

Mesures d'épaisseur par biréfringence (10 points)

L'analyse des incertitudes n'est pas requise sur l'ensemble de cette expérience.

La biréfringence est une propriété optique d'un cristal qui permet à la lumière de se propager sous la forme de deux rayons pour lesquels les indices de réfraction sont différents. Pour des axes cristallins orthogonaux x et y situés dans le plan de la face d'entrée d'un cristal biréfringent (figure 1), le champ électrique \mathbf{E} d'une lumière de polarisation rectiligne, en incidence normale sur le cristal, est décomposé en deux contributions orthogonales \mathbf{E}_x et \mathbf{E}_y accompagnées respectivement des indices de réfraction n_o et n_e . À la traversée d'un cristal d'épaisseur L , la composante de polarisation rectiligne selon x de la lumière est déphasée de Γ_x et celle de polarisation rectiligne selon y de Γ_y ; ces déphasages sont donnés respectivement par

$$\Gamma_x = \frac{2\pi}{\lambda} n_o L, \quad (1)$$

$$\Gamma_y = \frac{2\pi}{\lambda} n_e L, \quad (2)$$

où λ est la longueur d'onde de la lumière dans le vide.

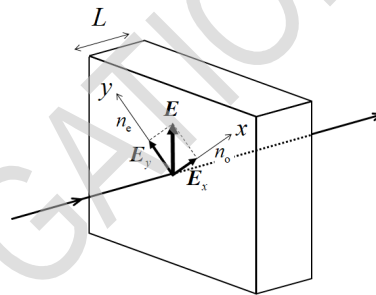


Figure 1 : Décomposition vectorielle du champ électrique \mathbf{E} d'une lumière de polarisation rectiligne, en incidence normale sur la surface d'un cristal biréfringent.

Le déphasage Γ entre les deux rayons est :

$$\Gamma = \Gamma_y - \Gamma_x = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta n L, \quad (3)$$

où

$$\Delta n = n_e - n_o \quad (4)$$

est la biréfringence. Comme le champ électrique de la lumière est la somme vectorielle de \mathbf{E}_x et \mathbf{E}_y après ajout du déphasage Γ , la lumière, après avoir traversé le cristal, acquiert une composante de polarisation perpendiculaire à la polarisation rectiligne initiale de la lumière incidente.

Soit I_{\parallel} (resp. I_{\perp}) l'intensité de la lumière après traversée du cristal uniquement pour sa composante parallèle (resp. perpendiculaire) à la direction de la polarisation rectiligne de la lumière incidente. Pour la suite, la direction de la polarisation rectiligne de la lumière incidente (\vec{E} sur la figure 1) est de 45° par rapport à l'axe x . L'intensité normalisée I_{Norm} de la composante perpendiculaire est alors donnée par

$$I_{\text{Norm}} = \frac{I_{\perp}}{I_{\text{Totale}}} = \sin^2 \frac{\Gamma}{2}, \quad (5)$$

où I_{Totale} est l'intensité lumineuse totale transmise $I_{\parallel} + I_{\perp}$.

On peut concevoir une expérience telle que I_{Norm} oscille entre 0 et 1 lorsqu'on fait varier la longueur d'onde de la lumière incidente sur le cristal. Soient λ_m ($m = 1, 2, 3, \dots$) les longueurs d'onde pour lesquelles $I_{\text{Norm}} = 0$; alors, on trouve les déphasages Γ_m correspondants :

$$\Gamma_m = \frac{2\pi}{\lambda_m} \Delta n(\lambda_m) L = 2\pi m. \quad (6)$$

Cette équation permet de déterminer l'épaisseur du cristal L si plusieurs λ_m peuvent être mesurés pour des termes $\Delta n(\lambda_m)$ connus.

Dans cette expérience, l'épaisseur d'une lame de quartz est à déterminer. Le quartz est biréfringent, avec ses indices de réfraction n_o et n_e qui dépendent de la longueur d'onde de la lumière dans le vide, comme le montre la figure 2.

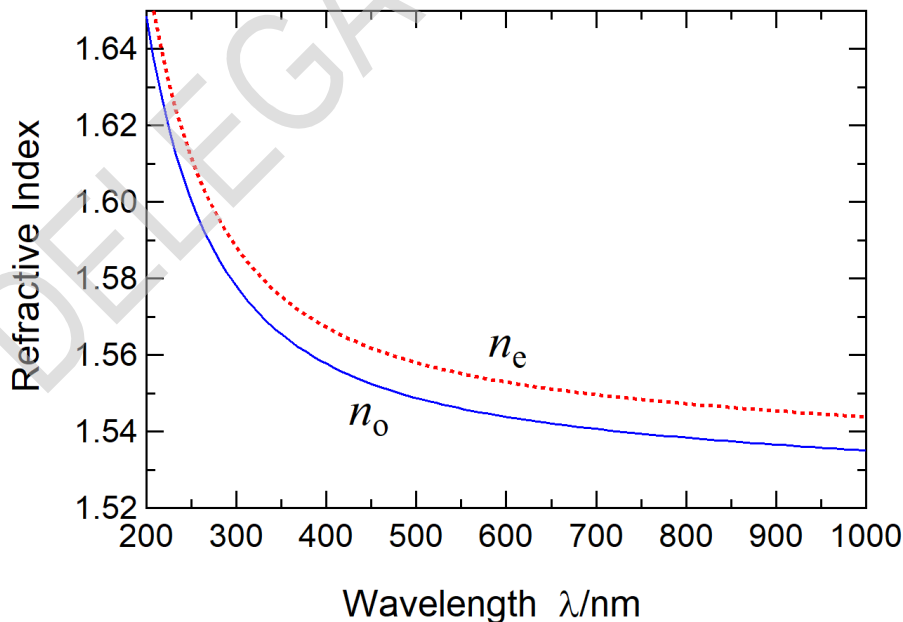


Figure 2 : Dépendance en longueur d'onde des indices de réfraction n_o et n_e du quartz.

Experiment

La figure 3 décrit le dispositif de mesure de l'épaisseur. Les figures 4 et 5 montrent ses divers éléments. Une diode électroluminescente (DEL) blanche, constituée d'une DEL bleue et de phosphore, est utilisée comme source lumineuse. Lorsque la lumière de la DEL bleue irradie le phosphore, une lumière blanche est émise avec un spectre continu. La lumière de cette DEL blanche est dispersée, c'est-à-dire décomposée spectralement, à l'aide du réseau de diffraction en transmission **G**, et polarisée rectilignement par le polariseur **P1**. Sa direction de polarisation (E sur la figure 1) est à 45° de l'axe x de la lame de quartz **Q**. La lumière après traversée de **Q**, qui a des composantes parallèle et perpendiculaire à la direction de polarisation de **P1**, est analysée en tournant le polariseur **P2**. Le photodétecteur mesure l'intensité lumineuse.

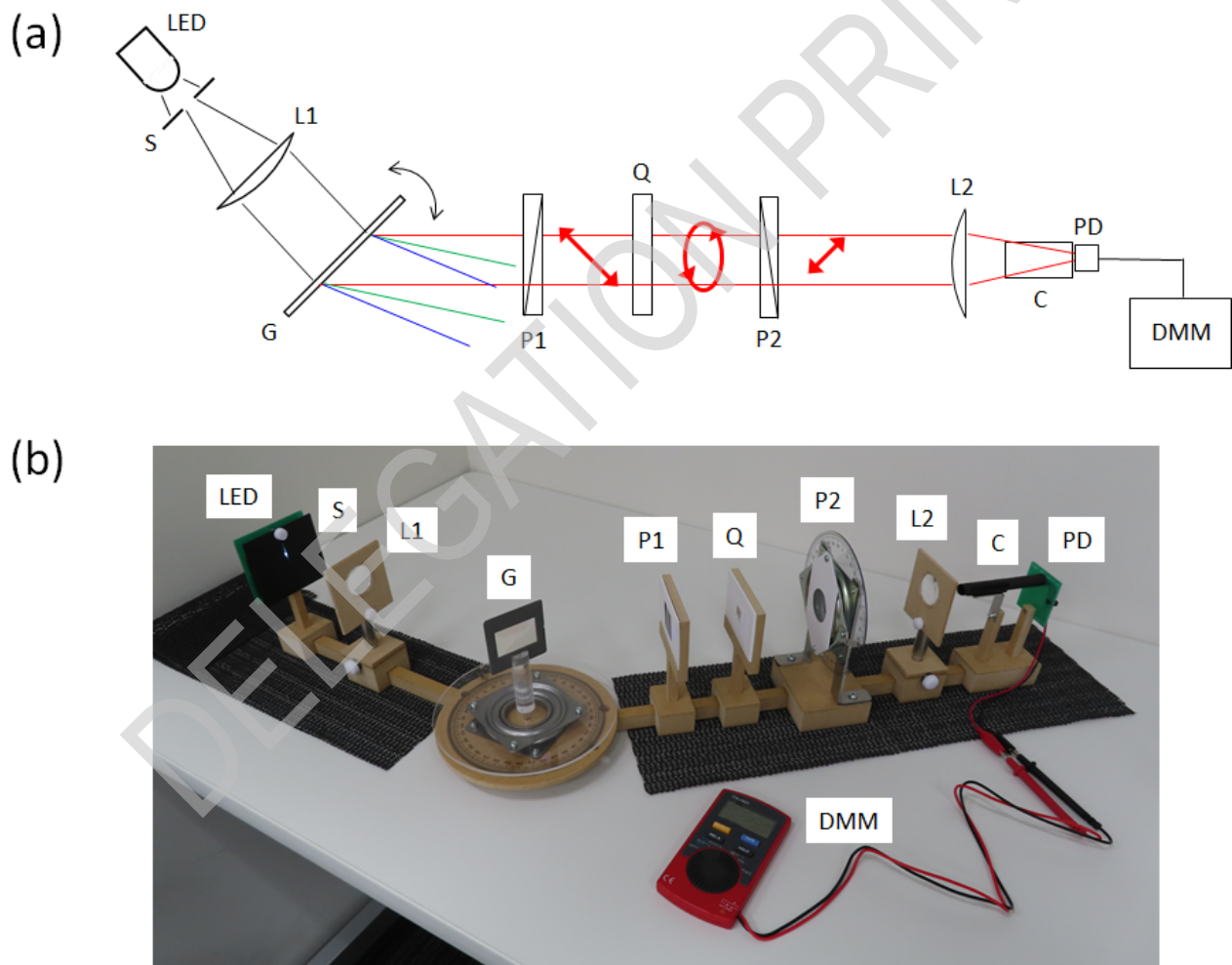


Figure 3 : (a) Schéma et (b) photographie du système de mesure de l'épaisseur. **LED** : DEL blanche, **S** : fente, **L1** : lentille de collimation, **G** : réseau de diffraction en transmission, **P1** : polariseur, **Q** : lame de quartz, **P2** : polariseur, **L2** : lentille de focalisation, **C** : cylindre de protection contre la lumière, **PD** : photodétecteur, **DMM** : multimètre numérique.

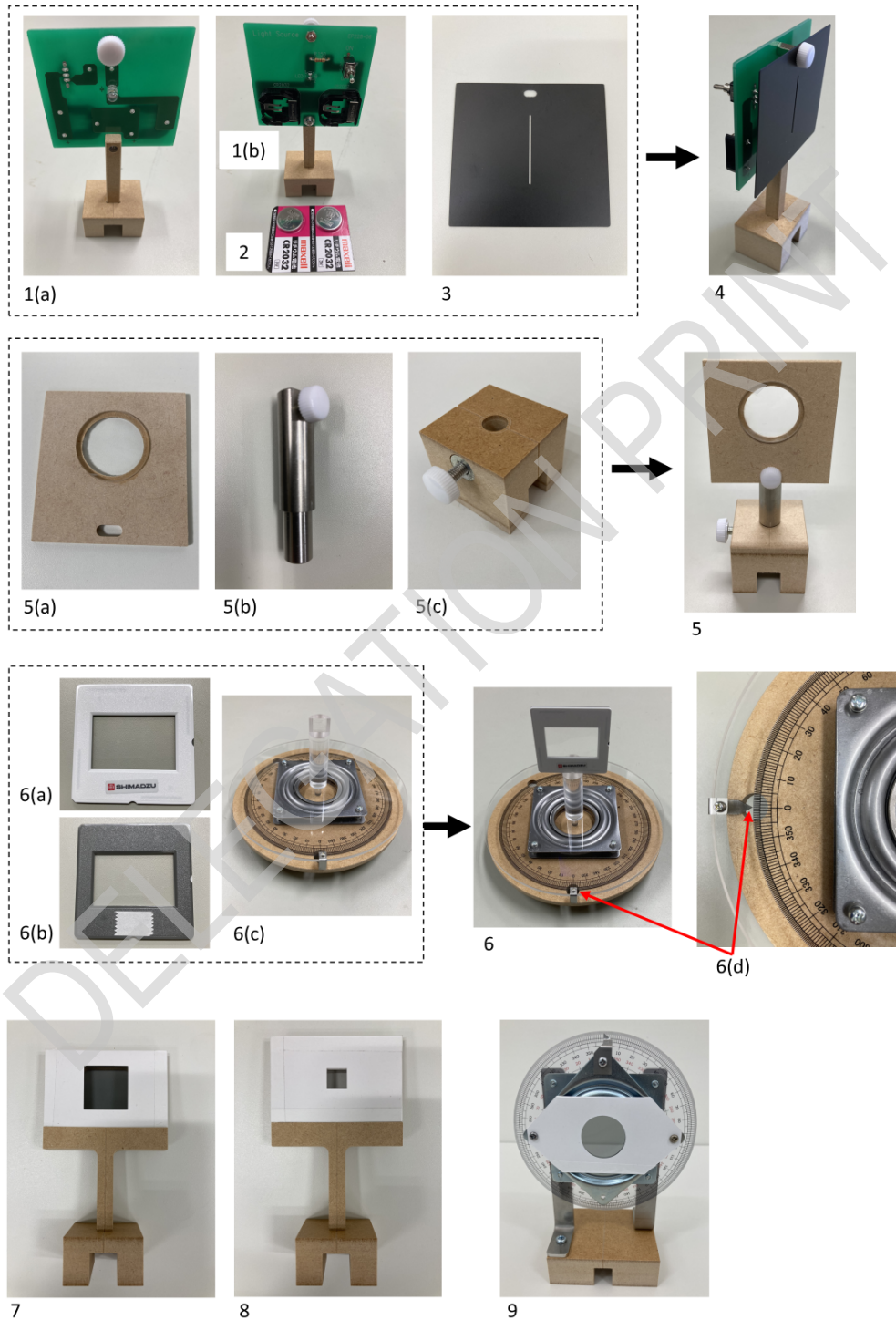


Figure 4 : Éléments du dispositif : **1(a)**. DEL blanche (vue de face); **1(b)**. DEL blanche (vue arrière); **2**. piles; **3**. fente (**S** sur la figure 3); **4**. DEL avec fente attachée; **5**. lentille (**L1**, **L2** sur la figure 3); **5(a)** lentille avec monture; **5(b)** pied pour la monture de la lentille; **5(c)** base pour le pied de la monture; **6**. réseau de diffraction à transmission (**6(a)** avant; **6(b)** arrière avec ruban adhésif) sur **6(c)** platine de rotation (**G** sur la figure 3); **6(d)** dispositif de lecture d'angle sur la platine de rotation; **7**. polariseur (**P1** sur la figure 3); **8**. lame de quartz (**Q** sur la figure 3); **9**. polariseur sur le support de rotation (**P2** sur la figure 3).



Figure 5 : Éléments du dispositif (suite) : **10.** cylindre de protection contre la lumière avec aimant (**C** sur la figure 3); **11.** tige support du cylindre; **12.** photodétecteur (**PD** sur la figure 3); **13.** photodétecteur avec cylindre; **14.** multimètre numérique (**DMM** sur la figure 3); **15.** rail court de guidage; **16.** rail long de guidage; **17.** montage de l'écran avec papier millimétré; **18.** carte blanche; **19.** carte noire; **20.** tapis antidérapants; **21** & **22.** boîte de protection contre la lumière (avant montage et une fois montée).

Partie A. Configuration du système de mesure (2,3 points)

La lumière issue de la DEL éclaire la surface du réseau (figure 6). L'angle de rotation θ de **G** vaut 0° pour une incidence normale par définition. Les rotations respectivement dans le sens inverse et dans le sens direct des aiguilles d'une montre sont désignées par $+$ et $-$. L'angle α du premier ordre de diffraction est défini comme représenté. En utilisant le pas du réseau d de **G**, la longueur d'onde λ est donnée en termes de θ comme suit :

$$\lambda = d \sin(\alpha - \theta) + d \sin \theta \quad (7)$$

$$= 2d \sin \frac{\alpha}{2} \cos \left(\frac{\alpha}{2} - \theta \right). \quad (8)$$

Nous utilisons pour la suite $d = 1,00 \mu\text{m}$ et l'angle de diffraction fixe $\alpha = 40,0^\circ$.

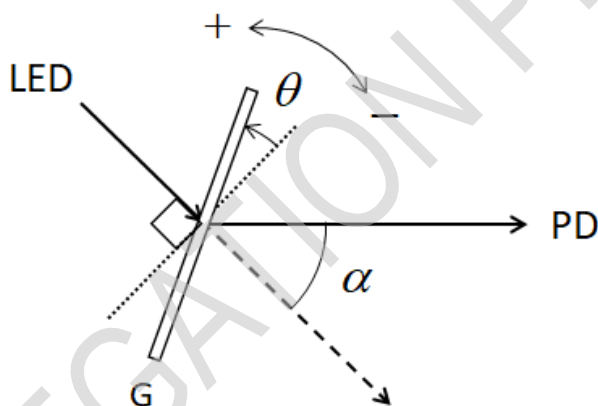
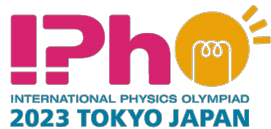


Figure 6 : L'angle de rotation θ du réseau de diffraction en transmission **G** et l'angle de diffraction α .

A.1	Calculer la valeur numérique de la plus grande longueur d'onde λ qui peut être mesurée et la valeur numérique de θ associée.	0.3pt
------------	---	-------

A.2	Calculer les valeurs numériques de θ pour $\lambda = 440 \text{ nm}$.	0.2pt
------------	---	-------

Experiment



Q2-7

Francais (France)

La procédure d'installation du système de mesure est la suivante :

- [1] Mettre l'ensemble de l'écran avec papier millimétré en position verticale (**17** sur la figure 5) à l'aide du socle (**17(b)**).
- [2] Placer deux piles dans le module de la DEL blanche. Les côtés "+" doivent être orientés vers vous.
- [3] Allumer la DEL.
- [4] Retirer la vis située à l'avant du module DEL. Fixer la fente au module DEL à l'aide de la vis (**4** sur la figure 4). À l'aide de l'écran avec papier millimétré, régler la position de la fente pour que le flux de lumière blanche transmise soit le plus intense possible, et mesurer la hauteur du centre du faisceau à la sortie de la fente (utile pour l'étape [9]).
- [5] Faire reposer l'extrémité ouverte en forme de U du rail long de guidage sur celle du rail court de guidage (figure 7(i)). Insérer l'axe de rotation qui dépasse de la face inférieure de l'étage de rotation dans le "trou de passage virtuel" créé par les rails de guidage (figure 7(ii)). Veiller à ce que les deux bras tournent librement et sans à-coups autour de l'axe en se référant à la figure 7(iii). S'assurer que le rail long de guidage pourra rester sur la table pour $0^\circ \leq \alpha \leq 40,0^\circ$.

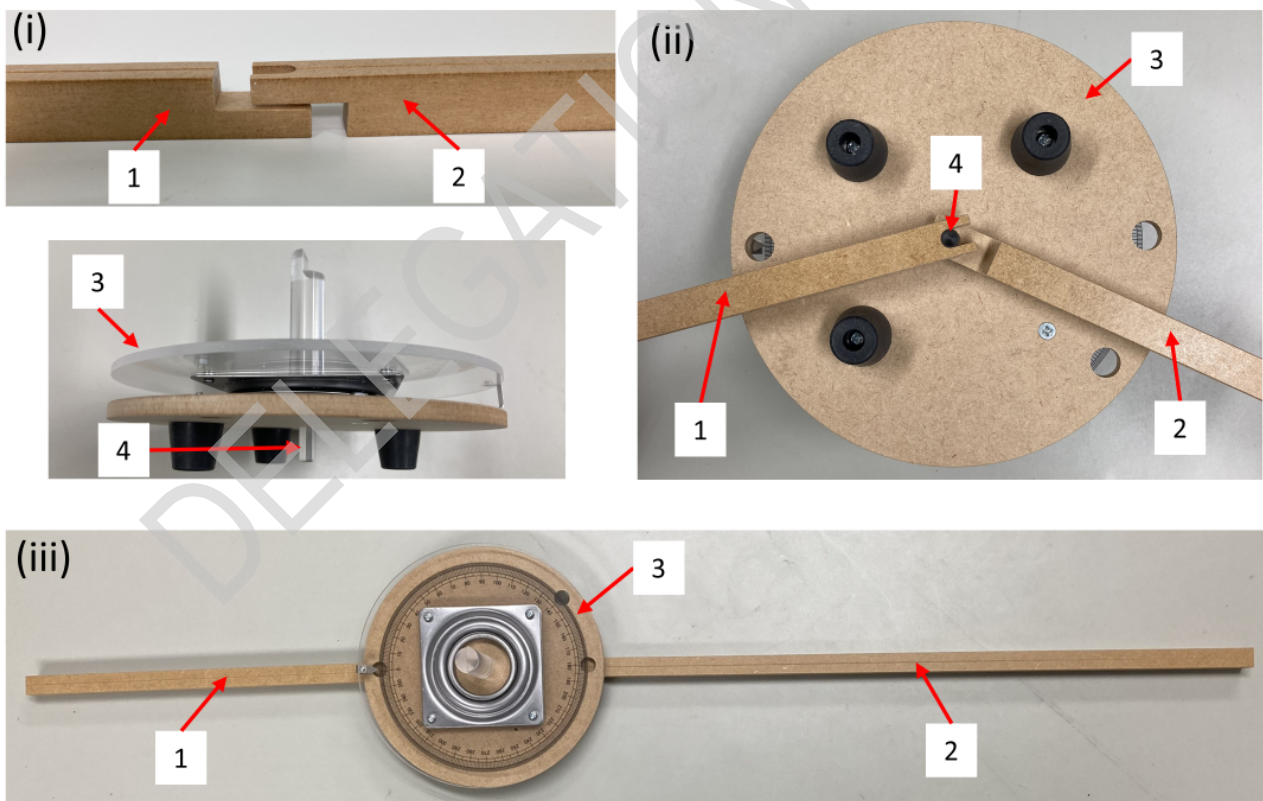


Figure 7 : (i) L'extrémité ouverte en forme de U du rail court de guidage est placée sous celle du rail long de guidage, ce qui permet de créer un "trou de passage virtuel". (ii) Dans le trou virtuel, insérer l'axe qui dépasse de la face inférieure de la platine de rotation. (iii) Vue de dessus de la platine de rotation avec des rails de guidage libres de tourner autour de l'axe. 1. rail court de guidage; 2. rail long de guidage; 3. socle de la platine de rotation; 4. axe du socle de la platine de rotation.

[6] Aligner l'axe du rail court de guidage sur la graduation 0° de la platine de rotation et le maintenir à cet endroit. Il est possible de placer un tapis antidérapant sous le rail court de guidage.

[7] Assembler les lentilles (**5** sur la figure 4).

[8] Placer le module DEL avec la fente et la lentille (**L1** sur la figure 3) sur le rail court de guidage. Régler la distance entre la fente et **L1** de manière à obtenir un faisceau collimaté après la traversée de **L1**, c'est-à-dire un faisceau quasi-parallèle i.e. de taille quasiment constante sur sa trajectoire.

[9] À l'aide de l'écran avec papier millimétré, relever la hauteur du faisceau après **L1**; ajuster le niveau de **L1** en desserrant la vis de réglage de la base du pied et en déplaçant le pied si nécessaire pour que la hauteur du faisceau soit presque la même que celle juste après la fente.

[10] Aligner l'axe du rail long de guidage avec la graduation 180° sur l'échelle angulaire de la platine de rotation.

[11] Modifier la position horizontale de la monture de l'objectif (**5(a)** sur la figure 4) en desserrant sa vis de réglage et en la déplaçant vers la droite ou vers la gauche. L'axe du faisceau après **L1** doit s'aligner avec celui du rail long de guidage. Il est possible de placer l'ensemble de l'écran avec papier millimétré à l'envers sur le long rail.

[12] Enlever la protection de la surface autocollante du ruban adhésif double face qui se trouve sur la face arrière du réseau de diffraction par transmission (**6(b)** sur la figure 4) et fixer ainsi le réseau sur la partie supérieure de l'axe de la platine de rotation (**6** sur la figure 4).

[13] Orienter la face avant du réseau vers la source lumineuse et faire tourner la platine de manière à ce que la lumière réfléchie pénètre dans la fente, c'est-à-dire $\theta = 0^\circ$ (incidence normale). Noter l'angle θ_{Stage} de la platine de rotation qui est utile pour la question B.1.

[14] Faire tourner le rail long de guidage autour de l'axe de manière à ce que $\alpha = 40,0^\circ$ (figure 6). Une fois fixé, il est possible de placer un autre tapis antidérapant pour éviter toute perte accidentelle d'alignement par la suite.

[15] Placer sur le rail long l'objectif (**L2** sur la figure 3) et le photodétecteur (**PD** sur la figure 3) sur son support avec tige. Pour focaliser la lumière diffractée sur **PD**, régler la distance entre **PD** et **L2** le long du rail long, ainsi que la hauteur de **L2**. Le diamètre du faisceau vertical est ainsi minimisé. Vérifier le diamètre du faisceau à l'aide de la carte blanche. S'il est d'intensité trop faible pour être distingué à l'œil nu, utiliser la boîte de protection contre la lumière pour couvrir **PD**.

[16] Placer le cylindre de protection contre la lumière sur le support (**13** sur la figure 5). Ce cylindre réduit au minimum la lumière indésirable détectée.

[17] Connecter **PD** au multimètre numérique DMM. Le fil de raccordement rouge est à relier à la borne rouge et le fil noir à la borne noire. Régler le multimètre sur le mode de mesure "DCV" (mode DC).

[18] Ajuster la hauteur de **L2** pour maximiser les valeurs relevées par le multimètre DMM. Pour la suite, l'intensité de la lumière est assimilée à la valeur de tension lue sur le multimètre.

- A.3** Faire tourner la platine de rotation du réseau pour trouver l'angle θ pour laquelle la densité spectrale de la DEL bleue est maximisée, ainsi que la longueur d'onde correspondante λ_{peak} , en considérant que $\alpha = 40,0^\circ$. Si la réponse obtenue pour λ_{peak} est comprise entre 450 et 460 nm, le dispositif est correctement aligné : écrire $\alpha = 40,0^\circ$ sur la feuille de réponses et poursuivre. Sinon, il faut trouver la valeur correcte pour α : sans changer quoique ce soit, y compris la valeur obtenue pour λ_{peak} , déterminer une valeur corrigée pour α qui conduirait à une valeur de λ_{peak} dans l'intervalle approprié ; noter cette valeur de α sur la feuille de réponses et l'utiliser pour la suite du problème. 0.8pt

[19] Placer les polariseurs (**P1** et **P2** sur la figure 3) sur le rail long de guidage.

- A.4** Régler la platine de rotation du réseau sur la position $\theta = -15,0^\circ$. Observer les valeurs affichées sur le multimètre DMM et trouver l'angle φ_\perp de rotation sur la monture du polariseur **P2** tel que sa direction de polarisation est perpendiculaire à celle de la lumière issue du polariseur **P1**. À partir de ce résultat, trouver l'angle φ_\parallel relatif à la rotation de la monture du polariseur **P2** lorsque sa direction de polarisation est parallèle à celle du polariseur **P1**. 0.3pt

- A.5** Bloquer la lumière qui traverse la fente en plaçant la carte noire devant elle. De la sorte, on peut évaluer l'intensité ambiante parasite, c'est-à-dire le décalage par rapport à zéro de l'intensité (Offset) : on définit les intensités lumineuses $I_{\text{Offset } \perp}$ et $I_{\text{Offset } \parallel}$ lorsque les angles de rotation indiqués sur la monture du polariseur **P2** sont respectivement φ_\perp et φ_\parallel . Mesurer les intensités de décalage $I_{\text{Offset } \perp}$ et $I_{\text{Offset } \parallel}$. Noter que les intensités $I_{\text{Offset } \perp}$ et $I_{\text{Offset } \parallel}$ sont dues à une lumière autre que celle de la source lumineuse. Pour la suite, elles devraient être éliminées par soustraction pour déterminer la contribution réelle due à la source lumineuse. 0.2pt

- A.6** I_\perp et I_\parallel correspondent aux intensités lumineuses à partir de la source lumineuse lorsque les angles de rotation sur la monture du polariseur **P2** sont respectivement φ_\perp et φ_\parallel . Mesurer les intensités lumineuses I_\perp et I_\parallel pour $\theta = -15,0^\circ$. 0.5pt

Partie B. Mesure de l'intensité de la lumière transmise (4,7 points)

Pour la suite, utiliser les valeurs de λ calculées à l'aide de la valeur corrigée de α dans **A.3** si nécessaire.

B.1	Placer la lame de quartz entre les polariseurs P1 et P2 et mesurer les intensités lumineuses transmises I_{\perp} et I_{\parallel} à différents angles θ . Les mesures effectuées doivent couvrir la plage de longueurs d'onde allant de 440 nm à 660 nm. Compléter un tableau avec les paramètres suivants : θ_{Stage} (lecture de l'angle de rotation de la platine support du réseau), θ , λ , I_{\perp} , I_{\parallel} , $I_{\text{Totale}} = I_{\perp} + I_{\parallel}$, $I_{\text{Norm}} = I_{\perp}/I_{\text{Totale}}$. Noter que lorsque la valeur de θ_{Stage} augmente, la valeur de θ diminue de la même quantité, et vice-versa; il n'est pas obligatoire d'utiliser toutes les lignes du tableau fourni mais il faut avoir assez de relevés pour une bonne exploitation.	2.0pt
B.2	Tracer sur le graphique le spectre de la DEL blanche, c'est-à-dire I_{Totale} en fonction de la longueur d'onde.	1.0pt
B.3	Déterminer la largeur totale à mi-hauteur $\Delta\lambda_{\text{FWHM}}$ du spectre de la DEL bleue intégrée dans la DEL blanche; il s'agit de la largeur du pic mesuré entre les points qui sont à la moitié du maximum de son amplitude.	0.2pt
B.4	Tracer le spectre de I_{Norm} sur le graphique.	1.5pt

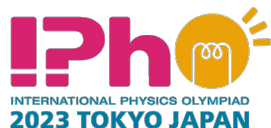
Partie C. Analyses des résultats mesurés (3,0 points)

C.1	À partir du graphique de I_{Norm} , trouver toutes les longueurs d'onde pour lesquelles les intensités passent par des minima locaux. Le numéro d'ordre associé m selon l'Eq. (6) doit être indiqué sous la longueur d'onde correspondante. Pour déterminer la biréfringence Δn , utiliser les valeurs de n_o et n_e indiquées dans le tableau 1.	1.5pt
C.2	Obtenir l'épaisseur L de l'échantillon.	1.5pt

Tableau 1 : Indices de réfraction n_o et n_e du quartz (400-700 nm).

λ/nm	n_o	n_e	λ/nm	n_o	n_e	λ/nm	n_o	n_e
400	1.55769	1.56725	434	1.55394	1.56337	467	1.55107	1.56041
401	1.55756	1.56712	435	1.55384	1.56327	468	1.55099	1.56033
402	1.55744	1.56700	436	1.55374	1.56318	469	1.55091	1.56025
403	1.55732	1.56687	437	1.55365	1.56308	470	1.55084	1.56017
404	1.55720	1.56674	438	1.55355	1.56298	471	1.55076	1.56009
405	1.55707	1.56662	439	1.55346	1.56288	472	1.55068	1.56001
406	1.55695	1.56649	440	1.55337	1.56278	473	1.55061	1.55993
407	1.55684	1.56637	441	1.55327	1.56269	474	1.55054	1.55986
408	1.55672	1.56625	442	1.55318	1.56259	475	1.55046	1.55978
409	1.55660	1.56613	443	1.55309	1.56250	476	1.55039	1.55970
410	1.55648	1.56601	444	1.55300	1.56240	477	1.55031	1.55963
411	1.55637	1.56589	445	1.55291	1.56231	478	1.55024	1.55955
412	1.55625	1.56577	446	1.55282	1.56222	479	1.55017	1.55948
413	1.55614	1.56565	447	1.55273	1.56213	480	1.55010	1.55940
414	1.55603	1.56554	448	1.55264	1.56203	481	1.55003	1.55933
415	1.55592	1.56542	449	1.55255	1.56194	482	1.54995	1.55926
416	1.55580	1.56531	450	1.55247	1.56185	483	1.54988	1.55918
417	1.55569	1.56519	451	1.55238	1.56176	484	1.54981	1.55911
418	1.55558	1.56508	452	1.55229	1.56167	485	1.54974	1.55904
419	1.55548	1.56497	453	1.55221	1.56159	486	1.54967	1.55897
420	1.55537	1.56485	454	1.55212	1.56150	487	1.54961	1.55890
421	1.55526	1.56474	455	1.55204	1.56141	488	1.54954	1.55883
422	1.55515	1.56463	456	1.55195	1.56132	489	1.54947	1.55875
423	1.55505	1.56452	457	1.55187	1.56124	490	1.54940	1.55868
424	1.55494	1.56442	458	1.55179	1.56115	491	1.54933	1.55862
425	1.55484	1.56431	459	1.55171	1.56107	492	1.54927	1.55855
426	1.55474	1.56420	460	1.55162	1.56098	493	1.54920	1.55848
427	1.55463	1.56410	461	1.55154	1.56090	494	1.54913	1.55841
428	1.55453	1.56399	462	1.55146	1.56082	495	1.54907	1.55834
429	1.55443	1.56389	463	1.55138	1.56073	496	1.54900	1.55827
430	1.55433	1.56378	464	1.55130	1.56065	497	1.54894	1.55821
431	1.55423	1.56368	465	1.55122	1.56057	498	1.54887	1.55814
432	1.55413	1.56358	466	1.55115	1.56049	499	1.54881	1.55807
433	1.55403	1.56348						

Experiment



Q2-12

Francais (France)

λ/nm	n_o	n_e	λ/nm	n_o	n_e	λ/nm	n_o	n_e
500	1.54875	1.55801	534	1.54678	1.55597	567	1.54518	1.55432
501	1.54868	1.55794	535	1.54673	1.55592	568	1.54514	1.55427
502	1.54862	1.55788	536	1.54667	1.55587	569	1.54509	1.55423
503	1.54856	1.55781	537	1.54662	1.55581	570	1.54505	1.55418
504	1.54850	1.55775	538	1.54657	1.55576	571	1.54500	1.55414
505	1.54843	1.55768	539	1.54652	1.55570	572	1.54496	1.55409
506	1.54837	1.55762	540	1.54647	1.55565	573	1.54492	1.55405
507	1.54831	1.55756	541	1.54642	1.55560	574	1.54487	1.55400
508	1.54825	1.55749	542	1.54637	1.55555	575	1.54483	1.55396
509	1.54819	1.55743	543	1.54632	1.55549	576	1.54479	1.55391
510	1.54813	1.55737	544	1.54627	1.55544	577	1.54474	1.55387
511	1.54807	1.55731	545	1.54622	1.55539	578	1.54470	1.55383
512	1.54801	1.55725	546	1.54617	1.55534	579	1.54466	1.55378
513	1.54795	1.55718	547	1.54612	1.55529	580	1.54462	1.55374
514	1.54789	1.55712	548	1.54607	1.55524	581	1.54458	1.55370
515	1.54783	1.55706	549	1.54602	1.55519	582	1.54453	1.55365
516	1.54777	1.55700	550	1.54597	1.55514	583	1.54449	1.55361
517	1.54772	1.55694	551	1.54592	1.55509	584	1.54445	1.55357
518	1.54766	1.55688	552	1.54587	1.55504	585	1.54441	1.55352
519	1.54760	1.55682	553	1.54583	1.55499	586	1.54437	1.55348
520	1.54754	1.55676	554	1.54578	1.55494	587	1.54433	1.55344
521	1.54749	1.55671	555	1.54573	1.55489	588	1.54429	1.55340
522	1.54743	1.55665	556	1.54568	1.55484	589	1.54425	1.55336
523	1.54738	1.55659	557	1.54564	1.55479	590	1.54421	1.55331
524	1.54732	1.55653	558	1.54559	1.55474	591	1.54417	1.55327
525	1.54726	1.55648	559	1.54554	1.55470	592	1.54413	1.55323
526	1.54721	1.55642	560	1.54550	1.55465	593	1.54409	1.55319
527	1.54715	1.55636	561	1.54545	1.55460	594	1.54405	1.55315
528	1.54710	1.55631	562	1.54541	1.55455	595	1.54401	1.55311
529	1.54705	1.55625	563	1.54536	1.55451	596	1.54397	1.55307
530	1.54699	1.55619	564	1.54531	1.55446	597	1.54393	1.55303
531	1.54694	1.55614	565	1.54527	1.55441	598	1.54389	1.55299
532	1.54688	1.55608	566	1.54522	1.55437	599	1.54385	1.55295
533	1.54683	1.55603						

λ/nm	n_o	n_e	λ/nm	n_o	n_e	λ/nm	n_o	n_e
600	1.54382	1.55291	634	1.54260	1.55165	667	1.54157	1.55059
601	1.54378	1.55287	635	1.54257	1.55162	668	1.54154	1.55056
602	1.54374	1.55283	636	1.54254	1.55159	669	1.54151	1.55053
603	1.54370	1.55279	637	1.54250	1.55155	670	1.54148	1.55050
604	1.54366	1.55275	638	1.54247	1.55152	671	1.54145	1.55047
605	1.54363	1.55271	639	1.54244	1.55148	672	1.54143	1.55044
606	1.54359	1.55267	640	1.54241	1.55145	673	1.54140	1.55041
607	1.54355	1.55264	641	1.54237	1.55142	674	1.54137	1.55038
608	1.54351	1.55260	642	1.54234	1.55138	675	1.54134	1.55035
609	1.54348	1.55256	643	1.54231	1.55135	676	1.54131	1.55032
610	1.54344	1.55252	644	1.54228	1.55132	677	1.54128	1.55029
611	1.54340	1.55248	645	1.54224	1.55128	678	1.54125	1.55026
612	1.54337	1.55245	646	1.54221	1.55125	679	1.54123	1.55023
613	1.54333	1.55241	647	1.54218	1.55122	680	1.54120	1.55020
614	1.54330	1.55237	648	1.54215	1.55119	681	1.54117	1.55017
615	1.54326	1.55233	649	1.54212	1.55115	682	1.54114	1.55014
616	1.54322	1.55230	650	1.54209	1.55112	683	1.54111	1.55011
617	1.54319	1.55226	651	1.54206	1.55109	684	1.54109	1.55009
618	1.54315	1.55222	652	1.54202	1.55106	685	1.54106	1.55006
619	1.54312	1.55219	653	1.54199	1.55102	686	1.54103	1.55003
620	1.54308	1.55215	654	1.54196	1.55099	687	1.54100	1.55000
621	1.54305	1.55211	655	1.54193	1.55096	688	1.54098	1.54997
622	1.54301	1.55208	656	1.54190	1.55093	689	1.54095	1.54994
623	1.54298	1.55204	657	1.54187	1.55090	690	1.54092	1.54992
624	1.54294	1.55201	658	1.54184	1.55087	691	1.54090	1.54989
625	1.54291	1.55197	659	1.54181	1.55083	692	1.54087	1.54986
626	1.54287	1.55193	660	1.54178	1.55080	693	1.54084	1.54983
627	1.54284	1.55190	661	1.54175	1.55077	694	1.54081	1.54980
628	1.54280	1.55186	662	1.54172	1.55074	695	1.54079	1.54978
629	1.54277	1.55183	663	1.54169	1.55071	696	1.54076	1.54975
630	1.54274	1.55179	664	1.54166	1.55068	697	1.54073	1.54972
631	1.54270	1.55176	665	1.54163	1.55065	698	1.54071	1.54969
632	1.54267	1.55172	666	1.54160	1.55062	699	1.54068	1.54967
633	1.54264	1.55169				700	1.54066	1.54964