

Phénomènes de polarisation optique

Document / Logiciel	Auteur	Edition/Source
Etude polarimétrique de l'inversion du saccharose	P. Christaller	BUP février 1992, n° 741, p 205-215.
Chimie générale expérimentale	J. Piard	Boeck
Optique physique	R. Taillet	Boeck
Physique tout-en-un PC/PC*	MN. Sanz F. Vandenbrouck B. Salamito D. Chardon	Dunod
Physique tout-en-un PCSI	B. Salamito S. Cardini D. Jurine ME. Sanz	Dunod
Animation polarisation rectiligne (et circulaire)		https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/templateimg.php?s=opt_vlna&l=fr

Niveau : cycle terminal.

Prérequis : vecteurs, ondes, lumière polychromatique, chiralité, loi de Beer-Lambert.

Introduction pédagogique :

Choix du contenu :

- Périmètre de la leçon : introduction à la polarisation de la lumière.
- Panorama complet : mise en évidence, production, analyse et déviation de lumières polarisées + application à la polarimétrie.
- Uniquement de la polarisation rectiligne sur des ondes planes.
- Partie I : découverte des notions. Partie II : application expérimentale.
- Elèves de Term donc théorie sur *du concret* : instrument d'optique (polariseur/analyseur) + polarimétrie.
- Polarimètre « simplifié » (polarimètre de Laurent trop compliqué).
- Polarimétrie = compétences transverses physique/chimie.
- Améliorations : webcam + photorécepteur pour tracer les variations d'intensité.

Compétences :

- Compétences théoriques : avant de comprendre les phénomènes de polarisation, déjà comprendre la notion.
- Compétences techniques : utilisation du couple P/A.

Contextualisation :

- Cours antérieurs : sources de lumière + types de lumière.
- Cours postérieurs : interaction lumière matière.
- TP : détermination des axes de polariseur/analyseur, polarimètre artisanal et polarimètre de Laurent.
- Exercices : expressions de E à travers des polariseurs successifs.
- Activités documentaires : polaroïd.

Choix des prérequis :

- Notions d'onde : mécanique + savoir que la lumière est une onde (sans savoir de quelle nature).
- Manipulation de vecteurs (direction, projection).
- Notion de chiralité.

Notions délicates :

- Ondes électromagnétiques et polarisations = notions difficiles.
- Mathématisation du problèmes (vecteur) + calculs.

Difficultés de préparation :

- La polarisation, c'est dur !
- Pour rendre la notion intelligible : beaucoup de schémas.
- Pas aussi flagrant que les expériences de lumière polychromatique VS monochromatique → plus dur de susciter l'enthousiasme avec un polarimètre qu'avec un prisme.

Introduction

- Il existe au quotidien beaucoup de sources de lumière (flamme de bougie, lampe à incandescence, laser).
- On dispose d'instruments optiques pour agir sur les rayons lumineux (lentilles, filtres).

Slide Expérience qualitative

- Objectif : montrer l'action d'un polariseur sur 2 types de polarisation.
 - Montage : source blanche + filtre anti-calorique + diaphragme (ou laser polarisé) + polariseur + écran.
 - Manipulation : éclairer le polariseur et le tourner.
 - Interprétation : pas de changement d'intensité pour la lumière blanche VS variations d'intensité pour le laser.
- Est-ce que la différence de la lumière provient de la superposition des longueurs d'onde en lumière blanche ?

Slide Expérience qualitative

- Objectif : prouver que le P n'agit pas en fonction de la couleur.
 - Montage : source blanche + filtre anti-calorique + filtre de la couleur du laser + diaphragme + polariseur + écran.
 - Manipulation : éclairer le polariseur et le tourner.
 - Interprétation : pas de changement d'intensité pour la lumière filtrée.
- Mise en évidence d'une nouvelle propriété de la lumière => polarisation.

Transition : pour la comprendre il faut distinguer plusieurs types de lumière.

I – Polarisation de la lumière

A) Les types de lumière

Introduction :

- La lumière est une onde.

Description ondulatoire :

- Lumière = onde électromagnétique.
- Ondes électromagnétique = propagation de 2 grandeurs vibratoires : **E** et **B**.
- Propagation dirigée par **k**.
- **Slide E, B** et **k** sont orthogonaux = trièdre direct.
- **E** et **B** vibrent : variation dans l'espace et le temps de la norme et la direction des vecteurs.
- On restreint le problème à l'étude de **E**.

Notion de polarisation :

- **Slide** Lumière non polarisée : variation aléatoire de la direction de **E** dans le temps. (lumière blanche, soleil, lampes thermiques)
- **Slide** Lumière polarisée rectilignement : conservation de la direction **E** en tout point de l'espace au cours du temps.
- (certains laser).

Conclusion :

- A titre informatif : il existe des polarisations autres que rectiligne.
- La lumière naturelle peut être partiellement polarisée.

[Physique PCSI, B . Salimito, p144/145]

Transition : qu'est-ce qu'on a fait avec cet énigmatique instrument ?

B) Production de lumière polarisée

Introduction :

- Les physiciens sont pragmatiques : ça s'appelle un polariseur.

Polariseur :

- lame qui transforme une lumière non polarisée en lumière polarisée rectilignement selon la direction privilégiée du P.
- « Production » = transformation d'une lumière non polarisée en lumière polarisée.
- Matériau = film de polymère étiré.

Interaction P/lumière :

- Interprétation expérience : le polariseur a visiblement un effet sur le laser donc sur la lumière polarisée, mais sur la lumière blanche ? On ne « voit » rien mais est-ce qu'il ne se passe rien ?
- **Schéma** Lumière non polarisée + P = lumière polarisée rectilignement.

Animation :

- Objectif : montrer l'évolution d'une polarisation rectiligne.
- Interprétation : polarisation rectiligne avec $\theta = \pi/2$ donc **E** est selon l'axe Oy. La direction se conserve mais le sens change au cours de la propagation.

Conclusion :

- Le polariseur change les propriétés de la lumière non polarisée.
- Quel est son effet sur les lumières polarisées ?

Transition : qu'est-ce qui s'est passé avec laser ?

[Web pour l'animation]

C) Analyse de lumière polarisée

Introduction :

- Pour comprendre : concept d'analyse.

Analyseur :

- Même objet que le P.
- On appelle analyseur un polariseur éclairé en lumière polarisée.
- « Analyse » = conservation d'une partie de la polarisation d'une lumière polarisée.

Interaction A/lumière :

- Interprétation expérience 2 : on a utilisé un laser polarisé donc c'est une expérience d'analyse d'une lumière polarisée. Observation = extinction de la lumière du laser. Pourquoi ?
- Slide Lumière polarisée rectilignement + A = lumière polarisée rectilignement selon \mathbf{u}_A .
- Slide Lumière polarisée rectilignement orthogonale à \mathbf{u}_A + A = extinction.

Couple P/A :

- Est-il possible d'obtenir le même résultat avec une lumière initialement polarisée ?
- Expérience.
- Avec P, on crée une lumière polarisée comme le laser des expériences 1 et 2.
- P et A croisés = extinction.

Expérience qualitative

- Objectif : montrer l'action d'un A sur une lumière polarisée.
- Montage : source blanche + filtre anti-calorique + + diaphragme + polariseur + analyseur + écran.
- Manipulation : tourner l'analyseur.
- Interprétation : variation d'intensité jusqu'à extinction.

Conclusion :

- Possibilité de combiner P et A.
- P et A sont un genre de « filtre » d'une direction de propagation.

Transition : c'est formidable, mais à quoi ça sert ? En tant que tel, la polarisation ou pas de la lumière n'est pas capitale mais l'intérêt d'une lumière polarisée c'est qu'avec elle on peut observer des déviations de polarisation.

II – Déviation de la polarisation

A) Pouvoir rotatoire

Introduction :

- Déviation dans certains cas.

Pouvoir rotatoire spécifique :

- Capacité d'une espèce à dévier le plan de polarisation d'une lumière polarisée dans le sens trigonométrique (lévogyre) ou horaire (dextrogyre).
- $[\alpha]$ en $^{\circ} \cdot \text{dm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{L}$

- dépend de
 - λ (usuellement D Na)
 - T (usuellement 20 °C)
 - $[\alpha]_{\lambda}^T$

Pouvoir rotatoire d'un mélange :

- Analogie avec la loi de Beer-Lambert.
- Loi de Biot :

$$\alpha = \sum_i \ell [\alpha]_i [i]$$

- Fonction des espèces optiquement actives.
- Unités.

Polarimétrie :

- Science de la mesure de la déviation du plan de polarisation de la lumière.

Comparaison polariseur/analyseur/espèce chirale :

- Une espèce chirale n'a pas d'action sur une lumière non polarisée, contrairement à un polariseur.
- La déviation d'une lumière chirale par un analyseur s'effectue sans perte d'énergie alors que la totalité de l'intensité lumineuse n'est pas transmise par l'analyseur.
- P et A = transmission VS pouvoir rotatoire = déviation.

Conclusion :

- Lien entre déviation de la polarisation et concentration.
- Utile pour connaître la concentration d'espèces en solution.

Transition : application au glucose.

[Chimie générale et expérimentale, J. Piard, p143-145]

B) Mesure du pouvoir rotatoire du glucose

Introduction

- **Slide** Glucose = sucre = molécule chirale.

Schéma Expérience quantitative :

- ✓ Objectif : mesurer le pouvoir rotatoire du glucose.
- ✓ Montage : cf schéma + coller la source et le condenseur + mettre le diaphragme au foyer objet de L1 et le solidariser avec la lentille + mettre l'écran dans le plan objet de L2 et le solidariser avec la lentille si possible.
- ✓ Manipulation : en préparation, croiser P et A avec la cuve vide + en direct croiser P et A avec la cuve pleine.
- ✓ Interprétation : calcul de α sachant C et l + incertitudes + comparaison à la valeur tab.

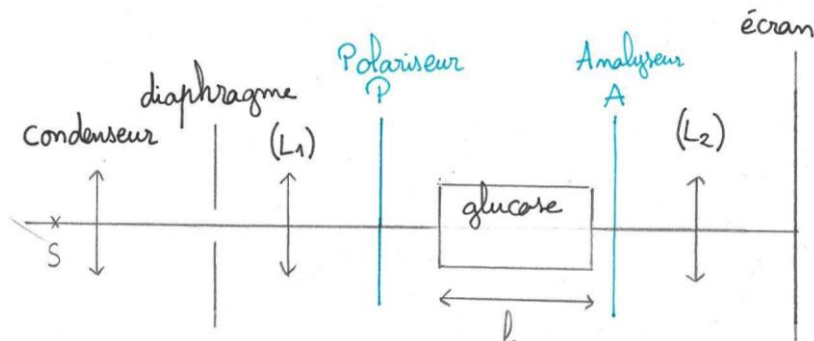
i_A = direction initiale de A	$l = 21 \text{ cm}$
i_A' = direction finale de A	$C = 0,1 \text{ g.mL}^{-1}$
$\alpha = i_A - i_A' \pm \frac{[i_A'_{max} - i_A'_{min}]}{\sqrt{12}}$	$[\alpha_{\text{glucose}}]_D^{\text{Tamb}} = \frac{\alpha}{l C}$

Incertitude sur α = plage d'extinction/ $\sqrt{12}$

$[\alpha_{\text{glucose}}]_D^{20} \text{ ref} = 52,7 \text{ } ^\circ\text{.dm}^{-1}\text{.g}^{-1}\text{.mL}$

Description de l'expérience :

- Solution de glucose de concentration connue entre un P et un A.
- Eclairage en lumière blanche (système condenseur + diaphragme + lentille pour régler l'intensité du faisceau sortant).



[BUP février 1992, n° 741, p 205-215]

Schéma Polarisation de **E** :

- Avant le polariseur, lumière non polarisée.
- Après le polariseur, **E** est orienté.
- Après la cuve, **E** est dévié de α .

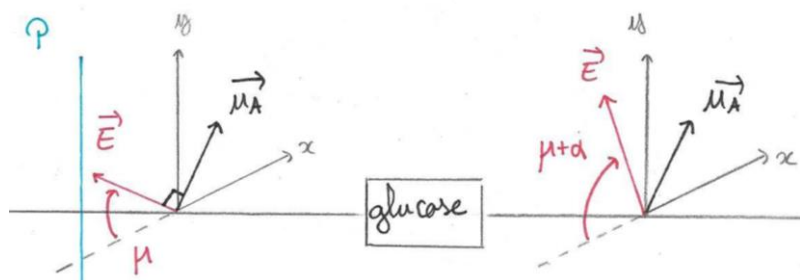
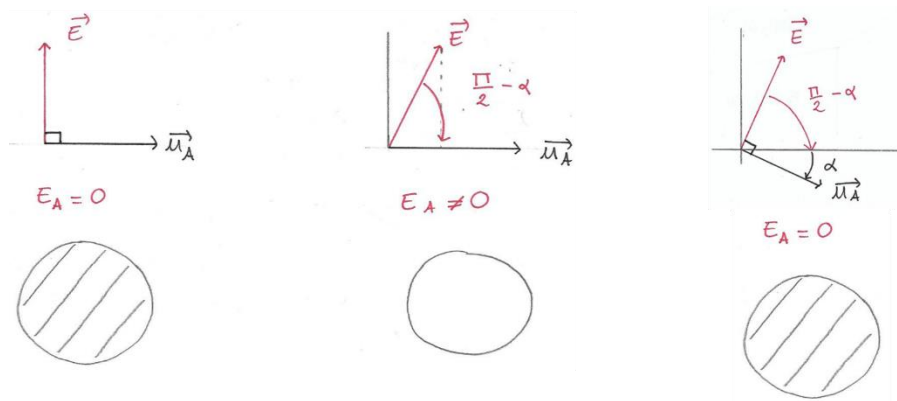


Schéma Projection de **E** sur A :

- Réglage initial de P et A sans la cuve :
 - P et A croisés.
 - Projection E_A nulle.
 - Extinction.
- Déviation par le glucose :
 - Pas de modification de la direction de l'analyseur.
 - Projection E_A non nulle.
 - Luminosité.
- Mesure :
 - Rotation de A d'un angle α .
 - Projection E_A nulle.
 - Extinction.



Expérience :

i_A = direction initiale de A	$l = 21 \text{ cm}$
i_A' = direction finale de A	$C = 0,1 \text{ g.mL}^{-1}$
$\alpha = i_A - i_A' \pm \frac{[i_A'_{\text{max}} - i_A'_{\text{min}}]}{\sqrt{12}}$	$[\alpha_{\text{glucose}}]_D^{\text{Tamb}} = \frac{\alpha}{l C}$

Incertitude sur α = plage d'extinction/ $\sqrt{12}$

$[\alpha_{\text{glucose}}]_D^{20} \text{ ref} = 52,7^\circ \cdot \text{dm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{mL}$

Conclusion

- Grâce à la polarimétrie, on a retrouvé une grandeur physique.
- On peut faire l'opération inverse : connaissant le pouvoir rotatoire spécifique => calcul de la concentration.

Transition : peut-on obtenir d'autres informations ?

C) Détermination de proportions de molécules chirales

Introduction :

- On a mesuré un pouvoir rotatoire comme si une seule espèce était chirale.
- Glucose sous deux formes en équilibre : réaction d'inversion.
- Pouvoirs rotatoires spécifiques différents : $[\alpha]_\alpha = 112,2^\circ \cdot \text{L} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{dm}^{-1}$ et $[\alpha]_\beta = 18,7^\circ \cdot \text{L} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{dm}^{-1}$

Loi de Biot :

- Additive.
- Nouvelle expression pour le pouvoir rotatoire de la cuve :

$$\alpha = \alpha(\alpha - \text{glucose}) + \alpha(\beta - \text{glucose})$$

$$\alpha = [\alpha]_\alpha l C_\alpha + [\alpha]_\beta l C_\beta$$

$$[\alpha]_{\text{glucose}} C = [\alpha]_\alpha C_\alpha + [\alpha]_\beta C_\beta$$

$$C = C_\alpha + C_\beta$$

$$[\alpha]_{\text{glucose}} C = ([\alpha]_\alpha - [\alpha]_\beta) C_\alpha + [\alpha]_\beta C$$

$$C_\alpha = \frac{[\alpha]_{\text{glucose}} - [\alpha]_\beta}{[\alpha]_\alpha - [\alpha]_\beta} C = P_\alpha C$$

- En solution : 63 % de beta et 37 % de alpha.

Conclusion :

- La réaction d'inversion est très rapide : le pouvoir rotatoire du glucose est la moyenne pondérée des deux formes.
- 1 mesure => plusieurs informations.

Conclusion :

- Plusieurs types de lumière : polarisée ou non.
- Production de lumière polarisée grâce aux P.
- **Slide** Existence d'autres polarisations (circulaire).
- Autres sources de polarisation : traversée de milieux anisotropes (lames cristallines), réflexion, diffusion.
- Polarimétrie = exploitation de la déviation de la lumière par des espèces chimiques.
- Un des rare moyens pour différencier des énantiomères.
- Suivi de réactions impliquant des molécules chirales.
- Polarimètre de Laurent.
- **Slide** Applications quotidiennes des phénomènes de polarisation/
- (Verres polarisant, microscopes à lumière polarisée => pluridisciplinarité SVT).

[Chimie générale et expérimentale, J. Piard, p149/167]

[Optique physique, R. Taillet, p187]