pierre et Marie Curie, Univ. de Paris (2006).
4. S. V. Molinary and M. E. Quinlan, *Sucralose* (John Wiley Sons, Ltd, 2012), chap. 8, pp. 167–183.
5. Splenda, "Édulcorant splenda® en sachets," <https://www.splendaenfrancais.ca/product/splenda-sweetener-packets/> (2024). [En ligne].
6. S. S. Elwakeel, S. E. Babiker, Y. H. Alsheikh, and K. M. Haroun, *Changes* **75**, 1.
7. G. Wulff, *Angewandte Chemie Int. Ed. Engl.* **28**, 21 (1989).

FULL REFERENCES

1. A. St-Gelais, "Pouvoir rotatoire: Application aux analyses d'huiles," <https://phytochemia.com/fr/2022/01/20/pouvoir-rotatoire-application-aux-analyses-dhuiles/> (2022). [En ligne].
2. R. Y. L. K. C. G. S. C. L. Q. Li D, Weng C, "An optical chiral sensor based on weak measurement for the real-time monitoring of sucrose hydrolysis," <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7867249/>: :text=In
3. P. Y. Touitou, "Biochimie: structure des glucides et lipides," Fac. de médecine Pierre et Marie Curie, Univ. de Paris (2006).
4. S. V. Molinary and M. E. Quinlan, *Sucralose* (John Wiley Sons, Ltd, 2012), chap. 8, pp. 167–183.
5. Splenda, "Édulcorant splenda® en sachets," <https://www.splendaenfrancais.ca/product/splenda-sweetener-packets/> (2024). [En ligne].
6. S. S. Elwakeel, S. E. Babiker, Y. H. Alsheikh, and K. M. Haroun, "Effect of sugar concentration and type on the angle of rotation of polarized light," *Changes* **75**, 1–096.
7. G. Wulff, "Main-chain chirality and optical activity in polymers consisting of cc chains," *Angewandte Chemie Int. Ed. Engl.* **28**, 21–37 (1989).