

CONTROLE TERMINAL – SESSSION 2**Durée : 2h 00 min**

Pas de documents, pas de téléphone portable. Calculatrice autorisée
prenez soin de justifier vos réponses et de respecter les notations employées (cela sera pris en compte dans la notation)

NOM :

Question en lien avec le cours (cochez si besoin la ou les bonnes réponses) :**5.5 points**

Attention : Les questions proposées peuvent avoir plusieurs réponses correctes (voire éventuellement toutes les réponses).

1) La théorie de Fresnel date du

- ☐ XV^{ème} siècle.
- ☐ V^{ème} siècle av. JC.
- ☐ XIX^{ème} siècle.
- ☐ XX^{ème} siècle.

2) La figure de diffraction obtenue par un bord d'écran

- ☐ peut être décrite par la diffraction de Fraunhofer si on se place à grande distance.
- ☐ doit être impérativement analysée dans le régime de Fresnel.
- ☐ peut se calculer grâce à une transformée de Fourier.
- ☐ peut se prédire en utilisant la spirale de Cornu ou clothoïde.

3) Citer trois applications potentielles des couches minces optiques :**4) Pour interférer de manière optimale, deux ondes doivent**

- ☐ être polarisées linéairement, l'une avec une polarisation verticale, l'autre avec une polarisation horizontale.
- ☐ être polarisées circulairement, l'une avec une polarisation droite, l'autre avec une polarisation gauche.
- ☐ doivent avoir des intensités identiques.
- ☐ doivent avoir des intensités très différentes

5) Donner trois applications industrielles des dispositifs interférométriques

6) Donnez l'intervalle spectral libre (exprimé en fréquence) pour un interféromètre à deux ondes fonctionnant à la longueur d'onde λ et introduisant une différence de marche δ .

7) Donnez deux exemples d'interféromètre à ondes multiples

-
-

8) Les formalismes suivants sont utilisés pour décrire les états de polarisation et leurs transformations :

- ☐ formalisme de Jones.
- ☐ formalisme de Fraunhofer.
- ☐ formalisme de Stokes.
- ☐ formalisme de Brewster.

11) La réponse impulsionnelle d'un système optique

- ☐ est définie à partir de l'image uniquement géométrique d'un point à travers le système optique.
- ☐ s'exprime dans le domaine spatial direct.
- ☐ prend en compte les effets de la diffraction.
- ☐ permet de reconstituer n'importe quelle image en étant convoluée avec l'image géométrique.

12) Quelle est le nom de la figure de diffraction observée au foyer d'une lentille idéale ?

-

13) Les irisations de couleurs vues sur une bulle de savon sont principalement liées à

- ☐ un processus d'interférence entre deux polarisations.
- ☐ la diffraction sur une sphère.
- ☐ une interférence à deux ondes liée à l'épaisseur finie de la bulle.
- ☐ à la dépendance angulaire du coefficient de réflexion et l'existence de l'angle de Brewster.

14) Une polarisation circulaire

- ☐ peut être obtenue grâce à une source non-polarisée suivie d'un polariseur linéaire.
- ☐ peut être générée par l'action d'une lame $\lambda/4$ sur une onde polarisée linéairement.
- ☐ peut servir de base pour décrire les états de polarisation.
- ☐ est obtenue après passage dans une ouverture circulaire de faible dimension.

15) Citez deux effets permettant de manipuler l'état de polarisation de la lumière :

-
-

16) Donnez le nom de deux méthodes de construction graphique permettant de tracer les rayons réfléchis et transmis au niveau d'une interface.

-
-

Exercice 1 : Polarisation :**6 points**

Considérons une lumière incidente monochromatique polarisée avec une polarisation rectiligne horizontale. Dans tout cet exercice, nous utiliserons le formalisme de Jones dans la base des états rectilignes.

E1.1) Donnez l'expression du vecteur de Jones de la lumière incidente $\vec{J}_{in}$.

0.5 pt

$$\vec{J}_{in} =$$

Nous rappelons l'expression générale de la matrice de Jones M_{WP} d'une lame de phase constituée d'un matériau anisotrope uniaxe de biréfringence Δn et d'épaisseur L dont l'orientation des axes neutres fait un angle α avec l'horizontale et dont le déphasage introduit est $\Delta\varphi$:

$$M_{WP} = \begin{pmatrix} \cos^2 \alpha + e^{-i\Delta\varphi} \sin^2 \alpha & (1 - e^{-i\Delta\varphi}) \cos \alpha \sin \alpha \\ (1 - e^{-i\Delta\varphi}) \cos \alpha \sin \alpha & \sin^2 \alpha + e^{-i\Delta\varphi} \cos^2 \alpha \end{pmatrix}$$

E1.2) Décrivez la procédure qui permet expérimentalement de trouver la position des axes neutres de la lame. On suppose qu'on dispose, en plus du laser polarisé linéairement, d'un analyseur.

1 pt

E1.3) On place la lame de phase de telle manière à ce qu'un de ses axes neutres soit horizontal. Quelle est alors la matrice associée à cette lame dans ces conditions ? Que devient la polarisation de sortie ?

1 pt

On s'intéresse désormais à une lame biréfringente demi-onde orientée à $\alpha = 45^\circ$ de la direction horizontale.

E1.4) Dans ces conditions, que vaut $\Delta\varphi$? Quelle relation doit vérifier le produit $\Delta n L$?

0.5 pt

$$\Delta\varphi =$$

$$\Delta n L =$$

E1.5) Exprimez, compte tenu de toutes ces hypothèses, la matrice M_I que l'on peut associer à cette lame. Calculez l'expression du vecteur de Jones de la polarisation émergente. De quel type de polarisation s'agit-il ? Était-il possible de prévoir ce résultat ?

1.5 pt

On s'intéresse maintenant à une lame biréfringente quart-onde orientée à $\alpha = 45^\circ$ de la direction horizontale.

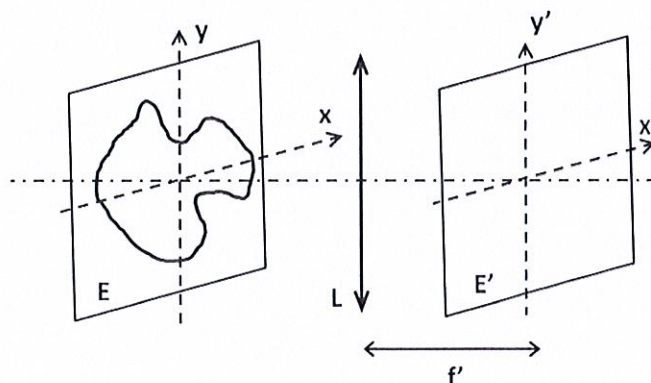
E1.6) Exprimez la matrice M_2 que l'on peut associer à cette lame. Donnez l'expression du vecteur de Jones de la polarisation émergente. De quel type de polarisation s'agit-il ? **1 pt**

On s'intéresse maintenant à l'association des deux précédentes lames. On place ainsi la lame quart-d'onde derrière la lame demi onde.

E1.7) Que vaut la matrice M_3 que l'on peut associer à cette combinaison de deux lames. Donnez l'expression du vecteur de Jones de la polarisation émergente. De quel type de polarisation s'agit-il ? Était-t-il possible de prévoir ce résultat ? **0.5 pt**

Exercice 2 : Diffraction par trois fentes :**6.5 points**

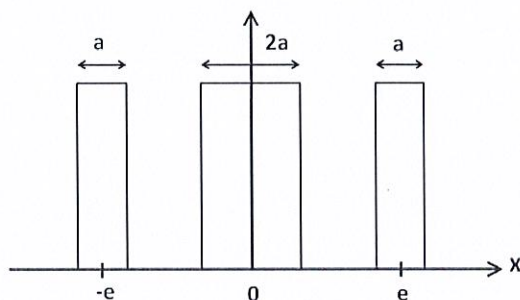
Un écran opaque (E) est éclairé en incidence normale et en lumière monochromatique de longueur d'onde λ . Cet écran opaque est rapporté au repère (Oxy) normal à l'axe et percé d'une pupille, de fonction de transparence pupillaire $f(x,y)$. On observe alors la figure de diffraction à l'infini sur un écran (E'), rapporté au repère $(O'x'y')$, placé dans le plan focal d'une lentille L de focale f' .



E2.1) Expliquer l'intérêt d'utiliser une lentille L pour observer la figure de diffraction.

0.5 pt

On considère dans un premier temps que la pupille est composée de trois fentes non identiques : une fente de largeur $2a$ entourée de deux fentes de largeur a et situées à la même distance e de la fente large centrale. Les trois fentes sont supposées infiniment longues dans la direction (Oy) .



E2.2) Donnez l'expression de la transparence pupillaire $f(x,y)$.

1 pt

$$f(x,y) =$$

E2.3) Donnez l'amplitude $A(u)$ de l'onde diffractée dans le plan $(O'x'y')$ de l'écran (E') en fonction du paramètre $u = x' / \lambda f' = k_x / (2\pi)$ puis montrez que l'intensité $I(u)$ se met sous la forme $I_0 g(u) \text{sinc}^2(\pi u a)$, avec $g(u)$ une fonction à déterminer et I_0 une constante multiplicative (que l'on ne cherchera pas à expliciter).

2 pt

On rappelle que $\sin 2\theta = 2 \cos \theta \sin \theta$ et que :

$$TF \left[\Pi \left(\frac{x}{a} \right) \right] = a \operatorname{sinc} (\pi u a)$$

$$TF [\delta (x - x_0)] = e^{-2i\pi u x_0}$$

On considère maintenant que les trois fentes sont identiques, de largeur a , et aux mêmes positions que précédemment. On place devant la fente centrale une lame déphasante $\lambda/2$ (demi-onde).

E2.4) Donnez l'expression de la nouvelle transparence pupillaire.

1 pt

$$f(x,y) =$$

E2.5) Montrez que l'intensité $I(u)$ se met sous la forme $I(u) = I_0 \operatorname{sinc}^2(\pi u a) [2 \cos(2\pi u e) - 1]^2$.

2 pt

Exercice 3 : Diffraction par un disque laser

4.5 points

Si on regarde un CD à l'aide d'un microscope électronique, on constate qu'il est composé de pistes parallèles qui sont régulièrement espacées d'une distance D_{CD} valant $1.6 \mu\text{m}$ pour le CD, alors que pour le DVD et le blu-ray, les valeurs D_{DVD} et D_{BR} sont de $0.74 \mu\text{m}$ et $0.32 \mu\text{m}$ respectivement.

On illumine le CD par un faisceau laser rouge $\lambda = 632 \text{ nm}$ étendu si bien qu'une large portion du CD est éclairée. Cet éclairage est situé en incidence normale. On voit alors apparaître plusieurs taches de diffraction car le CD se comporte de manière similaire à un réseau.

On rappelle la formule générale d'un réseau en réflexion est :

$$\sin \theta + \sin \theta_i = m \lambda / \Lambda$$

avec θ_i l'angle incident et θ l'angle diffracté. Λ est le pas du réseau et m l'ordre de diffraction.

P3.1) Par quelle construction géométrique peut-t-on retrouver cette formule ?

0.5 pt

P3.2) Calculez les positions angulaires θ_1 et θ_2 de l'ordre 1 et 2.

1 pt

$\theta_1 =$	=
$\theta_2 =$	=
expression littérale	valeur numérique

P3.3) Combien d'ordres de diffraction pourraient en théorie être observés ?

0.5 pt

Nombre d'ordres de diffraction observables =

P3.4) On éclaire le CD maintenant avec de la lumière visible (ie entre 380 et 780 nm). Donnez les angles de diffraction entre lesquels s'étale le spectre diffracté pour le premier ordre de diffraction.

0.5 pt

$\theta_{\min} =$	=
$\theta_{\max} =$	=
expression littérale	valeur numérique

P3.5) On remplace maintenant le CD par un DVD toujours éclairé par une lumière visible. Commentez le spectre diffracté obtenu (vous pourrez calculez de nouveau $\theta_{\min}$ et $\theta_{\max}$).

0.5 pt

P3.6) Serait-il possible de traiter la diffraction obtenue par un DVD grâce au formalisme de Fourier ? Pourquoi ?
0.5 pt

P3.7) Serait-il pertinent pour diffracter encore plus la lumière blanche envoyée en incidence normale d'utiliser un Blu-Ray à la place d'un CD ou un DVD ? Pourquoi ?
1 pt