

Le principe de la lecture d'un disque optique (CD, DVD, BluRay...)

1. Présentation

Inventé en 1982 par les sociétés Sony et Philips, le CD (Compact Disc) est un disque optique de 12 cm de diamètre et de 1.2 mm d'épaisseur permettant de stocker des informations numériques.

Les CD audio et CD-ROM sont constitués de 4 couches

- un substrat en matière plastique (polycarbonate) pourvu de creux obtenus par pressage
- une fine pellicule métallique (or ou argent) constituant la couche réfléchissante
- une couche de laque acrylique anti-UV créant un film protecteur pour les données
- une couche en polymère servant de support aux informations imprimées

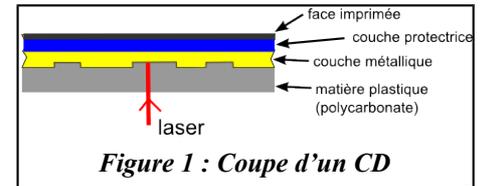
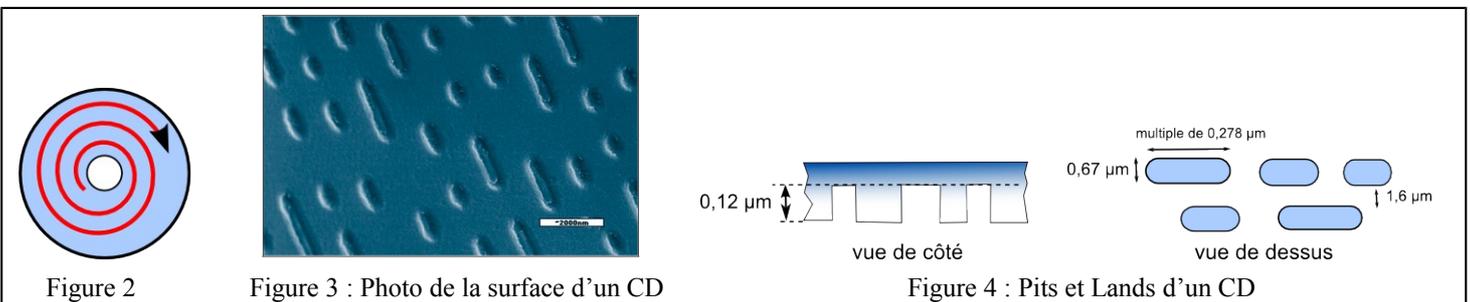


Figure 1 : Coupe d'un CD

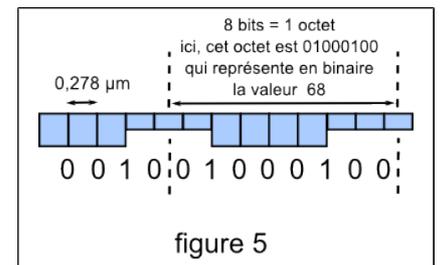
2. Le codage des données

Les données sont gravées sur une piste en forme de spirale qui fait près de 5 km de long, du centre vers l'extérieur. Il faut faire 22188 tours pour parcourir la totalité de la piste. (figure 2)

La piste physique est constituée d'alvéoles d'une profondeur de 0,12 μm, d'une largeur de 0,67 μm et de longueur variable. On nomme creux (en anglais **pit**) le fond de l'alvéole et on nomme plat (en anglais **land**) les espaces entre les alvéoles. (figure 3 et 4)



Pour coder des données numériques, il faut une série de 0 et de 1. On pourrait penser que les creux représentent les « 1 » et les plats les « 0 » (ou vice-versa) mais la réalité est plus complexe. Tous les creux et plats sont des « 0 » et c'est le passage d'un creux à un plat (ou l'inverse) qui représentera un « 1 ». (figure 5). En pratique, la cellule chargée de lire les données regarde l'état de la surface tous les 0,278 μm : s'il n'y a pas de transition, elle renvoie un « 0 », sinon elle renvoie un « 1 ». Toutes les 8 lectures (chaque lecture représente un bit), on obtient un octet qui contient l'information contenue sur le CD (texte, musique etc...). Un CD contient environ 700 Mbits. Cela correspond à 74 minutes de musique (voire 80 min sur certains CD)



3. Le principe de la lecture des données

Une diode laser émet un faisceau de longueur d'onde $\lambda = 780 \text{ nm}$ (figure 6). Ce faisceau traverse un miroir semi-réfléchissant et va frapper la surface du disque sur laquelle il se réfléchit. Le faisceau réfléchi étant relativement « large », ses différentes parties peuvent interférer entre elles. Si le faisceau incident a frappé un plat ou un creux, toutes les parties du faisceau réfléchi sont en phase : les interférences sont constructives. Si le faisceau a frappé un passage plat/creux, les différentes parties du faisceau réfléchi sont déphasées (car les parties correspondantes du faisceau incident auront parcouru une distance différente) : les interférences sont destructives (figure 7). L'onde réfléchie atteint ensuite un capteur de lumière (composé de 4 photodiodes). C'est ainsi que la cellule (chargée de convertir les creux/plat en « 0 » et « 1 ») a l'information « plat » ou « creux » (et ainsi interpréter les transitions creux/plat)

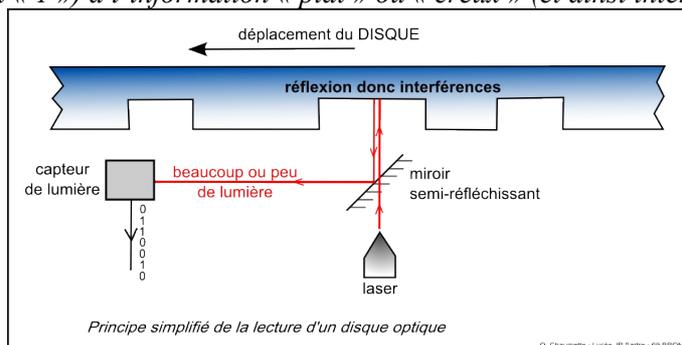


Figure 6

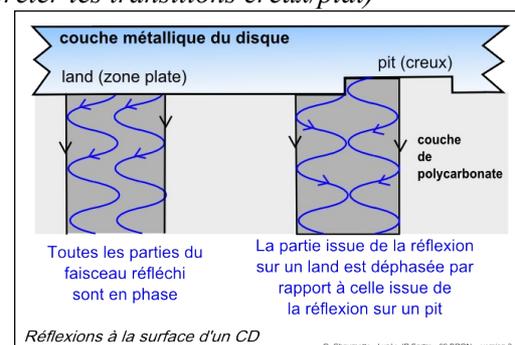


Figure 7

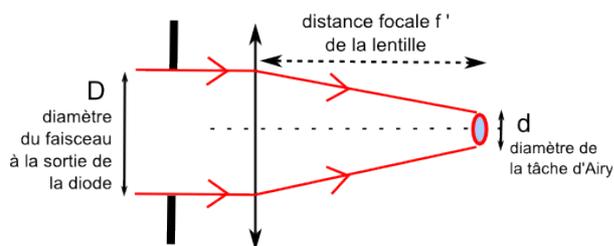
4. Le problème de la diffraction

Le bloc optique est constitué d'une diode laser suivie d'une lentille convergente qui a pour rôle de faire converger le faisceau laser. Les diamètres de la diode et de la lentille sont très faibles. Le faisceau subit donc une diffraction et l'image donnée par la lentille n'est pas un point mais une petite tache (appelée tache d'Airy). On montre que dans ce cas, le diamètre de la tache s'exprime :

$$d = \frac{1,22 \times \lambda}{NA}$$

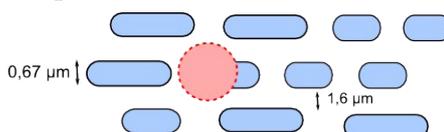
où NA (Numeric Aperture) est

l'ouverture numérique qui varie en fonction inverse de la distance focale f' de la lentille :



$$NA = \sin(\alpha) = \frac{\frac{D}{2}}{\sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + f'^2}}$$

La taille de cette tache limite le nombre d'informations que peut stocker un CD car il faut que la tache du laser ne lise qu'une piste à la fois (et ne déborde pas sur les pistes voisines).



3 pistes vues de dessus

Pour augmenter la capacité de stockage, c'est-à-dire augmenter le nombre de creux par disque, il faut modifier la longueur d'onde du laser et l'ouverture numérique du bloc optique. C'est ainsi que sont nés le DVD et plus récemment le Blu-ray...

Comparaison des différents supports optiques

Type de support	CD	DVD	HD-DVD	Blu-ray
Longueur d'onde	780 nm	658 nm	405 nm	405 nm
Ouverture numérique NA	0,45	0,65	0,65	0,85
Capacité	700 Mbits	4,7 Gbits	15 Gbits	23 Gbits
Distance entre pistes	1,6 micromètres	0,74 micromètres	0,32 micromètres	0,4 micromètres
Largeur faisceau				

Sources : Cours de Jean-Philippe Muller : www.louis-armand-mulhouse.eu/btsse/acrobat-cours/optiq.pdf Site : <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/audio/cd.html>
 Document de J. Michot (IUT de Tours, sous la direction de Mme Lorenceau et M. Besse) Schémas : O. Chaumette.
 Blu-ray : <http://www.generation-nt.com/blu-ray-technologie-presentation-guide-description-article-24851-1.html> Animation des défis du CEA : <http://www.cea.fr/var/cea/storage/static/fr/.../lecteurCD/animation.htm>

QUESTIONS

Le codage des données

- Déterminer une valeur approchée de la vitesse linéaire de lecture des creux en mètre par seconde.
- En déduire la vitesse de rotation en tours par minute (sachant que la vitesse angulaire en rad/s s'exprime : $w = V/R$, où R est le rayon du disque). Comparer aux « anciens » 45 tours ou 33 tours....

Le principe de la lecture des données

L'indice optique du polycarbonate est $n_p = 1,55$. Cet indice est lié à la célérité de la lumière V_p dans le polycarbonate par la formule : $n_p = c/V_p$ où c est la célérité de la lumière dans le vide ($c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$)

- Calculer la célérité V_p de la lumière dans le polycarbonate.
- Calculer la longueur d'onde λ_p du laser dans le polycarbonate sachant qu'elle est liée à la longueur d'onde λ du laser dans le vide par la formule : $\lambda_p = \lambda/n_p$
- Vérifier que la profondeur d'un « pit » est de l'ordre de $\lambda_p/4$.
- La réflexion sur un plat n'entraîne aucun déphasage au sein du rayon réfléchi. Montrer que lors de la réflexion du faisceau au passage plat/creux, il se crée un déphasage de $\lambda_p/2$ au sein du rayon réfléchi.
- Expliquer pourquoi il y a alors interférences destructives au niveau du passage plat/creux.
- Que se passe-t-il au niveau d'un creux ?

Le problème de la diffraction

- Calculer le diamètre de la tache due à la diffraction pour un CD.
- Montrer que, compte tenu des dimensions des pistes du CD, ce diamètre permet une lecture correcte.
- Faire le calcul pour un DVD sachant que la largeur d'un pit vaut 0,32 micromètres.
- Pour un DVD, quelle doit-être la profondeur d'un creux ?
- Expliquer les choix techniques faits pour un DVD, pour un Blu-ray. Justifier le nom de Blu-ray