

LAME MINCE (1) : BIREFRINGENCE DU SCOTCH

Durée : 3H. Ce T.P. comporte 6 pages.

1. MATERIEL / LOGICIELS / DOCUMENTATION

Lampe à incandescence 12V 100W - alimentation 12V - Laser He-Ne (543,5 nm) - Polariseurs mica - Puissance-mètre Labmaster avec capteur LM-2 - Compensateur de Soleil-Bravais - Objectif de projection ($f \approx 100$ mm) - Verre anticalorique - Logiciel Excel - Fichiers *Spec_can_coul.xls* et *Calcul_birefringence.xls* - **Annexe** : Echelle des teintes de Newton - données techniques J. Fichou.

2. INTRODUCTION

Une lame anisotrope uniaxe à faces planes et parallèles d'épaisseur e caractérisée par sa biréfringence Δn qui reçoit une onde plane sous incidence i , donne naissance à deux ondes (ordinaire o et extraordinaire e) polarisées rectilignes et orthogonales. Ces deux ondes (o et e) émergent de la lame en présentant un déphasage ϕ , et une différence de marche δ . La lame se comporte comme un diviseur d'amplitude.

δ est fonction (compliquée) de i , e et Δn , mais dans le cas où l'axe optique est parallèle aux faces et où l'incidence est normale, son expression est:

$$\delta = e \Delta n$$

Rq: d'autres paramètres interviennent dans l'expression de δ , en particulier λ (variation des indices n_o et n_e) et la température T (variation des indices et de l'épaisseur).

Ce TP se propose de mesurer la biréfringence Δn . Pour cela on peut utiliser un compensateur qui une fois étalonné, permet de mesurer δ et par suite Δn (connaissant l'épaisseur e).

On peut aussi faire interférer les deux ondes après les avoir rendues parallèles grâce à un polariseur (cohérence de polarisation). La différence de marche δ , provoquera alors un minimum d'intensité pour certaines longueurs d'onde (interférences destructives) ou un maximum pour d'autres (interférences constructives).

Si la lumière incidente est blanche, la lumière transmise présente une couleur qui dépend de δ .

La comparaison de cette couleur avec les teintes de référence (de Newton) permet de trouver δ et Δn .

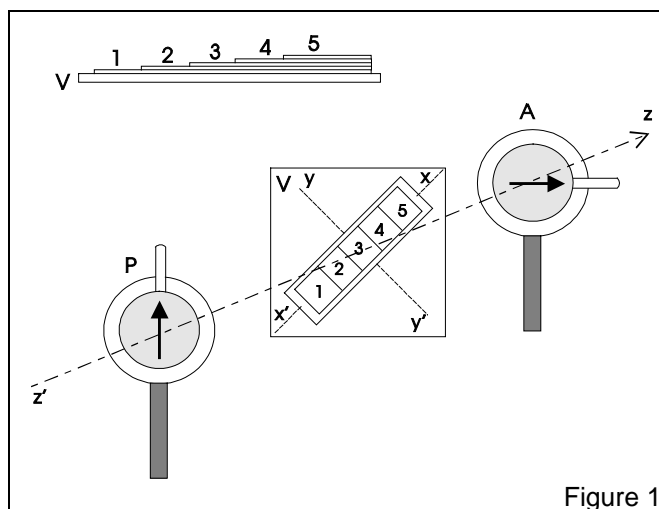


Figure 1

3. TRAVAIL DEMANDE

3.1 Teintes de Newton

3.1.1 Principe.

Une lampe à incandescence émet une lumière dont la composition spectrale (les couleurs) dépend de la température. Cette lumière "blanche" éclaire la lame de scotch entre polariseurs croisés ou parallèles. Le spectre présente alors des cannelures : l'absence de certaines longueurs d'onde (interférence destructives) se manifeste par

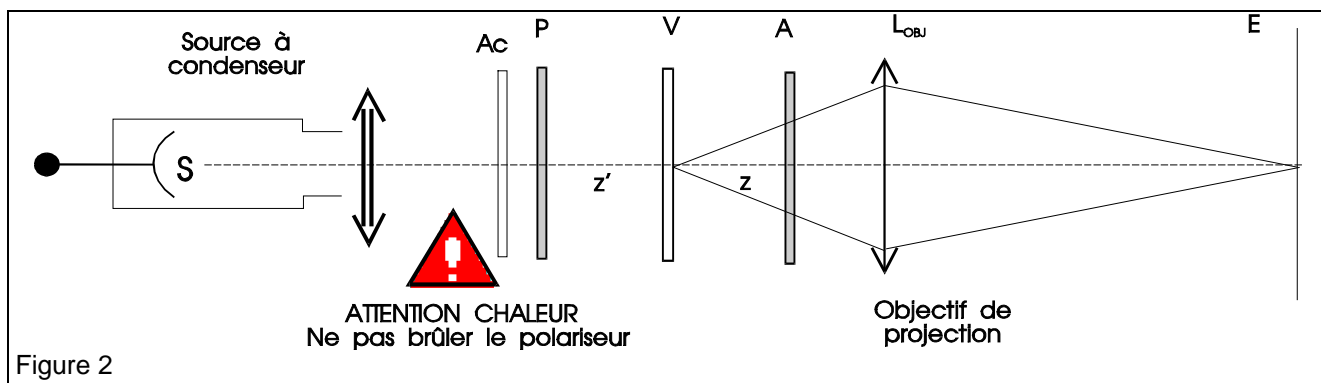


Figure 2

les cannelures sombres, l'interférence constructive rend maximum l'intensité d'autres longueurs d'onde (cannelures claires). La lumière parvenant à l'observateur est alors colorées.

Ouvrir **Spectre can coul.xls**. Observer la simulation, elle vous aidera à associer une différence de marche à une couleur observée dans la partie suivante.

3.1.2 Montage.

Coller sur une lame de verre V plusieurs épaisseurs de scotch (au moins 5). Chaque épaisseur constitue un bi-réfringent.

Déterminer les lignes neutres en recherchant l'extinction entre polariseurs croisés. L'une s'appellera axe x'x, l'autre axe y'y. Placer les lignes neutres x'x et y'y à 45° des directions des polariseurs P et A (Figure 1).

Compléter le montage en utilisant une source blanche S et en faisant l'image sur E de la lame V grâce à une lentille objectif de bonne qualité.

Protéger P de la chaleur par un filtre anticalorique (Figure 2).

Montrer le montage à un professeur

3.1.3 Observations

Comparer les couleurs des couches paires et impaires. Ce sont les teintes de Newton à centre noir (teinte noire entre quand $P \perp A$ et $\delta = 0$ c.à.d. en l'absence de biréfringent).

Tourner lentement l'analyseur jusqu'à ce que P et A soient parallèles. On observe les teintes de Newton à centre blanc (teinte blanche quand $\delta = 0$ et $P // A$).

Evaluer pour chaque épaisseur la différence de marche et compléter le tableau.

Autres observations: incliner la lame V en la faisant tourner autour de x'x puis de y'y.

Les couleurs évoluent dans le sens d'une augmentation ou d'une diminution de la différence de marche.

Observer d'autres lames ou objets (scotch divers, morceaux de plastiques, boîtes en plastique moulé, cellophane, mica ...)

3.1.4 Résultats, interprétation.

Le scotch a des propriétés élastiques et optiques différentes parallèlement (x'x) et perpendiculairement y'y au sens de déroulement.

On introduit donc deux indices n_E et n_O .

Si I_0 est l'intensité de la lumière incidente polarisée par P, montrer en complétant les schémas de la Figure 3, que l'intensité en sortie de l'analyseur est:

$$I = I_0 \sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right) \text{ si } P \perp A \quad (1)$$

$$I = I_0 \cos^2\left(\frac{\varphi}{2}\right) \text{ si } P // A \quad (2)$$

où $\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} e(n_E - n_O)$ représente le déphasage, à la sortie du scotch, de la vibration lente par rapport à la vibration rapide.

Epaisseurs	COULEURS		δ (μm)
	$P \perp A$	$P // A$	
0	NOIR	BLANC	0
e			
2e			
3e			
4e			
5e			

Tableau 1 : couleurs de Newton

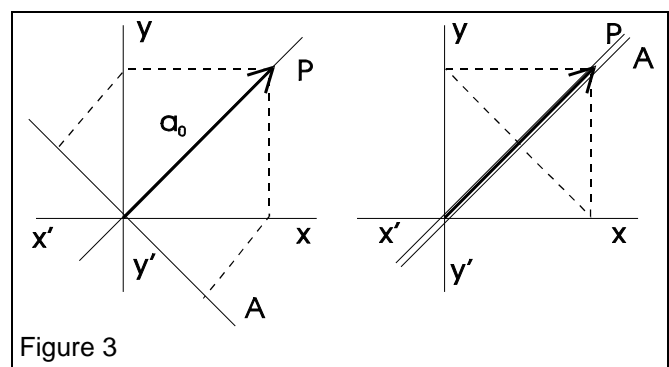


Figure 3

Résultats:

Résumer les observations.

Après avoir démontré les relations (1) et (2), montrer que si λ_0 permet une intensité maximum pour une épaisseur e de scotch, elle sera également maximum pour 3e, 5e, ... $(2k+1)e$, mais elle sera éteinte pour 2e, 4e, ... $2ke$ (k entier).

Déduire du tableau une valeur moyenne pour la différence de marche $\delta_{\text{SCOTCH}} = e\Delta n$ apportée par une épaisseur.

Si $e \approx 50\mu\text{m}$, évaluer la biréfringence Δn du scotch.

3.2 Le compensateur de Soleil-Bravais.

3.2.1 Description – Observations

Il introduit un déphasage uniforme dans l'ensemble du champ (Figure 4):

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} (e_1 - e_2) \Delta n$$

Ce déphasage varie de -2π à $+2\pi$ par déplacement X d'une vis micrométrique entraînant le déplacement de deux prismes biréfringents. Ceci permet une différence de marche de $-\lambda$ à $+\lambda$ entre les deux composantes orthogonales polarisées rectilignement qui les traversent.

Réaliser un faisceau de lumière blanche sensiblement parallèle pour éclairer un ensemble P et A croisés (ou parallèles).

3.2.2 Montage

On utilise un laser He-Ne vert ($\lambda = 543,5$ nm).

Le montage doit permettre d'éclairer le compensateur, entre P et A successivement croisés puis parallèles, par un faisceau de lumière parallèle (Figure 5).

Elargir pour cela le faisceau à l'aide d'un télescope. Disposer le compensateur entre P et A. Rechercher ses lignes neutres. Tourner le compensateur afin de placer ses lignes neutres à 45° des axes des polariseurs.

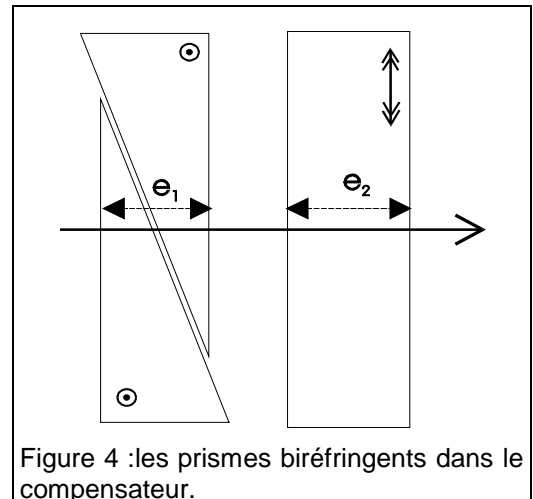


Figure 4 : les prismes biréfringents dans le compensateur.

Montrer votre montage

D'après la documentation du constructeur, quel est le domaine spectral utilisable ? Quelles valeurs de la différence de marche δ_{CP} peut-on obtenir ? Quelle est la position du zéro ?

3.2.3 Etalonnage

Si $P \perp A$: $I = I_0 \sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right) = 0$ pour $\delta_{CP} = k\lambda$.

L'intensité est nulle pour $\delta_{CP} = -\lambda; 0; \lambda$ (dans le domaine $[-550; +550\text{nm}]$ compatible avec le laser).

Si $P // A$: $I = I_0 \cos^2\left(\frac{\varphi}{2}\right) = 0$ pour $\delta_{CP} = (k + \frac{1}{2})\lambda$.

L'intensité est nulle pour $-\frac{\lambda}{2}$ et $\frac{\lambda}{2}$ c.à.d. $-271,8$ et $+271,8$ nm.

δ_{CP}	P⊥A	-543,5		0		543,5
(nm)	P//A		-271,8		271,8	
X (mm)						

Tableau 2 : étalonnage

Noter dans toutes les situations où l'intensité est nulle la position X de la vis micrométrique.

Portez vos résultats dans un tableau.

Représenter δ_{CP} en fonction de X .

En déduire la pente a en nm/mm et l'abscisse à l'origine X_0 .

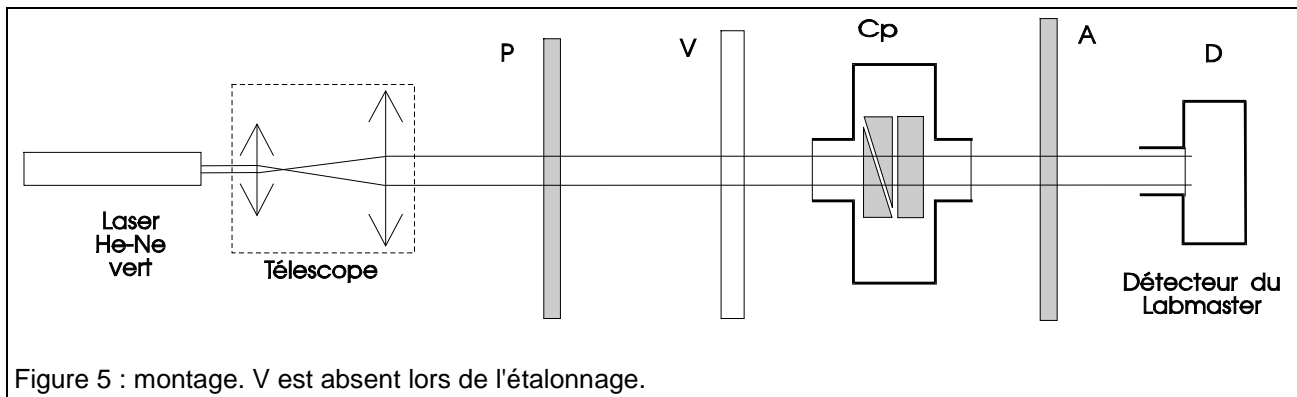
3.2.4 Mesures

Disposer P, Cp et A (croisé avec P) comme précédemment et régler la différence de marche δ_{CP} à zéro ($X = X_0$). (Figure 5).

Introduire la lame V avec une épaisseur e de scotch. Les lignes neutres doivent être à 45° de P ou A et parallèles aux lignes neutres de Cp.

Si on porte la vis micrométrique dans la position X telle que $X - X_0 = \Delta X$, la différence de marche est alors donnée par $\delta = \delta_{CP} + \delta_{SC} = a\Delta X \pm e\Delta n$.

Si l'intensité est nulle c'est que $\delta = k\lambda$ (k entier) : **Cp ramène la différence de marche au multiple de λ immédiatement supérieur ou inférieur** aussi y a-t-il deux valeurs X et X' de la vis micrométrique permettant d'obtenir un minimum d'intensité.



Rechercher une intensité lumineuse minimum sur le détecteur D du puissance-mètre en actionnant la vis micrométrique. Relever les deux positions X et X' correspondantes.

Montrer alors que la différence de marche apportée par le scotch est donnée par $\delta_{SC} = k\lambda \pm a(X - X_0)$ ou $\delta_{SC} = k\lambda \pm a(X' - X_0)$.

Calculer δ_{SC} à partir de vos mesures (il faudra choisir correctement k et le signe + ou – pour que votre résultat soit compatible avec les valeurs trouvées en 3.2.1 par la méthode des couleurs de Newton; expliquez votre calcul).

Calculer Δn la biréfringence du scotch.

Recommencer avec 2 épaisseurs de scotch.

En déduire la biréfringence Δn .

Rq. l'interprétation des résultats sera facilitée en utilisant *Calcul_birefringence.xls*.

ECHELLE DES TEINTES DE NEWTON

	Δ en nm	Polariseurs parallèles	Polariseurs croisés
premier ordre	0	Blanc.	Noir.
	40	Blanc.	Gris de fer
	97	Blanc jaunâtre.	Gris lavande.
	158	Blanc brunâtre.	Bleu gris.
	218	Brun jaune.	Gris plus clair.
	234	Brun.	Blanc verdâtre.
	259	Rouge clair.	Blanc.
	267	Violet sombre.	Blanc jaunâtre.
	275	Brun rouge sombre.	Jaune paille pâle.
	281	Violet sombre.	Jaune paille.
deuxième	306	Indigo.	Jaune clair.
	332	Bleu.	Jaune vif.
	430	Bleu gris.	Jaune brun.
	505	Vert bleuâtre.	Orangé rougeâtre.
	536	Vert pâle.	Rouge chaud.
	551	Vert jaunâtre.	Rouge plus foncé.
	565	Vert plus clair.	Pourpre.
	575	Jaune verdâtre.	Violet.
	589	Jaune d'or.	Indigo.
	664	Orangé.	Bleu de ciel.
troisième	728	Orangé brunâtre.	Bleu verdâtre.
	747	Rouge carmin clair.	Vert.
	826	Pourpre.	Vert plus clair.
	843	Pourpre violacé.	Vert jaunâtre.
	866	Violet.	Jaune verdâtre.
	910	Indigo.	Jaune pur.
	948	Bleu sombre.	Orangé.
	998	Bleu verdâtre.	Orangé rougeâtre vif.
	1 101	Vert.	Rouge violacé foncé.
	1 128	Vert jaunâtre.	Violet bleuâtre clair.
quatrième	1 151	Jaune sale.	Indigo.
	1 258	Couleur chair.	Bleu (teinte verdâtre).
	1 334	Rouge brun.	Vert de mer.
	1 376	Violet.	Vert brillant.
	1 426	Bleu violacé grisâtre.	Jaune verdâtre.
	1 495	Bleu verdâtre.	Rose (nuance chair).
	1 534	Bleu vert.	Rouge carmin.
	1 621	Vert terne.	Carmin pourpre.
	1 658	Vert jaunâtre.	Gris violacé.
	1 682	Jaune verdâtre.	Bleu gris.
cinquième ordre	1 711	Jaune gris.	Vert de mer.
	1 744	Mauve gris rouge.	Vert bleuâtre.
	1 811	Carmin.	Beau vert.
	1 927	Gris rouge.	Gris vert.
	2 007	Bleu gris.	Gris presqu-e blanc.
	2 048	Vert.	Rouge chair.
	2 338	Rose pâle.	Vert bleu pâle.
	2 680	Vert bleu pâle.	Rose pâle.

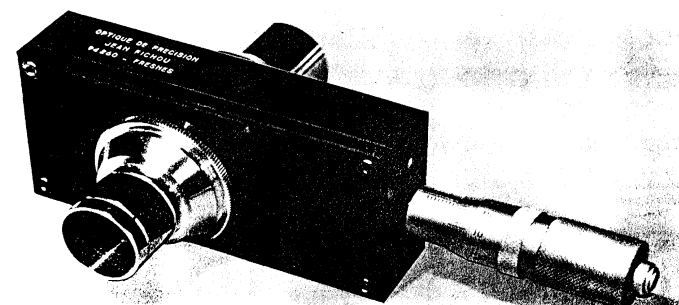
DOCUMENT FICHOU

OPTIQUE DE PRECISION J.FICHOU - 30 Rue de la Garenne - 94260 FRESNES - FRANCE
Téléphone: (1) 46.66.15.18 - Téllex : FICHOPT 204445 F



COMPENSATEUR DE BABINET-SOLEIL-BRAVAIS
BRAVAIS - SOLEIL - BABINET COMPENSATOR

Ce compensateur est fondamentalement une lame retard d'ordre zéro à retard variable.
2 types - Babinet : à franges, utilisé sur une ligne du champ.
Babinet - Soleil - Bravais : uniforme sur l'ensemble du champ.
La variation est faite par l'action d'une vis micrométrique sur 25mm.
This compensator is basically a zero order waveplate with variable retardation.
2 types : - Babinet : with fringes, used on a line of the aperture.
- Babinet - Soleil - Bravais : uniform on the total aperture
The variation is made by a micrometric screw on 25mm.



Matériau, Material : Quartz
Domaine spectral, Spectral range : 200 à 4000nm
Déformation de la surface d'onde, wavefront distortion : 1/8λ
Section utile, aperture : 14 x 14mm
Encombrement, total size : épaisseur, Thickness : 25mm.
- épaisseur (porte oculaire inclus), 95mm
Thickness (eyepiece holder included) : 95mm
- longueur, length : 160mm
- largeur, width : 50mm
Tube porte-oculaire, eyepiece support tubes : un de Ø extérieur 23,2mm,
one of external Ø 23,2mm
un de Ø intérieur 23,2mm,
one of internal Ø 23,2mm,

Retard Variable standard Standard variable retardation nm	Résolution Résolution nm	position du zéro Zero position
550(0 à 550)	0,25	0
1100(-550 à + 550)	0,50	12,5
1100(0 à 1100)	0,50	0
2200(-1100 à + 1100)	1	12,5

Traitement anti-reflet, Antireflection coating.
Large bande, Wide range : 400-700nm, 500-800nm, 600-900nm R Moyen, R mean 0,4%

Pour commander, préciser : type, retard, position zéro, traitement.
For order, specify : Type, retardation, zero position, coating.

NOMS :

Date :

.....
.....

FEUILLE A RENDRE EN FIN DE SEANCE

BAREME CORRECTION

§	Travail à faire	A noter sur place	A noter à l'écrit
3.1	Teintes de Newton :	___/3	___/2
	Montage		
	Observations		
	Tableau 1 de résultats		
3.2	Démonstrations (1) et (2)	___/3	___/4
	Réponses aux questions		
	Résultats - Conclusions		
	Compensateur de Soleil-Bravais:		
3.2	Montage	___/3	___/4
	Caractéristiques techniques		
	Etalonnage : tableau 2		
	Graphes - Résultats - Conclusion		
3.2	Mesures : résultats	___/3	___/4
	Interprétation - calculs Δn		
	Conclusion		
	Le travail « à noter sur place » doit être impérativement montré avant la fin de la séance.		
3.2	Le compte-rendu écrit doit être présenté lors de la prochaine séance de TP	Total	___/20
	Remarques:		