

CONTROLE TERMINAL – SESSSION 1

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 le ou les bonnes réponses) :**7 points**

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

1) Augustin Mouchot (1825-1912) s'est rendu célèbre pour ses travaux sur

- La photographie.
- L'énergie solaire.
- Le photovoltaïque.
- La biréfringence.

2) Les coefficients de Fresnel

- sont indépendant de la nature vectorielle de la lumière
- permettent de calculer une figure de diffraction
- sont basés sur le calcul d'une intégrale particulière
- permettent notamment de prédire la valeur de l'angle de Brewster

3) Pour obtenir un traitement anti-reflet très efficace :

- Une seule couche $\lambda/4$ suffit.
- Une seule couche $\lambda/2$ suffit.
- Un empilement de couches minces $\lambda/4$ d'indices optiques identiques est nécessaire.
- Un empilement de couches minces $\lambda/2$ et $\lambda/4$ est indispensables.
- Un empilement de couches minces $\lambda/4$ d'indices différents est une solution.

4) Les lunettes passives 3D non-basées sur des filtres colorés reposent essentiellement

- sur des traitements anti-reflets.
- sur un processus d'interférences optiques constructives et destructives.
- sur l'utilisation d'un polariseur circulaire.
- sur la formation d'une image par une grille de diffraction adaptée

5) La finesse d'un dispositif interférométrique

- ne dépend pas des détails du montage interférométrique si celui-ci est un montage à deux ondes à division de front d'onde.
- diffère suivant le montage interférométrique (i.e., à deux ondes ou à onde multiple).
- augmente généralement quand le contraste de celui-ci augmente
- influe sur les performances d'un analyseur de spectre optique
- peut être appliquée à un réseau de diffraction

6) Les processus d'interférence

- sont utilisés pour des capteurs très sensibles en température, pression.
- permettent de convertir un changement de phase en changement d'intensité.
- sont adaptés aux échantillons transparents.
- ne souffrent d'aucune ambiguïté.
- permettent de caractériser une surface.

7) Pour un interféromètre présentant une différence de marche δ entre deux ondes successives, l'intervalle spectral libre exprimé en GHz sera

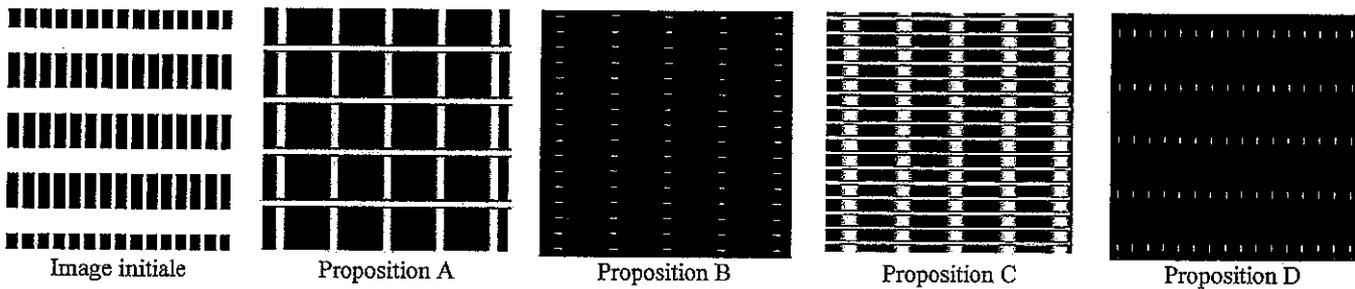
- proportionnel à δ
- inversement proportionnel à δ
- plus faible pour un interféromètre à deux ondes que pour un Fabry Péro.
- plus élevé pour un interféromètre à deux ondes que pour un Fabry Péro.
- identique pour un interféromètre à deux ondes et pour un Fabry Péro.

8) La spirale de Cornu

- est particulièrement utile pour la diffraction d'une fente en champ lointain
- repose sur le calcul des intégrales de Fresnel
- nécessite le calcul de transformées de Fourier
- permet de connaître la figure de diffraction d'un bord d'écran infini en champ lointain

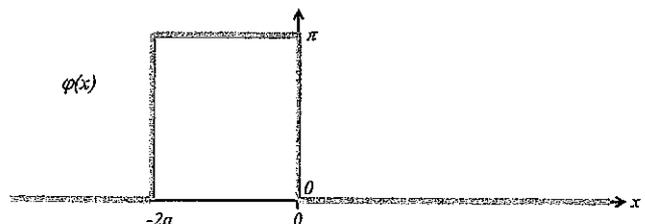
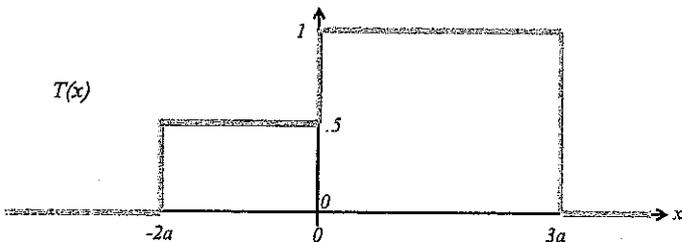
9) Parmi les figures suivantes, sélectionner la figure de diffraction correspondant qualitativement à la figure de diffraction de l'image initiale (les zones noires représentent les zones opaques, les zones blanches les zones transparentes, aucun déphasage n'étant introduit par la pupille) :

- proposition A
- proposition B
- proposition C
- proposition D



10) La fonction transparence pupillaire $f(x)$ donnée figure ci-dessous peut s'exprimer de la manière suivante avec Π_a la fonction porte de largeur a et $T(x)$ et $\varphi(x)$ l'amplitude et la phase de la transparence pupillaire :

- $f(x) = \Pi_{5a}(x) e^{i\pi}$
- $f(x) = -\frac{1}{2} \Pi_{2a}(x+a) + \Pi_{3a}(x-3a/2)$
- $f(x) = \Pi_{2a}(x) e^{i\pi} + \Pi_{3a}(x)$
- $f(x) = \frac{1}{2} \Pi_{2a}(x) * \delta(x+a) e^{i\pi} + \Pi_{3a}(x) * \delta(x-3a/2)$



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) La tâche d'Airy

- est exprimée à partir d'une fonction d'Airy
- est d'autant plus grande que l'ouverture est grande
- fait intervenir des fonctions de Bessel
- est caractéristique d'une ouverture carrée

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) Quel est/sont le ou les inventeurs du laser parmi les scientifiques suivants?

- Albert Einstein
- Alfred Kastler
- Théodore Maiman
- Charles Townes

15) Sur quel(s) paramètre(s) physique du laser joue la cavité Fabry-Parot (nommée cavité laser) ?

- le spectre d'émission laser
- la directivité de l'émission laser
- l'éclairement énergétique du faisceau laser

Exercice 1 : Optique anisotrope dans une lame de calomel :

4 points

Le calomel (également appelé chlorure mercureux ou chlorure de mercure, de formule Hg_2Cl_2) est un cristal qui présente une très forte anisotropie. C'est un milieu uniaxe positif qui présente un indice ordinaire n_o de 1.973 et une biréfringence Δn de 0.683 aux longueurs d'onde visibles.

E1.1) Que vaut l'indice extraordinaire n_e de ce matériau ?

0.5 pt

$n_e =$	=
<i>expression littérale</i>	<i>valeur numérique</i>

E1.2) On souhaite former à partir de ce matériaux biréfringent une lame de polarisation $\lambda/4$ pour une longueur d'onde initiale de 632 nm. Quelle doit être l'épaisseur L de calomel utilisée ? (la lame de polarisation fonctionnera en transmission). Pour réduire l'absorption (on la négligera ici), on utilisera ici l'épaisseur la plus fine possible.

0.5 pt

$L =$	=
<i>expression littérale</i>	<i>valeur numérique</i>

E1.3) On envoie sur cette lame une lumière polarisée linéairement de telle manière à ce que la direction de la polarisation soit à 45° des axes neutres de la couche. Quelle est la nature de la polarisation obtenue après passage dans la couche ? (on donnera la réponse sans démonstration)

0.5 pt

<i>La polarisation de sortie est</i>

E1.4) On souhaite tracer l'évolution de la direction d'un rayon incident sur cette couche. Le milieu incident est de l'air. La méthode que l'on souhaite mettre en œuvre est la construction de Huygens. Sur quelle surface spécifique repose cette construction graphique du rayon lumineux ?

0.5 pt

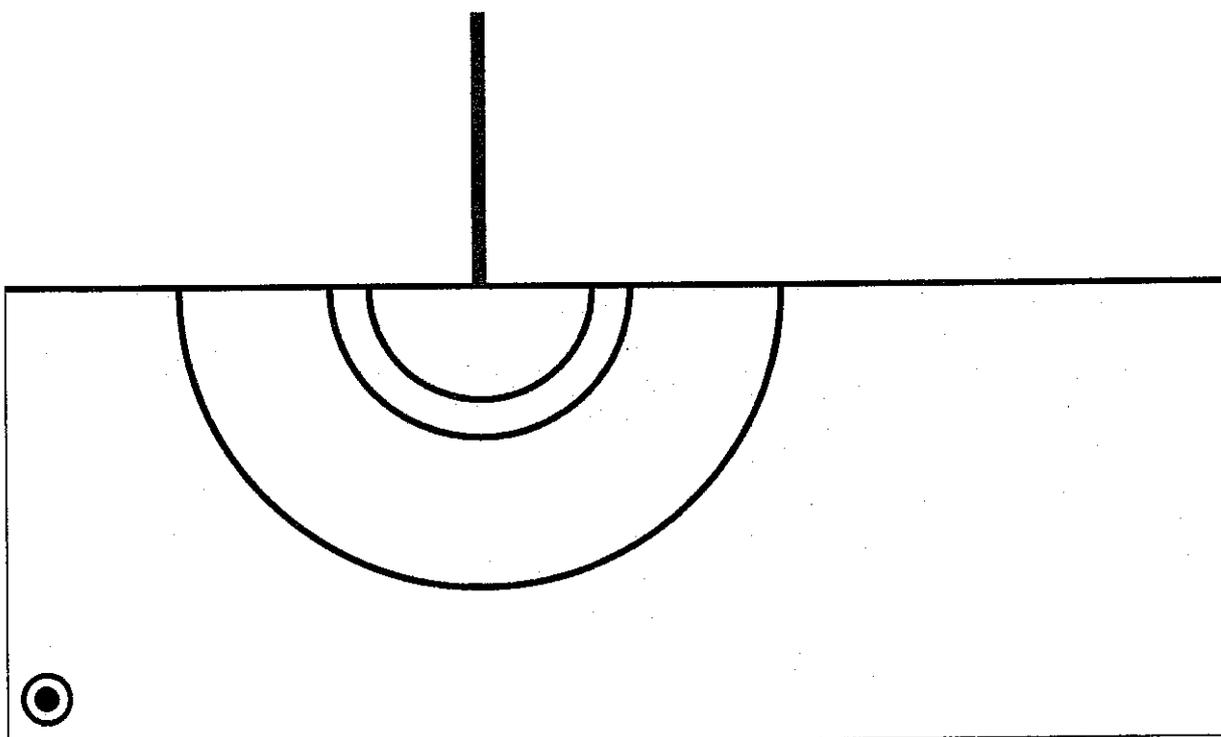
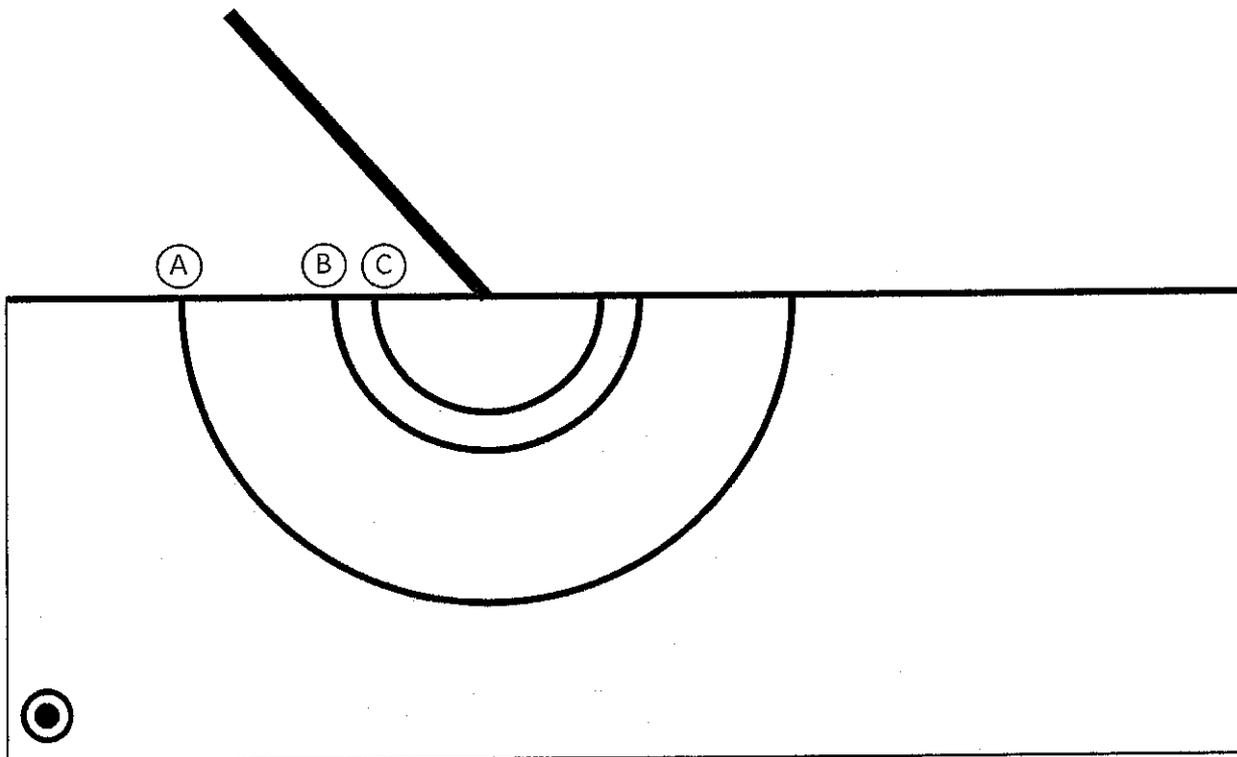
<i>La surface impliquée dans la méthode de Huygens est</i>
--

E1.5) Nous avons représenté la coupe de cette surface particulière dans le cas où l'axe optique est orienté perpendiculairement au plan d'incidence. Les coupes se résument alors à des cercles. Nous considérons le cas où le rayon arrive en incidence normale ou bien en incidence oblique. Sur les figures données dans la question E1.6), identifiez les coupes relatives aux surfaces ordinaires et extraordinaires ainsi que celle relative au milieu incident.

0.5 pt

<i>La surface A est reliée à</i>
<i>La surface B est reliée à</i>
<i>La surface C est reliée à</i>
Justification :

E1.6) Tracez les rayons ordinaires et extraordinaires sur les figures ci-dessous en utilisant la méthode de Huygens. Vous indiquerez bien sur votre figure quel est le rayon ordinaire et quel est le rayon extraordinaire. Vous laisserez également apparents les traits de construction. 1.5 pt



Problème : Lecture d'un disque optique

11.5 points

Dans ce problème, nous allons nous intéresser à la lecture d'une information sur un disque optique. Nous verrons successivement les propriétés de la source laser et essayerons de comprendre dans quelle mesure les processus d'interférence et diffraction peuvent intervenir. Nous essaierons également de comprendre l'origine physique de l'évolution des performances en termes de capacité de ces disques optiques.

Partie 1 : La source laser d'émission :

2.5 points

Le compact disque laser (CD), inventé en 1982, est un dispositif éclairé par un laser d'une longueur d'onde λ de 780 nm. Ce laser est focalisé par une lentille de diamètre D et de focale f . En toute rigueur nous devrions considérer que le faisceau du laser est de forme gaussienne, mais pour simplifier les calculs, nous l'approximerons ici par une onde plane. Il sera donc possible d'utiliser les formules démontrées en cours.

P1.1) Comment s'appelle la forme caractéristique qui est obtenue au point de focalisation de la lentille ? 0.5 pt

La forme caractéristique obtenue au point de focalisation est appelée

P1.2) Donnez l'expression analytique du rayon r caractéristique de cette forme en fonction de λ , D et f . 0.5 pt

$r =$

expression littérale

En fait, le CD est constitué d'une couche de polycarbonate de 1.2 mm d'épaisseur qui recouvre une fine couche d'aluminium qui va réfléchir la lumière. Le laser qui va se focaliser sur la couche d'aluminium va donc traverser avant le polycarbonate d'indice $n = 1.55$ dont nous négligerons l'absorption. Nous négligerons aussi la réflexion au niveau de l'interface air-polycarbonate.

Il est nécessaire de corriger l'expression précédente pour tenir compte de l'indice du polycarbonate. Ainsi, par rapport à r , le rayon réel r_{CD} est divisé par n . Notons que la lentille dispose d'une ouverture numérique $NA = D / (2nf)$ valant 0.45.

P1.3) Donnez l'expression analytique du rayon r_{CD} caractéristique en fonction de λ et NA et calculez sa valeur numérique. 0.5 pt

$r_{CD} =$

expression littérale

valeur numérique

L'amélioration des sources optiques a permis de mettre en œuvre de nouveaux types de sources à différentes longueurs d'ondes et d'atteindre des ouvertures numériques plus élevées. Le DVD est ainsi caractérisé par une source travaillant à $\lambda = 650$ nm et une ouverture numérique de 0.65 alors que les lecteurs blu-ray utilisent une source à 405 nm avec une ouverture numérique désormais de 0.85.

P1.4) Quels sont les éléments qui contribuent à la réduction du rayon de la tâche obtenue après focalisation ? Calculez le facteur de réduction (ou multiplication) du rayon de la tâche pour le DVD et pour le disque blu-ray (nouveaux rayons respectivement r_{DVD} et r_{BR}). 1 pt

Les facteurs contribuant à réduire le rayon de la tâche sont :

facteur $r_{CD}/r_{DVD} =$

(valeur numérique)

facteur $r_{CD}/r_{BR} =$

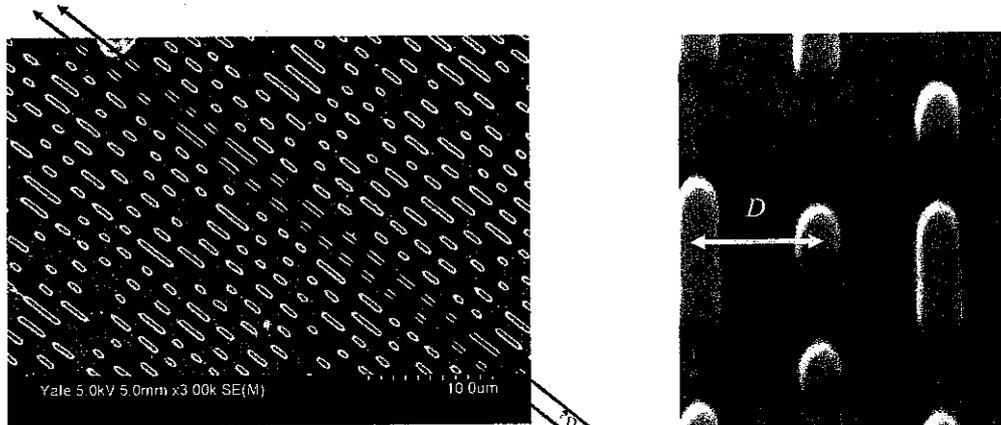
(valeur numérique)

6/11

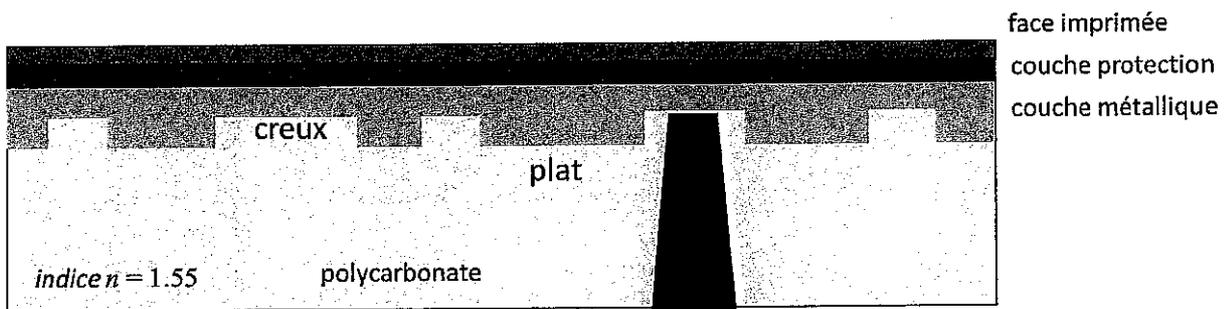
Partie 2 : La lecture de l'information :

4.5 points

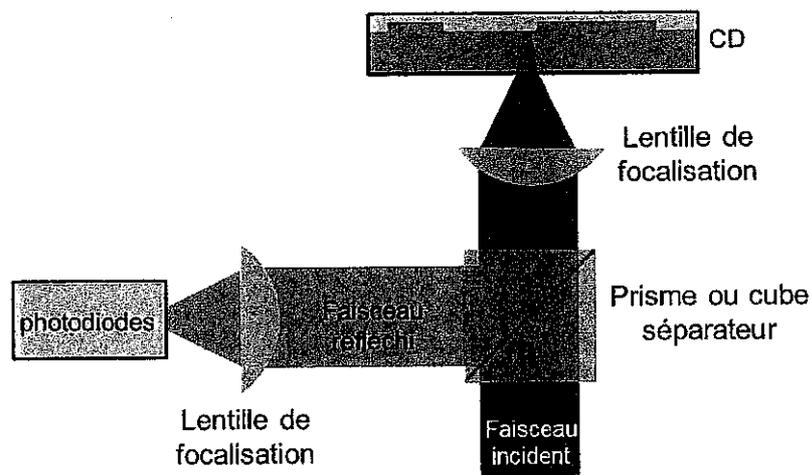
La surface du CD n'est pas plane et elle est en fait composée d'une succession de creux et de plats (respectivement pit et land en anglais) moulés dans le polycarbonate qui permettent d'encoder l'information. Si on regarde un CD à l'aide d'un microscope électronique, on constate que ces creux et plats sont alignés sur des pistes 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. Les creux ont une profondeur notée e .



Vue de la surface d'un CD au microscope électronique. Les différents sillons espacés de D sont clairement de même que les creux (en couleur claire) et les plats.



Vue en coupe d'un CD



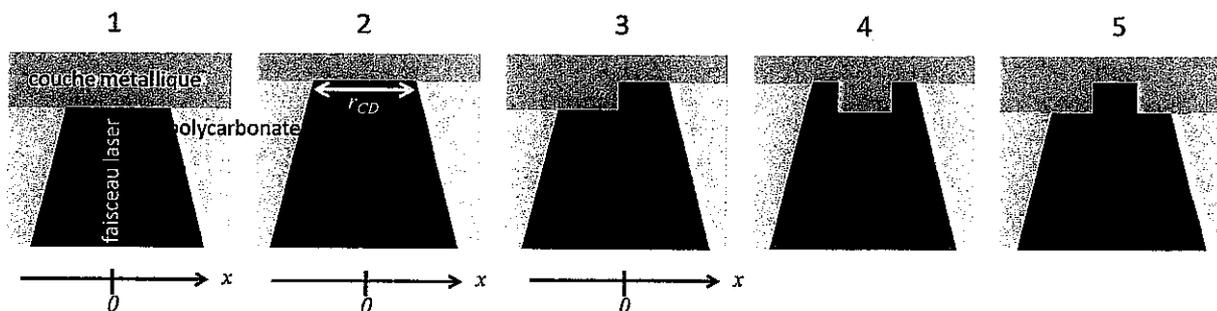
Dispositif de lecture du CD

Pour simplifier l'information, nous allons considérer que le faisceau venant l'information sur le CD peut être considéré comme une onde plane avec un rayon caractéristique r'_{CD} qui est la moitié du rayon r_{CD} précédemment établi : $r'_{CD} = r_{CD} / 2$.

Cette onde se réfléchit à sur la surface d'aluminium et la partie réfléchiée est détectée sur une photodiode.

7/11

Cinq situations pourraient alors être rencontrées par le faisceau incident :



P2.1) On souhaite que les situations 4 et 5 ne soient jamais rencontrées. Dans ce cas, quelle est la longueur minimale L , exprimée en fonction de r_{CD} que doit avoir un creux ou un plat ? 0.5 pt

$L_{min} =$

expression littérale

P2.2) Les situations 4 et 5 étant impossibles, nous nous concentrons uniquement sur les trois premières situations. Donner pour chacun des cas une fonction de transparence pupillaire $f(x)$ (considérée ici unidimensionnelle, suivant la direction x représentée figure ci-dessus) qui serait capable de modéliser le phénomène de réflexion et la dimension finie du rayon incident. On notera φ_{CD} le déphasage introduit entre un creux et un plat. $T(x)$ représente l'amplitude de $f(x)$ et $\varphi(x)$ sa phase. 1 pt

<p>$T(x)$</p> <p style="text-align: center;">0</p>	<p>$T(x)$</p> <p style="text-align: center;">0</p>	<p>$T(x)$</p> <p style="text-align: center;">0</p>
<p>$\varphi(x)$</p> <p style="text-align: center;">0</p>	<p>$\varphi(x)$</p> <p style="text-align: center;">0</p>	<p>$\varphi(x)$</p> <p style="text-align: center;">0</p>
CAS 1	CAS 2	CAS 3
$t(x) =$	$t(x) =$	$t(x) =$

Vous avez déjà en fait eu l'occasion de traiter la diffraction donnée par une fonction de transparence pupillaire similaire à celle trouvée dans la question P2.2 lors du second contrôle continu. Nous rappelons le résultat que vous avez alors sûrement réussi à démontrer : la figure d'interférence créée par un faisceau de largeur totale r_{CD} , et dont les deux parties du faisceau sont déphasées entre elles de φ_{CD} est :

$$I(u) \propto \text{sinc}^2(\pi u r_{CD}/2) \cos^2(\pi u r_{CD}/2 - \varphi_{CD}/2)$$

où u représente la coordonnée spatiale dans le plan d'observation à une constante multiplicative près.

La photodiode récupère l'intensité au centre de la figure d'interférence créée, i.e. en $u = 0$. Dans le cas 1, l'intensité est maximale et vaut $I_1 = I_0$.

8 / M

Partie 3 : Format et capacité :

1 points

P3.1) A la vue des informations données dans les parties 1 et 2, quelle va être l'influence d'un changement de longueur d'onde sur les paramètres physiques du disque optique. On pourra notamment discuter de l'influence sur la profondeur du creux e , la dimension minimale d'un creux ou plat L , et la distance inter-sillon D . 0.5 pt

P3.2) La capacité d'un DVD commercialisé en 1995 est de 4.7 Go alors que celle du Blu-Ray apparu en 2009 est de 25 Go. Compte-tenu des remarques de la questions précédente, essayer d'expliquer **qualitativement** le facteur d'augmentation de la capacité entre les deux lecteurs. 0.5 pt

Partie 4 : Diffraction par un disque optique :

3.5 points

On éclaire maintenant le CD par un faisceau laser rouge $\lambda = 632$ nm étendu si bien que large portion du CD est maintenant éclairée (et plus seulement un creux ou un seul plat). 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.

P4.1) Quelle est la dimension physique du CD qui va tenir le rôle de pas du réseau Λ ?

0.5 pt

$\Lambda =$

P4.2) Calculez les positions angulaires θ_1 et θ_2 de l'ordre 1 et 2.

0.5 pt

$\theta_1 =$	=
$\theta_2 =$	=
<small>expression littérale</small>	<small>valeur numérique</small>

10/11

P4.3) Combien d'ordres de diffraction pourraient en théorie être observés ?

0.5 pt

Nombre d'ordres de diffraction observables =

P4.4) On éclaire le CD maintenant avec de la lumière visible (je 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

P4.5) On remplace maintenant le CD par un DVD toujours éclairé par une lumière visible. Commentez le spectre diffracté obtenu (vous pouvez calculer de nouveau θ_{\min} et θ_{\max}).

0.5 pt

P4.6) Serait-il possible de traiter la diffraction obtenue par un DVD grâce au formalisme de Fourier ? Pourquoi ?

0.5 pt

P4.7) 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 ?

0.5 pt