



SERVICES CULTURE ÉDITIONS  
RESSOURCES POUR  
L'ÉDUCATION NATIONALE

**Ce document a été numérisé par le CRDP de Bordeaux pour la  
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel.**

**Campagne 2013**

# BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR GENIE OPTIQUE

## Option PHOTONIQUE

Épreuve de PHYSIQUE APPLIQUÉE

Sous-épreuve U42 : PHYSIQUE

SESSION 2013

Durée 2 heures 30

coefficient 2,5

*La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront pour une part importante dans l'appréciation des copies.*

### Matériel autorisé :

*Calculatrice conformément à la circulaire n° 99-186 du 16/11/1999*

*Sont autorisées toutes les calculatrices de poche, y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimantes. Le candidat n'utilise qu'une seule machine sur la table. Toutefois, si celle-ci vient à connaître une défaillance, il peut la remplacer par une autre.*

*Afin de prévenir les risques de fraude, sont interdits les échanges de machines entre les candidats, la consultation des notices fournies par les constructeurs ainsi que les échanges d'informations par l'intermédiaire des fonctions de transmission des calculatrices.*

**Tout autre matériel est interdit.**

*Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.*

*Ce sujet comporte : 10 pages numérotées de 1/10 à 10/10.*

**Documents à rendre avec la copie :**

**DOCUMENT RÉPONSE 1..... page 9/10**  
**DOCUMENT RÉPONSE 2..... page 10/10**

BTS GÉNIE OPTIQUE OPTION PHOTONIQUE	SUJET	SESSION 2013
U 42 : Physique appliquée	Code : GOPHYPH	Page : 1/10

# MESURES INTERFÉROMÉTRIQUES

Les mesures interférométriques sont aujourd'hui couramment utilisées afin de déterminer les caractéristiques physiques d'un matériau, comme l'épaisseur d'un vernis ou la biréfringence d'un cristal. Le dispositif de mesure utilisé est représenté sur la figure 1 ci-dessous. Il est constitué d'une source de lumière polychromatique dont les rayons sont envoyés sur l'échantillon à analyser à l'aide d'une lame semi-réfléchissante. L'échantillon renvoie un rayonnement caractéristique vers un spectromètre. Une analyse spectrale permet de déterminer les caractéristiques physiques recherchées.

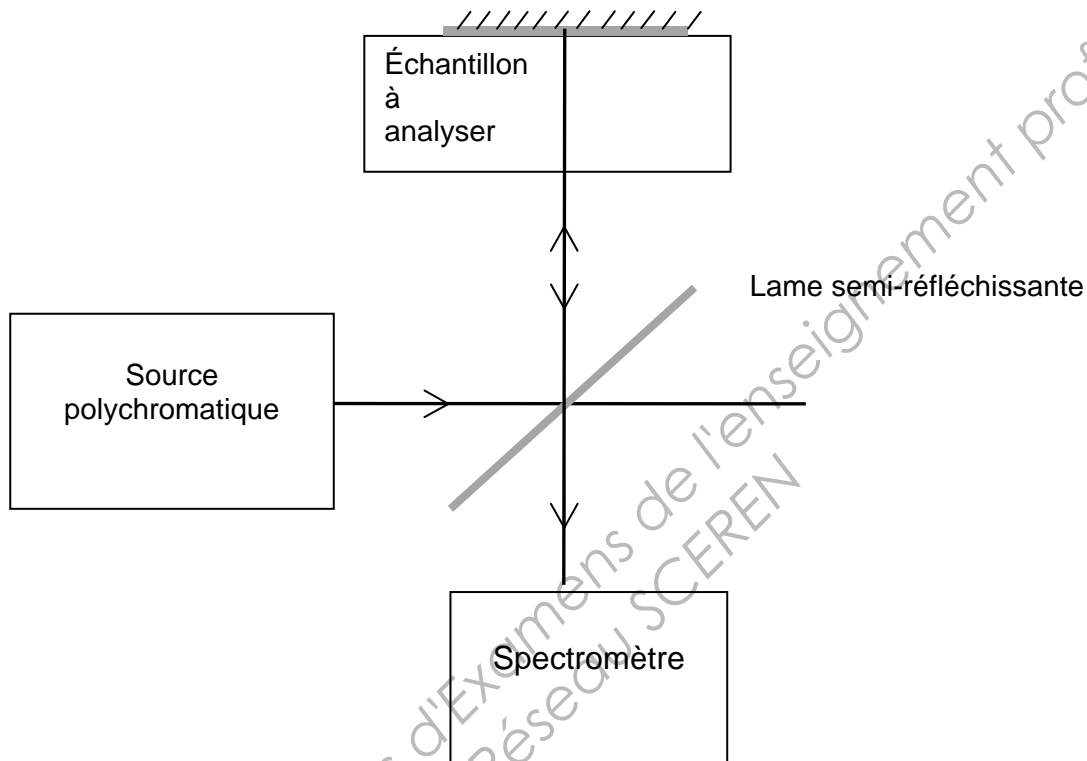


figure 1 : dispositif de mesure

Le sujet est constitué de quatre parties indépendantes :

**Partie A : Étude de la source de lumière blanche (2,5 points).**

**Partie B : Étude du spectromètre (7,5 points).**

**Partie C : Mesure de l'épaisseur d'une couche de vernis (5 points).**

**Partie D : Mesure de la biréfringence du quartz (5 points).**

## **PARTIE A : ÉTUDE DE LA SOURCE DE LUMIÈRE BLANCHE (2,5 points)**

On utilise comme source de lumière une lampe à filament de tungstène ; cette source se comporte comme un corps noir. Le rayonnement émis contient un continuum de radiations allant de l'ultraviolet à l'infrarouge en passant par le rayonnement visible.

### Données :

Température du filament : 3400 K

Diamètre du filament :  $D = 0,160$  mm

Longueur du filament :  $L = 4,40$  mm

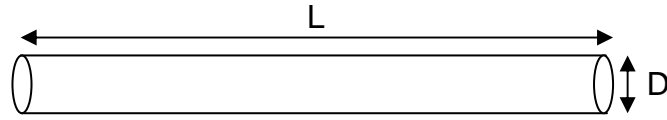
Loi de Wien donnant la longueur d'onde dans le vide du maximum d'émission :

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2,89 \times 10^{-3} \text{ K.m}$$

Loi de Stefan donnant la puissance lumineuse émise par unité de surface :

$$E = \sigma \cdot T^4 \text{ avec } \sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$$

Surface émissive du filament cylindrique :  $S = \pi \cdot D \cdot L$  avec les données de l'exercice



### **1. Caractéristique de la lumière émise.**

1.1 Déterminer la longueur d'onde dans le vide correspondant au maximum d'émission de la lampe.

1.2 À quel domaine spectral appartient-elle ?

2. En supposant le filament cylindrique, déterminer la puissance lumineuse totale  $P_{\text{tot}}$  émise par la lampe.

## **PARTIE B : ÉTUDE DU SPECTROMÈTRE (7,5 points)**

Pour analyser la lumière on utilise un spectromètre à réseau en transmission, représenté sur la figure 2 ci-dessous.

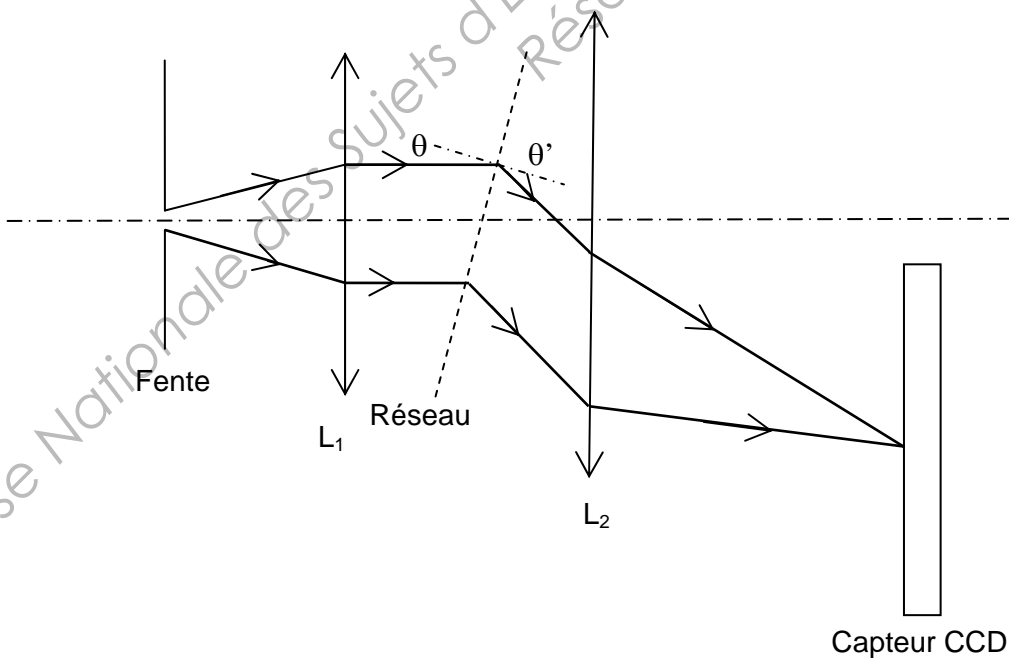


figure 2 : schéma du spectromètre à réseau en transmission

**Données :**

Les lentilles  $L_1$  et  $L_2$  sont considérées comme des lentilles minces convergentes.

Pas du réseau :  $a = 1,88 \mu\text{m}$

Largeur de la fente :  $b = 40,0 \mu\text{m}$

La fente de largeur  $b$  est placée au foyer objet de la lentille  $L_1$ .

$f_2' = + 200 \text{ mm}$

**1. Optique géométrique.**

1.1 En l'absence du réseau de diffraction, construire l'image de la fente sur le **document 1 du document-réponse 1 page 9, à rendre avec la copie.**

1.2 À quel endroit faut-il positionner le capteur CCD pour obtenir l'image nette de la fente après  $L_2$  ?

1.3 Déterminer la largeur  $b'$  de l'image de la fente en fonction de  $b$  et des distances focales  $f_1'$  et  $f_2'$  des lentilles  $L_1$  et  $L_2$ .

1.4 Quelle condition doivent vérifier les distances focales des lentilles  $L_1$  et  $L_2$  pour que  $b'$  soit égale à  $b$  ?

**2. Étude du réseau en transmission.**

Les rayons incidents sur le réseau sont parallèles entre eux et forment un angle  $\theta$  avec la normale.

Les rayons émergents du réseau sont aussi parallèles entre eux et forment un angle  $\theta'$  avec la normale (figure 3).

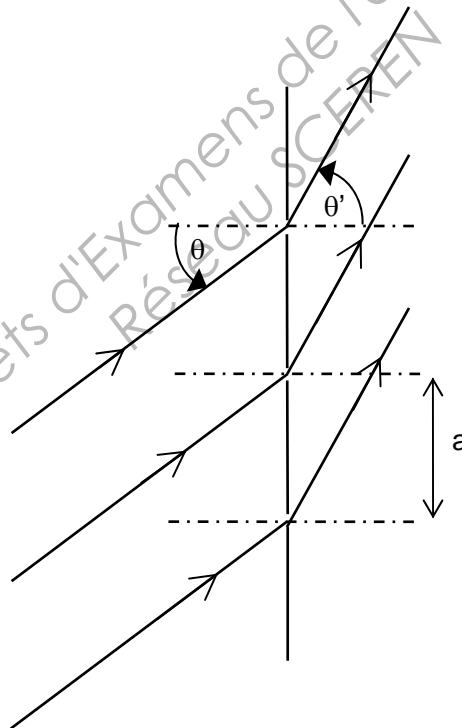


figure 3 : réseau en transmission

2.1 Sur le **document 2 du document-réponse 1 page 9**, représenter la différence de marche  $\delta_{av}$  pour deux rayons incidents consécutifs et la différence de marche  $\delta_{ap}$  pour les deux rayons transmis correspondants.

2.2 En déduire l'expression de la différence de marche totale  $\delta$  en fonction de  $\delta_{av}$  et  $\delta_{ap}$ .

2.3 Exprimer  $\delta$  en fonction de  $a$ ,  $\theta$  et  $\theta'$ .

BTS GÉNIE OPTIQUE OPTION PHOTONIQUE	SUJET	SESSION 2013
U 42 : Physique appliquée	Code : GOPHYPH	Page : 4/10

2.4 À quelle condition l'intensité lumineuse diffractée est-elle maximale ?

2.5 En déduire la formule des réseaux :  $\lambda.p = a(\sin\theta - \sin\theta')$  , où p est un nombre entier représentant l'ordre d'interférence.

Dans la suite, le réseau est utilisé en incidence normale ( $\theta = 0^\circ$ ) et on travaille en utilisant le spectre à l'ordre 1 ( $p = 1$ ).

### 3. Dimension du spectre sur le capteur.

3.1. Déterminer les valeurs des angles d'émergence  $\theta'_{400}$  et  $\theta'_{650}$  des faisceaux pour les longueurs d'onde respectives de 400 nm et 650 nm.

3.2. Sur le **document 3 du document-réponse 2 page 10, à rendre avec la copie**, compléter le tracé correspondant à la longueur d'onde de 400 nm.

3.3. Déduire des questions précédentes la taille du spectre, correspondant aux longueurs d'onde comprises entre 400 nm et 650 nm, sur le capteur placé dans le plan focal image de la lentille  $L_2$ .

## PARTIE C : MESURE DE L'ÉPAISSEUR D'UNE COUCHE DE VERNIS (5 points)

### 1. Principe du filtrage.

On a déposé sur un substrat un vernis d'épaisseur uniforme  $e$ . L'échantillon est éclairé avec une lumière polychromatique. Le rayonnement est réfléchi sur la surface du vernis et sur la surface du substrat. La couche de vernis se comporte comme une lame à faces parallèles et permet d'observer des interférences à l'infini.

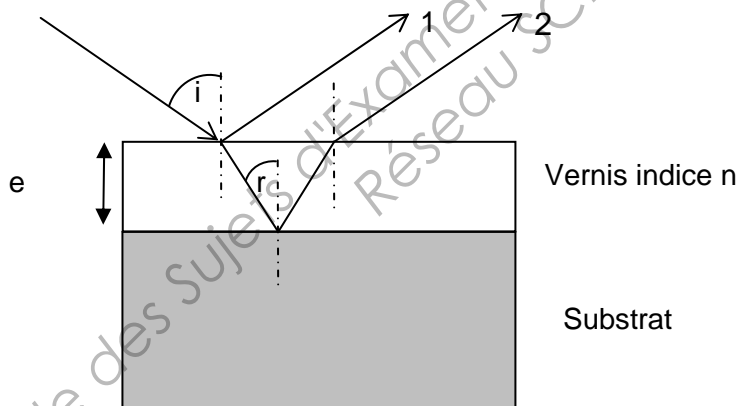


figure 4 : schéma de la couche de vernis

On donne la différence de marche  $\delta'$  entre les rayons 1 et 2 de la figure 4 en fonction de :  
e l'épaisseur du vernis, r l'angle de réflexion sur le substrat et n l'indice du vernis.

$$\delta' = 2.n.e.\cos r$$

1.1 Donner l'expression de la différence de marche  $\delta'$  lorsque les rayons arrivent sur le vernis en incidence normale.

1.2 Dans ces conditions, en déduire l'expression du déphasage  $\varphi'$  en fonction de n, e et  $\lambda$ .

BTS GÉNIE OPTIQUE OPTION PHOTONIQUE	SUJET	SESSION 2013
U 42 : Physique appliquée	Code : GOPHYPH	Page : 5/10

1.3 Le milieu n'étant pas dispersif, la différence de marche est indépendante de la longueur d'onde. À partir de l'expression précédente montrer que si  $\lambda = \frac{2.n.e}{p}$ , avec p nombre entier, l'intensité lumineuse est maximale.

## 2. Mesure de l'épaisseur de la couche de vernis.

À l'aide du spectromètre, on obtient l'intensité lumineuse réfléchiée par le vernis en fonction de la longueur d'onde. On observe un spectre cannelé où certaines radiations ont été supprimées par interférences destructives (figure 5).

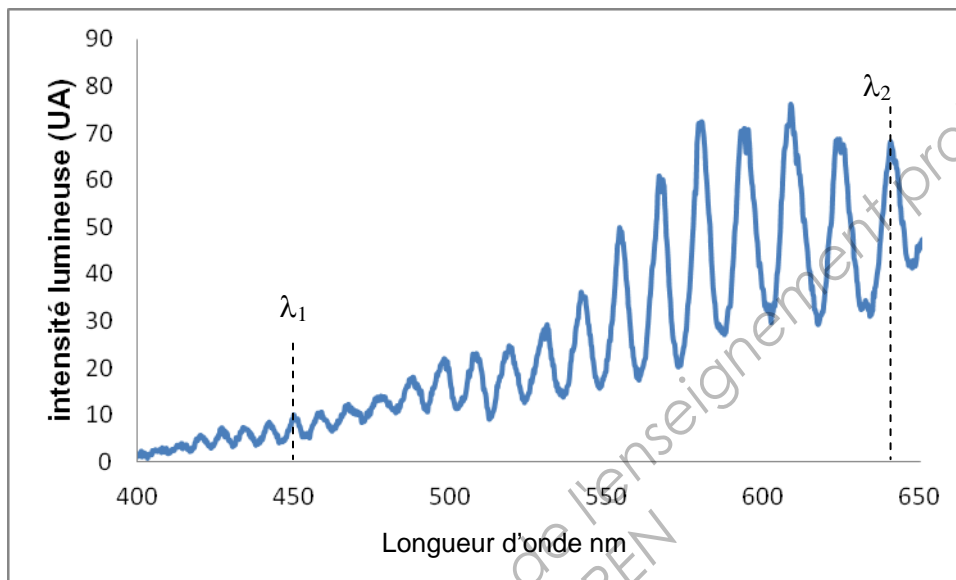


figure 5 : spectre cannelé

### Données :

$$\lambda_1 = 450 \text{ nm} \quad \lambda_2 = 640 \text{ nm}$$

$$\text{Indice du vernis : } n = 1,50$$

$$\text{Incertitude relative : } \frac{\Delta e}{e} \approx 4 \frac{\Delta \lambda}{\lambda_1}$$

2.1 Pour  $\lambda_1$  l'intensité est maximale. Montrer qu'il existe un nombre entier  $p_1$  tel que  $\lambda_1.p_1 = 2.n.e$ , en s'appuyant sur le résultat de la question 1.3.

Pour  $\lambda_2$  l'intensité est aussi maximale, il existe donc un nombre entier  $p_2$  tel que  $\lambda_2.p_2 = 2.n.e$ .

2.2 Déterminer à l'aide de la figure 5, la valeur de  $\Delta p = p_1 - p_2$ .

2.3 Montrer que  $e = \frac{\Delta p . \lambda_2 . \lambda_1}{2.n.(\lambda_2 - \lambda_1)}$ .

2.4 En déduire la valeur de l'épaisseur de la couche de vernis e.

2.5 Donner un encadrement de cette épaisseur e, sachant que  $\Delta \lambda = 2 \text{ nm}$ .

## PARTIE D : MESURE DE LA BIRÉFRINGENCE DU QUARTZ (5 points)

Le quartz est un matériau biréfringent uniaxe d'indice ordinaire  $n_o$  et d'indice extraordinaire  $n_e$ . La lame de quartz est taillée afin que l'axe optique soit parallèle aux faces de la lame. La première face est recouverte d'un film polarisant dont la direction de polarisation fait un angle de  $45^\circ$  par rapport à l'axe optique du cristal. La deuxième face a subi un traitement la rendant réfléchissante (figure 6).

### 1. Étude du filtrage.

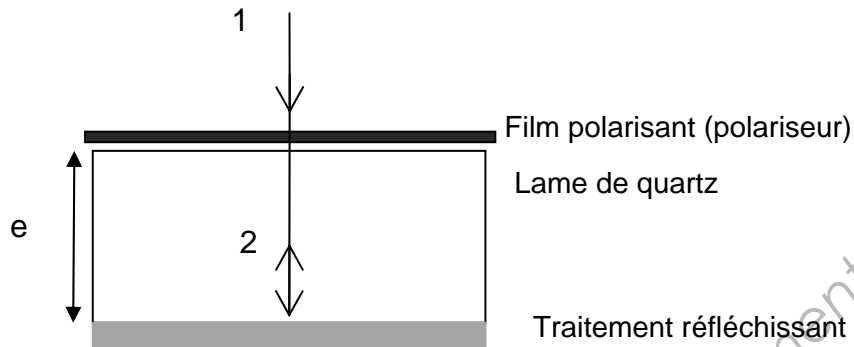


figure 6 : schéma de la lame de quartz

1.1 L'onde incidente est polarisée suivant la direction du polariseur, l'amplitude du champ électrique  $\vec{E}$  est  $E$ . Compléter le **document 4 du document-réponse 2 page 10, à rendre avec la copie**, en projetant le vecteur  $\vec{E}$  suivant les directions des lignes neutres.

1.2 Donner la valeur de l'amplitude de l'onde ordinaire  $E_o$  et celle de l'onde extraordinaire  $E_e$  à l'entrée dans le cristal.

1.3 Déterminer la différence de marche  $\delta''$  entre les composantes ordinaire et extraordinaire de l'onde après un aller-retour dans la lame en fonction de  $e$ ,  $n_e$  et  $n_o$ .  
En déduire l'expression du déphasage  $\varphi''$  correspondant.

1.4 Donner l'expression des amplitudes des deux ondes à la sortie du polariseur. La réponse peut s'appuyer sur le document 4 du document-réponse 2 page 10, en traçant les ondes ordinaire et extraordinaire à la sortie du polariseur.

1.5 Montrer que l'intensité lumineuse à la sortie du polariseur peut se mettre sous la forme :

$$I_s = \frac{I}{2} \left[ 1 + \cos \frac{4\pi(n_e - n_o)e}{\lambda} \right]$$

où  $I$  est l'intensité de l'onde incidente.



## 2. Mesure de la biréfringence du quartz.

À l'aide du spectromètre, on obtient l'intensité lumineuse réfléchie par la lame en fonction de la longueur d'onde. On observe un spectre cannelé où certaines radiations ont été supprimées par interférences destructives (figure 7). On mesure, à l'aide d'un palmer mécanique et avant traitement, l'épaisseur de la lame  $e = 2,01$  mm.

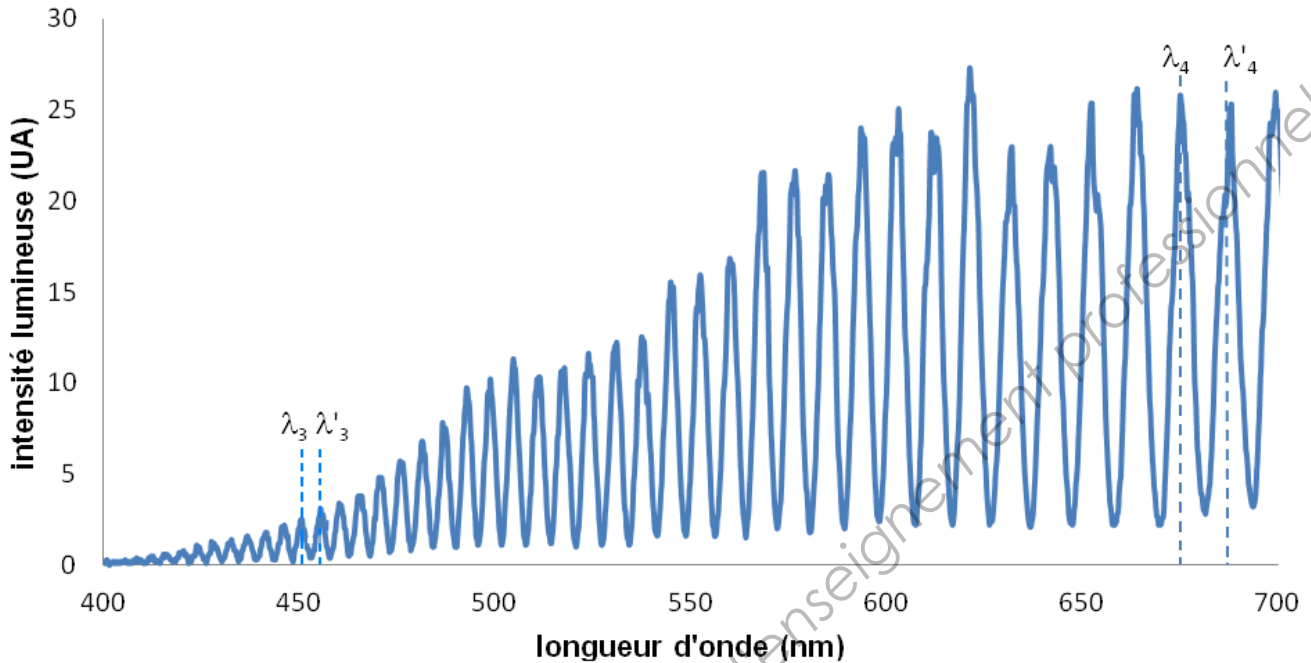


figure 7 : spectre cannelé de la lame de quartz

### Données :

$\lambda_3 = 450$  nm     $\lambda_4 = 675$  nm    nombre de cannelures  $\Delta p = 30$

Épaisseur de la lame :  $e = 2,01$  mm

Biréfringence moyenne :  $\Delta n = |n_e - n_o| = \frac{\Delta p \cdot \lambda_4 \cdot \lambda_3}{2 \cdot e \cdot (\lambda_4 - \lambda_3)}$

2.1 Déterminer la valeur de la biréfringence moyenne  $\Delta n$  du quartz.

En fait les indices ordinaire et extraordinaire dépendent de la longueur d'onde, leur différence aussi.

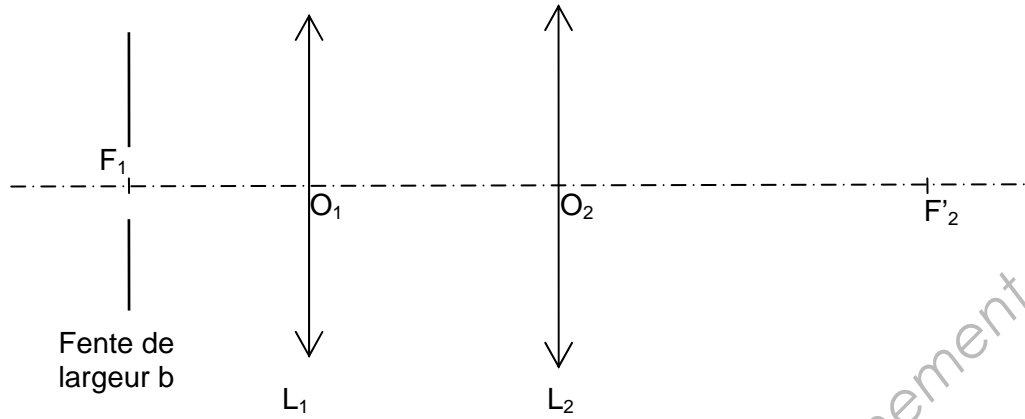
$$\text{Pour } \lambda_3 = 450 \text{ nm} \quad \Delta n_{450} = \frac{\lambda'_3 \cdot \lambda_3}{2 \cdot e \cdot (\lambda'_3 - \lambda_3)}$$

$$\text{Pour } \lambda_4 = 675 \text{ nm} \quad \Delta n_{675} = \frac{\lambda'_4 \cdot \lambda_4}{2 \cdot e \cdot (\lambda'_4 - \lambda_4)}$$

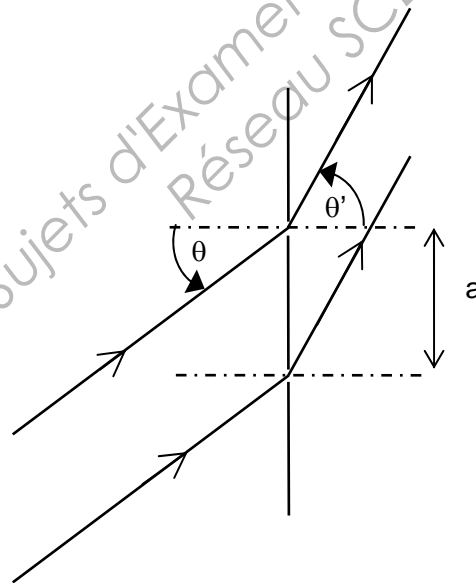
2.2 Déterminer les valeurs des biréfringences  $\Delta n_{450}$  et  $\Delta n_{675}$  avec  $\lambda'_3 = 455$  nm et  $\lambda'_4 = 688$  nm.

2.3 En supposant que la biréfringence  $\Delta n$  diminue avec la longueur d'onde, en déduire un encadrement de la biréfringence pour les longueurs d'onde comprises entre 450 nm et 675 nm.

# Document-réponse 1 à rendre avec la copie

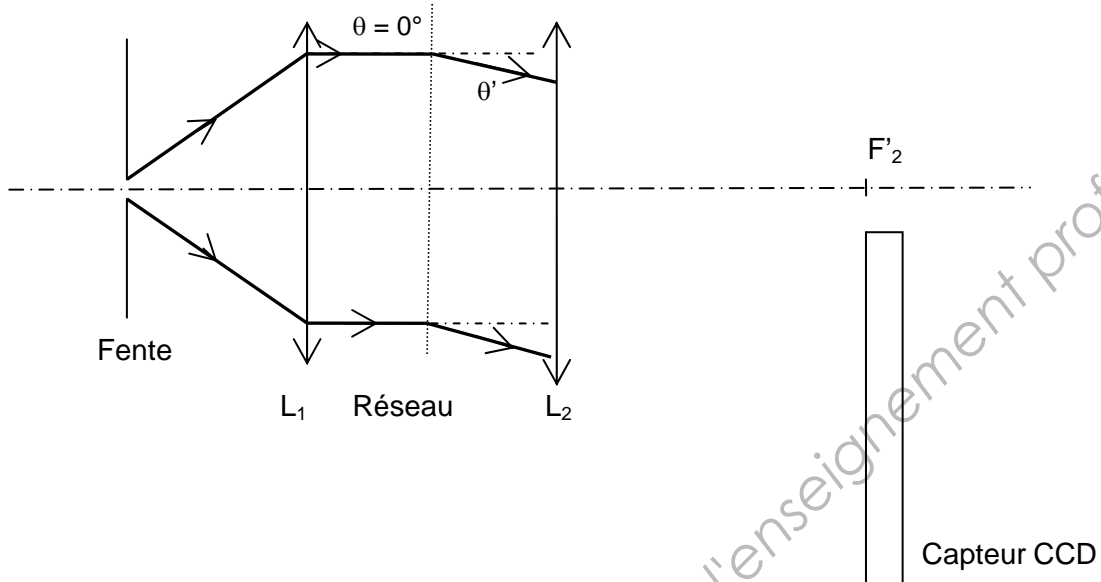


Document 1



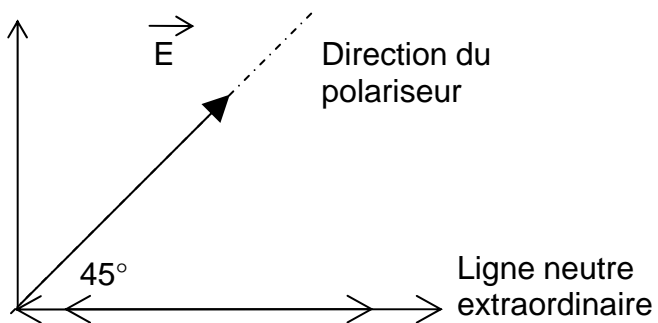
Document 2

## Document-réponse 2 à rendre avec la copie



**Document 3**

Ligne neutre  
ordinaire



*Lame de quartz*

**Document 4**