

LP 33 : Phénomènes de polarisation optique

Élément imposé : un type de polarisation, angle de Brewster, lame demi, quart d'onde Sanz PC détaille bien, loi de Malus, polarimètre de Laurent, biréfringence, spectre cannelé, photoélasticimétrie (cf leçon Joa), polarisation par diffusion de Rayleigh Sanz MP p641, Ecran LCD Hachette TS spé

<https://cddemo.szialab.org/> animation des différentes polarisations

Vidéo de Bruce Yeany

<https://www.gatinel.com/recherche-formation/la-nature-de-la-lumiere-approche-historique/polarisation-de-la-lumiere/>

http://sesp.esep.pro/fr/pages_polarisation/decouvrir-polarisation_impression.html

<http://paristech.institutoptique.fr/site.php?id=320&fileid=1049>

http://olivier.granier.free.fr/cariboost_files/Tr-PC-pola-lumiere-1213.pdf

Niveau : Dépend de l'élément imposé, ici 1^{ère} année de BTS Métiers de la chimie

Prérequis :

- Nature ondulatoire de la lumière, onde électromagnétiques (TS)
- Structure d'une onde EM (L1)
- Chiralité, excès énantiomérique (L1)
- Notion de vecteur, direction et projection (L1)

Biblio : Fruchart, Garing bof, Bernard techniques expérimentales, Houard, Sextant

Intro pédagogique :

En BTS métier de la chimie, plutôt en 1^{ère} année

Après un cours sur la structure des ondes électromagnétiques

Introduction de la polarisation de la lumière + application en chimie de la loi de Biot pour l'étude d'espèces chirales.

Notion déjà vu pour certains (en TSTL option SPCL) Mais refait en détail pour ceux qui ne viennent pas de cette filière.

Choix : on montre expérimentalement la loi de Malus pour la faire 'sentir' aux élèves puis on la démontre

Deuxième partie : application de la polarisation à la chimie : permet de rendre concret l'utilisation de la polarisation.

Difficulté : représentation vectorielle et projection

TD : étude documentaire pour comprendre le fonctionnement des écrans LCD, verre polarisant anti reflet

TP : utilisé régulièrement en chimie orga pour les espèces chirales

Introduction

Filtre polarisant pour les photos ou de lunettes anti reflets qui permettent de ne plus voir les reflets à la surface de l'eau (slide) Comment ça marche ? Met en jeu le phénomène de polarisation que nous allons décrire aujourd'hui

Objectifs :

- Comprendre le phénomène de polarisation
- Être capable de mesurer une concentration ou un excès énantiomérique à l'aide de lumière polarisée

I. De la lumière naturelle à la lumière polarisée

A. Définitions

Déjà se rappeler ce que la lumière est une onde électromagnétique. On peut associer à cette onde un champ E, vecteur qui varie de manière périodique dans le temps et l'espace. Slide

Polarisation de la lumière : l'évolution de la direction du champ E au cours du temps quand on place notre œil sur l'axe de propagation tel que l'onde se propage vers nous (= orientation de E)

Plan de polarisation : plan qui contient le champ E et le vecteur k

Direction de polarisation : droite parallèle à E

Pour la lumière naturelle, le champ E peut être dans toutes les directions : on ne peut jamais savoir dans quelle direction sera E au cours du temps. Ex : Soleil ou lampe à incandescence



Au tableau : → *lumière non polarisée*

Lumière polarisée : possède une direction de polarisation constante au cours du temps (faire schéma pour les 3) On s'intéresse aujourd'hui à la polarisation rectiligne

Animation rectiligne (et circulaire) : <https://cddemo.szilab.org/>

exemple : diode, laser

Transition : La lumière naturelle est non polarisée. Comment on fait pour obtenir une lumière polarisée ?

B. Obtention d'une lumière polarisée

On veut obtenir une lumière polariser rectilignement

On peut utiliser un *polariseur* : dispositif permettant d'obtenir une onde polarisée rectilignement

Explication du polariseur : Schéma sur Slide

Film de polymères étirés, alignement des molécules → absorbe toute la composante → polarisation perpendiculaire aux polymères

On peut alors créer une lumière polarisée à partir d'une lumière naturelle : le polariseur va jouer le rôle de grille et ne laissera passer que la composante parallèle à sa direction de polarisation privilégiée → Le polariseur sélectionne une direction pour le champ électrique

exp : lumière blanche + polariseur → diminution de I

→ Comment savoir si c'est une onde polarisée ? → utilisation d'un analyseur

Analyseur = 2e polariseur

Slide Schéma montage

exp : on tourne l'analyseur → zone d'extinction

Transition : Comment expliquer et quantifier la variation d'intensité en sortie de l'analyseur ?

C. Loi de Malus

exp : Fruchart p184 Démonstration de la loi de Malus

Notre œil ne détecte pas la valeur du champ E mais la valeur moyenne temporelle du carré qui est proportionnelle à l'éclairement, les détecteurs étant quadratiques et la fréquence des champs E et B étant trop élevée. On ne voit pas la vibration du champ au cours du temps mais on voit une moyenne temporelle.

Eclairement :

Intensité lumineuse $I = kE \cdot E$

Lumière naturelle E n'a pas de direction fixe au cours du temps, la direction est aléatoire et varie très vite, changer la direction du polariseur n'a aucun effet sur l'éclairement.

Avant l'analyseur : $I_0 = kE_0^2$

Lumière polarisée rectilignement : Direction du champ E fixe au cours du temps, donc changer la direction de polarisation de l'analyseur va changer l'éclairement. Si la direction de polarisation de

l'analyseur est parallèle à la direction de propagation du champ E : éclairage maximal. Si la direction de polarisation du polarisateur est orthogonale à la direction de propagation du champ E : éclairage minimal (nul)

Animation : changer l'angle: <http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/optiondu/malus.html>

Slide schéma E avant et transmis : explication de l'apparition du θ , projection

Après analyseur : *Loi de Malus* : $I = kE_0^2 \cos^2 \theta = I_0 \cos^2 \theta$, θ angle entre l'axe du polarisateur et l'axe de l'analyseur

→ On observe donc bien un éclairage maximal pour $\alpha=0$ et un éclairage nul pour $\alpha=\pi/2$.

Transition : La lumière polarisée a un grand intérêt pour l'analyse d'espèce chirale

II. Caractérisation d'espèces chirales

A. Vers la loi de Biot

Molécules sur slide

exp : avec un laser : EtOH → toujours extinction → pas de déviation

Fructose → lumière passe (2 hyp : soit lumière plus polarisée soit angle de polarisation dévié) → on tourne analyseur → extinction → déviation → les espèces chirales deviennent le plan de polarisation

exp : + limonène → angle différents → angle de déviation caractéristique d'une espèce

exp : on tourne la cuve (plus petit l) → l'angle diminue, on double c → l'angle double

Loi de Biot (1812) : $[\alpha] = l \Sigma \alpha_0 c$, c en g/mL, l en dm, α en °, α_0 en °g⁻¹mLdm⁻¹

Schéma Slide

Transition : α étant proportionnel à C, sa mesure peut permettre de remonter à C

B. Application à la détermination de C

Droite d'étalonnage pour avoir la relation entre α et C (de la solution la moins concentrée à la plus pour ne pas modifier faible concentration si cuve mal lavée)

exp : mesure de α pour une concentration inconnue de limonène → on remonte à c
+Incertitudes

Transition : On considère une seule espèce dans la solution, mais que ce passe-t-il si on a un mélange ?

C. Application à la détermination d'un ee

Loi de Biot additive

Cas pratique en TP : détermination d'un excès énantiomérique

Calcul dans le cas d'énantiomère :

Cas du limonène, Bernard p130

Conclusion

Schéma polarimètre

Ouverture : il n'y a pas que cette application. On étudiera en TD les écrans LCD et leur fonctionnement.

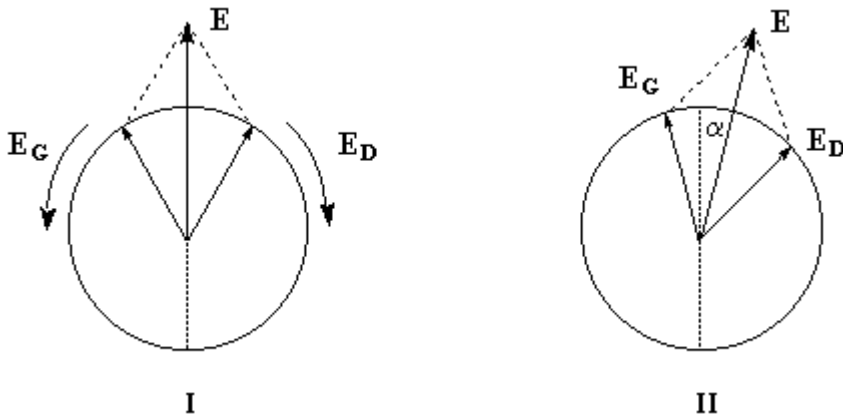
Les lunettes 3D utilisent le phénomène de polarisation mais pas seulement de la polarisation rectiligne à laquelle on s'est limité dans la leçon. Si on pose la tête sur l'épaule du voisin, on voit toujours l'écran de cinéma normalement

Remarques :

- Vecteur E = la somme de deux vecteurs E gauche et E droite de même amplitude et de même fréquence mais tournant en sens inverse → la polarisation rectiligne = la somme de deux polarisations circulaires (l'une droite et l'autre gauche)

Dans un milieu inactif les champs se déplacent à la même vitesse → polarisation inchangée

Un milieu actif (chiral) possède des propriétés physiques dissymétriques pour les champs Egauche et Edroite (à l'échelle macroscopique, indices n_G et n_D différents) → vitesses de EG et ED différentes, ce phénomène permet d'expliquer la déviation des espèces chirales. Si on s'intéresse à deux énantiomères (le (+) et (-) limonène, on remarque que l'angle de déviation à la même valeur, mais dévie le plan des sens opposés.)



- Polarisation découverte par Malus au début du XIXème siècle
- Phénomène de polarisation aussi présent pour les matériaux (alignement moments dipolaires), ou pour les spins
- Utilisation polarisation lumière par insectes pour se déplacer (cf Houard)
- Comment déterminer polarisation d'une lumière (cf sextant)
- Pour une longueur d'onde λ :
 - Lame onde ($\Delta\phi$ multiple paire de π) → polarisation non changée
 - Lame demi-onde ($\Delta\phi$ multiple impaire de π) → polarisation toujours rectiligne mais symétrique de celle de la lumière incidente
 - Lame quart-d'onde ($\Delta\phi$ multiple impaire de $\pi/2$) → axe rapide et axe lent → onde polarisée rectilignement devient polarisée elliptiquement