

PRISME DE WOLLASTON

APPLICATION A LA PROFILOMETRIE PAR PROJECTION DE FRANGES

1. Objectifs

Il s'agit de réaliser des interférences en lumière polarisée à l'aide d'un prisme de Wollaston. On étudie tout d'abord les propriétés du prisme lui-même, puis l'origine des franges d'interférences obtenues.

On projette ensuite ces franges sur un objet 3D pour en faire le profil comme dans le TP MO « Moiré ».

2. Le prisme de Wollaston

Un prisme de Wollaston est constitué de deux prismes en quartz accolés, avec les axes optiques parallèles aux faces d'entrée et de sortie (voir avant-dernière page). Dans le premier, l'axe optique est dans le plan de la figure (figure 7, en haut), et dans le second l'axe optique est perpendiculaire au premier (figure 7, en bas).

Les indices n_E et n_O du quartz sont donnés sur la figure 1 en fonction de la longueur d'onde, et figure 6 à 589 nm. On constate sur la figure 1 que leur différence, appelée biréfringence, dépend très peu de la longueur d'onde dans le visible. La valeur de la biréfringence calculée à 589 nm est donc aussi valable à 633 nm.

2.1 Construction d'Huygens

Sur la figure 6, le rayon incident contient à amplitudes égales les composantes de polarisation ordinaire et extraordinaire du premier prisme.

Expliquer brièvement pourquoi les rayons ordinaire et extraordinaire sont superposés dans le premier prisme. Quelle est leur polarisation respective ?

Expliquer brièvement pourquoi le rayon ordinaire dans le premier prisme devient extraordinaire dans le second, et réciproquement.

Construire sur la figure 6 les rayons ordinaire et extraordinaire dans le second prisme, en indiquant leur polarisation.

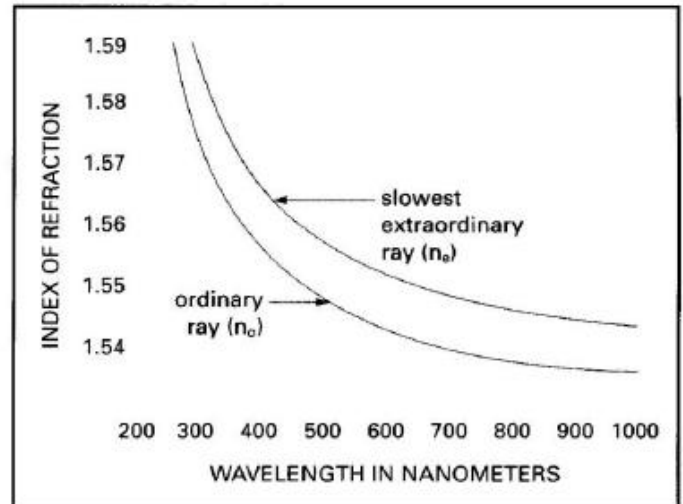
On constate que les deux rayons font entre eux un angle $\alpha = 2(n_E - n_O) \tan\theta$, où θ est l'angle au sommet du prisme.

Calculer la valeur de α en mrad à 633 nm (donnée constructeur : $\theta=8^\circ$).

2.2 Etude des faisceaux émergents

Réaliser le montage de la figure 2.

On éclaire avec le laser un polariseur P et le prisme de Wollaston W monté sur un support à déplacement micrométrique. On observe la lumière transmise sur un écran lointain (porte du box).



REFRACTIVE INDICES OF CRYSTALLINE QUARTZ (AT 18°C) VERSUS WAVELENGTH. The extraordinary index may have any value between n_O and n_e depending on the direction of propagation in relation to the crystalline optic axis direction.

Figure 1 : biréfringence du quartz

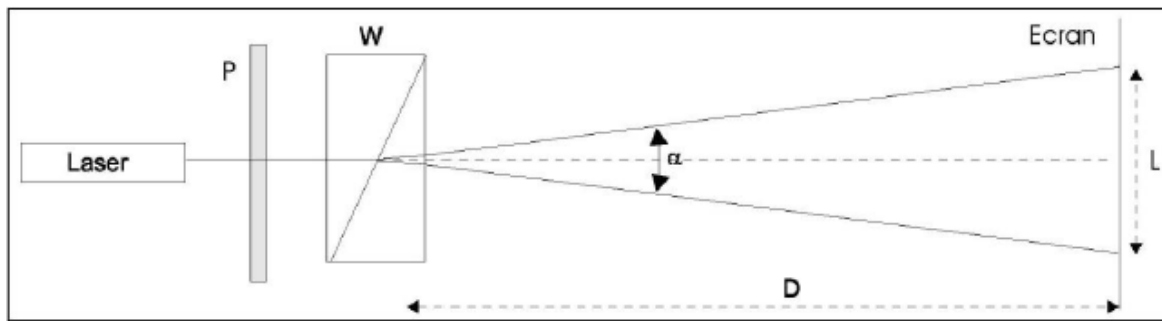


Figure 2 : Mesure de l'angle entre les deux faisceaux

Tourner le polariseur P et observer les taches sur l'écran (apparitions et extinctions).

En déduire la direction de polarisation de chacun des deux faisceaux : ces directions sont celles des lignes neutres du cristal. Indiquer ces directions par rapport à l'horizontale.

Mesurer l'angle α . Il suffit pour cela de mesurer la distance L entre les deux taches, sur un écran à la distance D du prisme : $\alpha = 2 \text{ ATAN} (L/(2D)) = L/D$.

Comparer à la valeur théorique de α .

3. Interférences en lumière polarisée

3.1 Franges localisées

Les faisceaux émergeant du prisme W ont une intersection dans un plan Π proche du milieu du prisme et de la surface commune aux deux prismes le constituant. Les deux faisceaux ont des polarisations orthogonales et ne peuvent pas interférer en principe, sauf si on place un polariseur P' sur lequel les deux vibrations orthogonales peuvent se projeter avec des amplitudes voisines. Pour des raisons de cohérence de la source, il faut aussi que la lumière incidente sur le prisme soit polarisée et contienne avec des amplitudes voisines les deux polarisations des lignes neutres.

Les franges, si elles existent, sont localisées dans le plan Π .

Pour les observer, on réalise le montage de la figure 3, où W est monté sur un support à déplacement micrométrique et L est une lentille de focale 150 mm qui projette les franges sur l'écran E. L'écran se trouve dans le plan conjugué de Π par L. Vérifier cela à partir de la formule de Descartes pour les lentilles minces entre p, p' et f'. Il faut que p' soit assez grand (projection sur la porte du box).

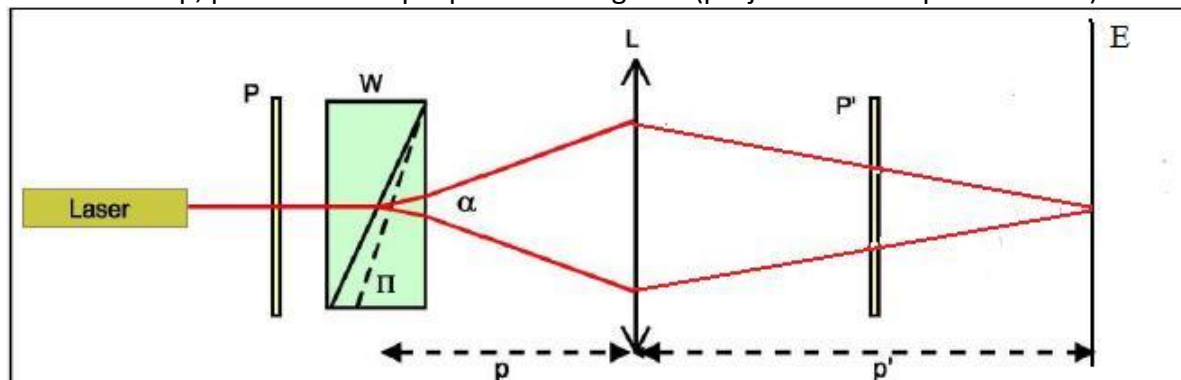


Figure 3 : interférences en lumière polarisée

Observer si les franges existent : sans les polariseurs, avec P seul, avec P' seul, avec P et P'.

Déterminer les positions de P et P' pour lesquelles le contraste est optimal.

Quel est le rôle de P ? celui de P' ?

Pourquoi n'observe-t-on pas de franges si P et/ou P' est horizontal ou vertical ?

Mesurer l'interfrange I sur l'écran E, et déterminer le grandissement transversal G du montage en indiquant vos valeurs de p et p'.

Calculer l'interfrange i (dans le plan Π) par les relations : $i = \lambda / \alpha$ et $i = I / G$. Comparer les valeurs obtenues.

3.2 Déplacement des franges

A l'aide du support à déplacement micrométrique, déplacer le prisme perpendiculairement au faisceau incident. Observer le déplacement des franges sur l'écran.

Mesurer le déplacement y du prisme correspondant au défilement de N interfranges en un point de l'écran. Recommencer plusieurs fois la mesure pour diverses valeurs de N et faire un tableau de mesures. En déduire le déplacement correspondant au défilement d'une frange et d'un quart de frange.

On va relier la différence de marche entre les deux rayons au déplacement y et à l'angle α , puis comparer la valeur expérimentale de y pour une frange à la valeur théorique.

Sur le schéma de la figure 4, montrer que le chemin optique du rayon R1 (de polarisation \circ horizontale) est (on admet que la déviation α est faible et négligeable) :

$$d_1 = n_o(e/2 - y \tan\theta) + n_e(e/2 + y \tan\theta)$$

Calculer de même le chemin optique d_2 du rayon R2 (de polarisation verticale).

Montrer que la différence de marche $\delta = d_2 - d_1$ est donnée par : $\delta = 2(n_o - n_e)y \tan\theta$.

En déduire l'expression de la différence de marche : $\delta = \alpha y$.

Le déplacement d'une frange correspond à $\delta = \lambda$. En déduire le déplacement théorique y correspondant au déplacement d'une frange. Comparer à la valeur expérimentale.

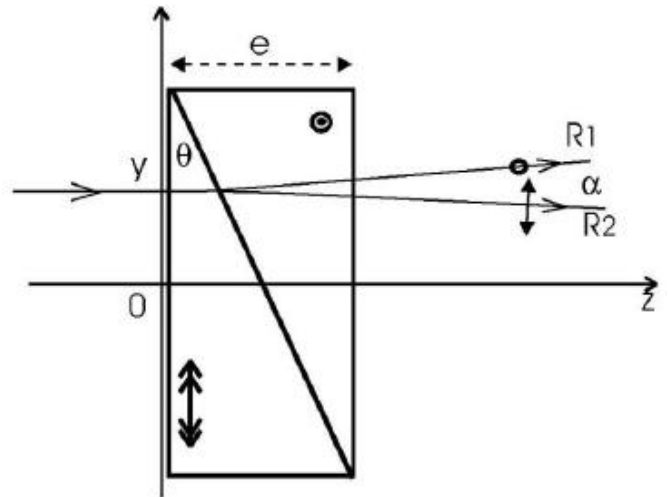


Figure 4 : chemin optique d'un rayon incident en y

4. Projection des franges sur un objet et profilométrie de cet objet

4.1 Montage

On va à présent projeter les franges obtenues avec le prisme de Wollaston sur un objet (masque, pyramide...) et mesurer le profil de cet objet comme dans le TP MO « Moiré ».

On réalise le montage de la figure 5.

Comme le laser prend une grande partie de la longueur du marbre, on amène le faisceau laser à se propager le long du marbre de la porte vers le mur du fond en plaçant deux miroirs sur les coins du marbre les plus près de la porte.

Le prisme de Wollaston est placé sur une platine de translation motorisée PI qui permettra d'effectuer le déplacement y du prisme, perpendiculairement à la direction du faisceau incident, et donc de décaler les franges.

L'expansateur de faisceau constitué de L1 et L2 (afocal) permet d'éclairer le prisme sur toute sa largeur et d'obtenir des franges dans un champ assez large.

Les polariseurs sont orientés à 45° par rapport à l'horizontale et croisés.

L'objet est incliné d'environ 20° par rapport à la direction de propagation de la lumière (utiliser le gabarit en carton).

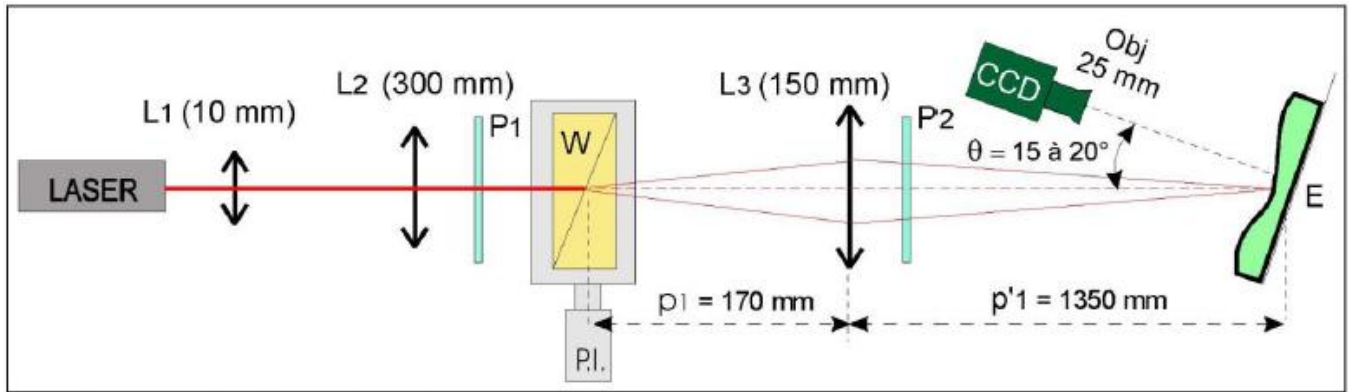


Figure 5 : Montage interférométrique et projection des franges

La caméra fait l'image de l'objet et des franges en étant orientée perpendiculairement à l'objet.

4.2 Mesure du profil

On utilise le logiciel VisuLV2 pour acquérir et traiter les images, ainsi que pour piloter la platine motorisée.

Sélectionner la carte *Météor* (n° 1).

Acquérir une image en mode *Live*. Régler la netteté, vérifier que les franges sont visibles, ainsi que l'objet en entier.

Quitter le mode *Live* et fermer l'image.

Chercher le numéro de port USB de la platine.

Aller dans le menu *Déplacement Manuel* et sélectionner la platine. Entrer son numéro de port USB. Vérifier qu'elle est bien pilotée par l'ordinateur en effectuant un déplacement d'un pas.

Tracer la courbe de luminance : il faut sélectionner la longueur d'une frange avec la souris sur l'image qui s'affiche.

A l'aide des curseurs placés entre deux maximums consécutifs, déterminer le déplacement nécessaire au défilement d'une frange. En déduire celui nécessaire au défilement d'un quart de frange. Noter ces valeurs et les comparer à celles trouvées manuellement au 3.2.

Sortir du menu.

Aller dans le menu *Images* et faire *Capturer 4 images*.

Dans le même menu, faire *Calculer l'image phasée automatiquement*. Enregistrer l'image phasée et la laisser ouverte. Fermer les quatre images acquises.

Placer le fond plat de référence dans le champ de la caméra. Capturer à nouveau 4 images et recalculer l'image phasée correspondante. Enregistrer la nouvelle image phasée et fermer les 4 images acquises.

Dans le menu *Opérations sur les images/opérations mathématiques*, faire la *Soustraction modulo 256* des deux images phasées : l'objet moins la référence. Enregistrer l'image obtenue.

Dans *Opérations sur les images*, choisir la fonction *Démoduler* qui donne le profil de l'objet en niveaux de gris. Enregistrer l'image obtenue. Dans le même menu, choisir la vue en 3D.

Montrer le résultat à un professeur.

Dans le TP MO, on étalonne ensuite le profil obtenu. On ne le fera pas ici par manque de temps.

4.3 Principe des images phasées

Les 4 images acquises ont les intensités :

$$I_{00}=I_0(1+C\cos(\varphi(x,y))) \quad I_{90}=I_0(1+C\cos(\varphi+\pi/2)) \quad I_{180}=I_0(1+C\cos(\varphi+\pi)) \quad I_{270}=I_0(1+C\cos(\varphi+3\pi/2))$$

Calculer $C=I_{00}-I_{180}$ et $S=I_{270}-I_{90}$, puis $T=S/C$. Indication : $\cos(\varphi+\pi/2)=-\sin(\varphi)$.

Montrer que $\varphi=ATAN(T)$ modulo π .

NOMS :

.....

.....

FEUILLE A COMPLETER ET A RENDRE AVEC LE COMPTE-RENDU

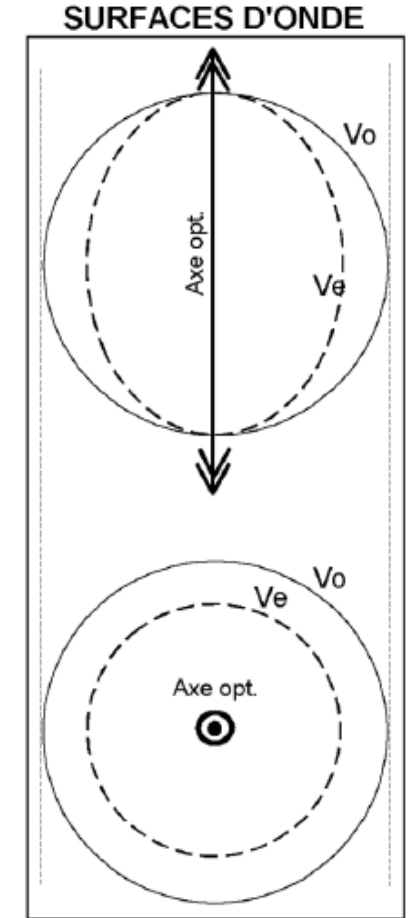
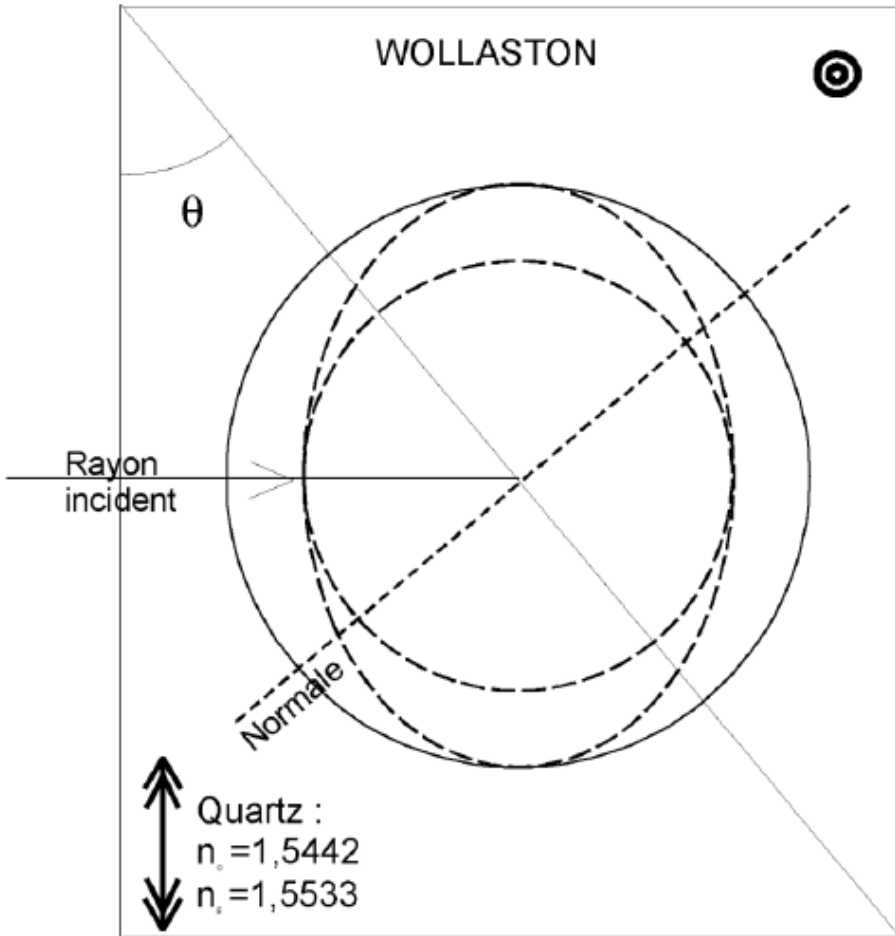


Figure 7 : Surfaces d'onde ordinaire et extraordinaire

Figure 6 : Construction d'Huygens

NOMS :

DATE :

.....

.....

FEUILLE A RENDRE EN FIN DE SEANCE

| § | Travail à faire | A noter sur place | A noter à l'écrit |
|---|---|-------------------|-------------------|
| 2 | Prisme de Wollaston Construction d'Huygens + calcul de α | | ____ / 3 |
| | Mesure de α et réponses aux questions | | ____ / 2 |
| 3 | Interférences en lumière polarisée Montage | ____ / 3 | ____ / 3 |
| | Mesure de I et G, calcul de i | | ____ / 2 |
| | Réponses aux questions | | ____ / 2 |
| 4 | Moiré Montage | ____ / 3 | ____ / 2 |
| | Décalage de phase | | ____ / 2 |
| | Images et profil | | ____ / 2 |

TOTAL : _____ / 20**Les comptes-rendus sont à rendre une semaine après le TP, le même jour de la semaine.****Un jour de retard : -2 points****Deux jours de retard : note / 2****Au-delà : points sur place / 2**