

Activité expérimentale - Étude de disques optiques

Capacités développées ou évaluées lors de ce TP

- Mesurer par une méthode interférométrique l'épaisseur d'une couche
- Utiliser les propriétés des réseaux de diffraction pour mesurer une distance.

I) Informations utiles

1) Les différents disques

Les disques optiques sont actuellement très répandus et largement utilisés pour le stockage de données. Les versions ayant eu le plus de succès sont dans l'ordre chronologique le Compact Disc (CD) lancé en 1982, le Digital Versatile Disc (DVD) lancé en 1995 et le Blu-ray Disc (BD) lancé en 2003. Ce TP propose de déterminer expérimentalement l'épaisseur de la couche plastique servant à protéger la piste de données inscrites sur le disque.



Pour des raisons évidentes de compatibilité des lecteurs, les CD, DVD et Blu-ray possèdent les mêmes dimensions :

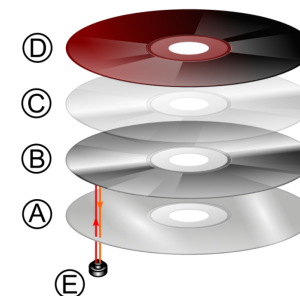
- diamètre intérieur : 15 mm
- diamètre extérieur : 120 mm
- épaisseur : 1,2 mm

Les trois technologies que sont le CD, le DVD et le Blu-ray reposent sur le même principe. Pour les disques dits « pressés » (ceux qui contiennent déjà une information, qui est non modifiable : musique, film, disque d'installation de logiciel...), on crée lors de la fabrication du disque une piste en spirale formée par une succession d'alvéoles microscopiques. Les alvéoles sont obtenues par une technique de pressage : on comprime une galette en plastique par une presse cylindrique dont la surface correspond au motif inversé de la piste (la galette est alors marquée par l'« empreinte » laissée par la presse). On dépose ensuite une très fine couche métallique pour que la piste puisse réfléchir la lumière.

2) Structure d'un disque

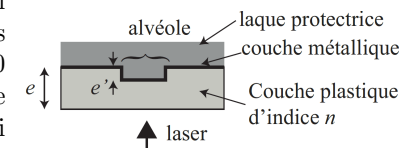
Les couches composant un disque compact sont :

- A. Couche de polycarbonate comportant l'information codée sous la forme de cavités.
- B. Couche réfléchissante.
- C. Couche de laque prévenant l'oxydation
- D. Étiquette imprimée sur le dessus du disque.
- E. Le rayon laser traverse les cavités, est réfléchi, puis est détecté par le lecteur



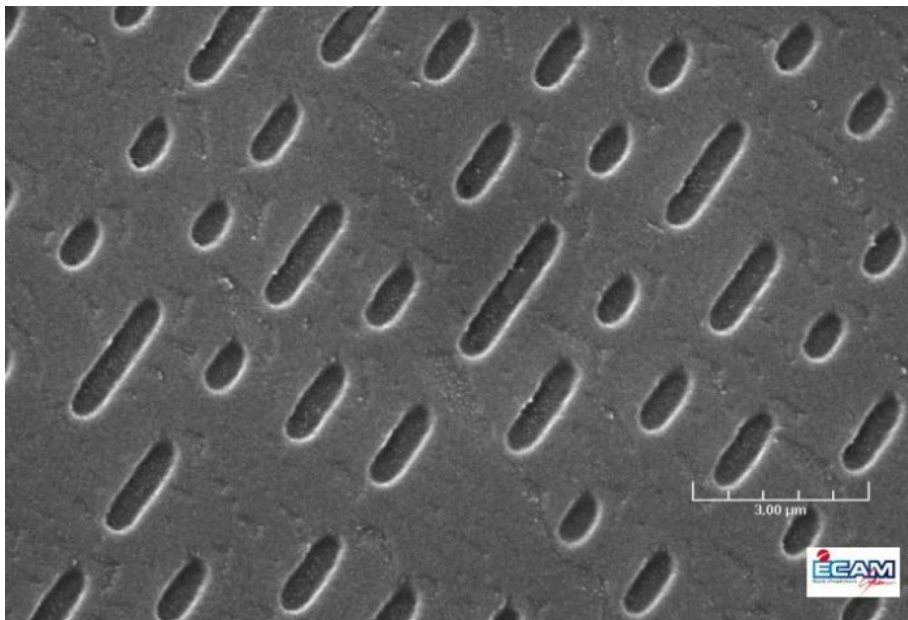
3) Codage des informations

L'enregistrement des données inscrites sur les disques est de type numérique : le signal est converti en série de *bits* 0 ou 1, mais les creux (alvéoles) et les bosses (absence d'alvéoles) ne représentent pas les 0 et les 1 des informations binaires. C'est le passage d'un creux à une bosse ou d'une bosse à un creux qui indique un 1 ; s'il n'y a pas de passage bosse-creux, il s'agit d'un 0.



Il est à noter que les alvéoles sont de très petites tailles : de l'ordre de $0,6 \mu\text{m}$ pour un CD, $0,4 \mu\text{m}$ pour un DVD et $0,2 \mu\text{m}$ pour un Blu-ray, ce qui a pour conséquence que la lumière réfléchie par celles-ci est fortement diffractée. Cependant, une part suffisante de la lumière repart dans la direction du faisceau incident afin que le système de lecture puisse lire correctement la piste. La profondeur e' des alvéoles est très petite devant e ($e' \sim 0,1 \mu\text{m}$).

Les trois technologies que sont le CD, le DVD et le Blu-Ray reposent sur le même principe : on crée sur le disque une piste en spirale sur laquelle on creuse des alvéoles. L'image ci-dessous, prise au microscope électronique, représente l'allure de ces alvéoles pour un CD. L'écart entre deux lignes consécutives d'alvéoles est de $1,6 \mu\text{m}$ pour un CD, de $0,74 \mu\text{m}$ pour un DVD et de 320 nm pour un Blu-ray.



Un CD est lu par une diode laser de longueur d'onde $\lambda = 780 \text{ nm}$. Lorsque le spot est centré sur une alvéole, uniquement une partie du faisceau est réfléchi par celle-ci.

II) Première expérience : écart entre deux lignes d'alvéoles

On se propose de mesurer le pas (noté a) du réseau, c'est-à-dire la distance entre deux lignes d'alvéoles.

Danger du LASER

Veillez à ne pas regarder directement le faisceau laser. L'épithélium pigmentaire de la rétine ainsi que la choroïde, qui tapissent le fond de l'œil, absorbent fortement les rayonnements incidents de lumière visible, un risque de brûlure peut apparaître pour une exposition forcée et prolongée avec les lasers utilisés.

Afin de traiter la totalité du TP, arrangez vous avec les autres groupes pour effectuer les mesures sur un autre type de disque optique que vous.



Manipulons...

- Placer le disque choisi sur le support de telle façon que le plan défini par le disque optique contienne l'axe de rotation du support.

- Pointer le laser rouge sur le disque optique de telle façon que le faisceau laser soit perpendiculaire à l'axe de rotation de la plateforme. Les traits du réseau (i.e. les lignes d'alvéoles) qui sont éclairés par le laser doivent être verticaux.
- Mesurer l'angle de déviation θ_1 de chaque ordre obtenu par réflexion, avec son incertitude-type (on détaillera sommairement comme celle-ci a été obtenue et on pourra utiliser le fichier `Incertitude_monte_carlo.py` fourni).

1. Que peut-on dire de la distance entre le disque et l'écran D par rapport à la distance a entre deux lignes d'alvéoles ?
Dans les conditions expérimentales, on supposera que les rayons qui interfèrent sont parallèles.
2. Effectuer un schéma de deux rayons issus de deux lignes d'alvéoles distants de a qui interfèrent (on rappelle que les rayons arrivent perpendiculairement au disque, et on notera θ l'angle entre la normale au disque et le rayon réfléchi).
3. Établir l'expression de la différence de chemin optique entre ces rayons en fonction de a et θ en admettant qu'ils interfèrent à l'infini. En déduire que les directions θ_k dans lesquelles on a interférence constructive entre tous les centres diffusants vérifient :

$$a \sin \theta_k = k\lambda \text{ avec } k \in \mathbb{Z}$$

On admet que ces directions sont celles dans lesquelles on observe de la lumière.

4. La valeur mesurée du pas pour votre disque est-elle compatible avec les informations fournies ? On utilisera le fichier `Incertitude_monte_carlo.py` fourni pour calculer l'incertitude sur le résultat final.
5. Est-il possible de mesurer par la méthode précédente la longueur minimale d'une alvéole ? Pourquoi ?
6. En supposant que l'espace nécessaire pour coder un bit entre deux technologies de disque optique est identique en largeur et en longueur, estimer la capacité de stockage d'un CD ou d'un DVD. Vous explicitez clairement les hypothèses simplificatrices effectuées pour ce calcul. Commenter vos résultats à l'aide des données ci-dessous.

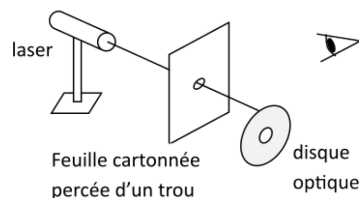
Données : Les capacités de stockage des disques utilisés dans ce TP sont les suivants :

- Pour le CD : 700 Mo
- Pour le DVD : 4,7 Go
- Pour le Blu-ray : 25 Go

III) Seconde expérience : mesure de l'épaisseur de polycarbonate

On s'intéresse maintenant à l'épaisseur de la couche transparente de polycarbonate, d'indice $n = 1,59$. On suppose que cette épaisseur est uniforme sur tout le disque.

On cherche à visualiser des anneaux d'égale inclinaison à l'aide de la diffusion de la lumière sur la surface réfléchissante du CD. On utilisera une feuille trouée par lequel le rayon du faisceau laser traverse.

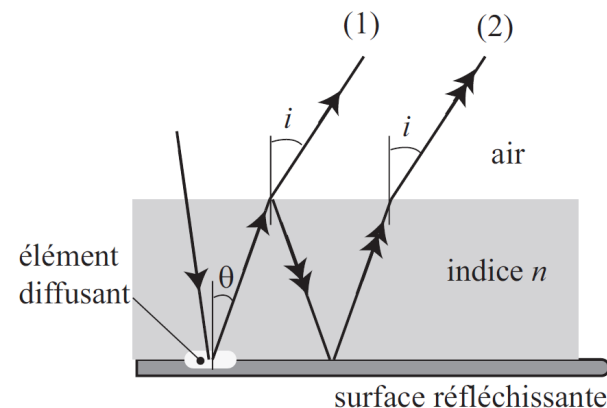


Manipulons...

- Placer la feuille et le disque optique sur les supports.
- S'arranger pour que le faisceau laser rouge soit réfléchi par le disque optique (réflexion dite « spéculaire ») reparte en direction du trou.
- translater le point d'impact au besoin afin de visualiser des anneaux sur la feuille cartonnée.

Dans la situation représentée sur la figure ci-contre, on isole un rayon lumineux issu d'un élément diffusant. On note θ l'angle de ce rayon par rapport à la normale à la surface réfléchissante. Lors de la traversée du dioptré air-polycarbonate, une partie de

l'énergie est transmise pour donner le rayon (1) et une partie est réfléchi et donnera le rayon (2). On notera i l'angle entre ces rayons et la normale au dioptré.



7. On admet que la différence de chemin optique entre 1 et 2 est donnée par $\delta = 2ne \cos \theta$. L'exprimer en fonction de n , e et i dans l'approximation des petits angles, puis justifier que la figure est constituée d'anneaux d'égale inclinaison.
8. En mesurant les rayons des différents anneaux, déterminer la valeur de l'épaisseur e de la couche plastique située avant la couche réfléchissante. On attend ici des arguments utilisant les résultats d'une régression linéaire et des incertitudes associées.
9. Qu'observerait-on si on éclairait le disque avec de la lumière blanche ? Justifier.

Compétences évaluées

Noms et prénoms du binôme :

—

—

Cette grille d'évaluation sert à vérifier que savez faire les étapes expérimentales importantes.

Compétence travaillée	Points
Réaliser un montage expérimental décrit	/1
Mesurer la valeur de la distance entre deux lignes d'alvéoles en exploitant la formule des réseaux	/3
Evaluer l'incertitude sur a à l'aide du programme	/2
Evaluer la capacité de stockage d'un disque	/2
Réaliser le montage de visualisation des anneaux	/1
Déterminer l'épaisseur de la couche	/1
Note finale	/10

Remarques :

Matériel

MP/MPI Vendredi 8h/12h P. Bertin

- Disques CD/DVD et le support adapté
- Laser rouge ou vert + support
- Feuille cartonnée percée d'un trou (pour observer les anneaux par réflexion).
- Règle (1m)