

Epreuve Commune de TIPE : Partie D**TITRE : STOCKAGE OPTIQUE**

Temps de préparation :2h15

Temps de présentation devant le jury :10 minutes

Entretien avec le jury :10 minutes

GUIDE POUR LE CANDIDAT :

Le dossier ci-joint comporte au total : 12 pages

- Guide pour le candidat :1 page
- Document principal : 11 pages

Travail suggéré au candidat :

Après avoir brièvement décrit le fonctionnement d'un Compact Disque, le candidat pourra d'une part développer la technique de codage de l'information et expliquer ses avantages, et d'autre part expliquer la nécessité d'utiliser divers asservissements pour assurer la lecture du disque.

CONSEILS GENERAUX POUR LA PREPARATION DE L'EPREUVE :

* Lisez le dossier en entier dans un temps raisonnable.

* Réservez du temps pour préparer l'exposé devant le jury.

- Vous pouvez écrire sur le présent dossier, le surligner, le découper ... mais tout sera à remettre au jury en fin d'oral.
- En fin de préparation, rassemblez et ordonnez soigneusement TOUS les documents (transparents, etc.) dont vous comptez vous servir pendant l'oral, ainsi que le dossier, les transparents et les brouillons utilisés pendant la préparation. En entrant dans la salle d'oral, vous devez être prêts à débiter votre exposé.
- A la fin de l'oral, vous devez remettre au jury le présent dossier, les transparents et les brouillons utilisés pour cette partie de l'oral, ainsi que TOUS les transparents et autres documents présentés pendant votre prestation.

Introduction :

Le terme « stockage optique » sert à désigner une mémoire qui utilise la lumière aussi bien pour écrire que pour restituer de l'information. La photographie peut ainsi être
5 considérée comme le premier système de stockage optique datant de plus de 150 ans. Depuis, les microfiches ont permis de réduire la taille du support contenant l'information.

De nos jours, les besoins de stockage d'information en tout genre ne cessent de croître. Dans les entreprises ou les services publics la nécessité de conserver d'énormes quantités
10 de données de manière sécurisée et pérenne est cruciale. Cette tâche consomme une grande partie des budgets alloués à l'informatique et pose également le problème de la gestion de ces données (classement, recherche d'information, mise à jour, ...). De même chez les particuliers, la quantité de données à sauvegarder suit l'augmentation de taille des fichiers multimédia. On admet couramment que la capacité de stockage à coût constant double environ tous les 18 mois.
15 Cette croissance se rapproche ainsi de la loi de Moore énoncée pour le nombre de transistors dans les processeurs. En effet, Gordon Moore avait prédit, dès 1965 que la puissance des processeurs allait doubler tous les 2 ans. Cette loi empirique s'est avérée étonnement exacte depuis, puisque le doublement du nombre de transistors a lieu en moyenne tous les 1.96 ans.

20 Le stockage magnétique (bandes, cassettes audio, VHS, disque dur, ...) possède de nombreux avantages, mais il est limité en terme de densité d'information, essentiellement à cause de la taille des têtes de lecture. Le stockage optique permet de contourner ce problème en utilisant un faisceau laser à la place des têtes de lecture. Ceci permet d'obtenir une bien plus grande densité d'information (cf. figure 1).

25

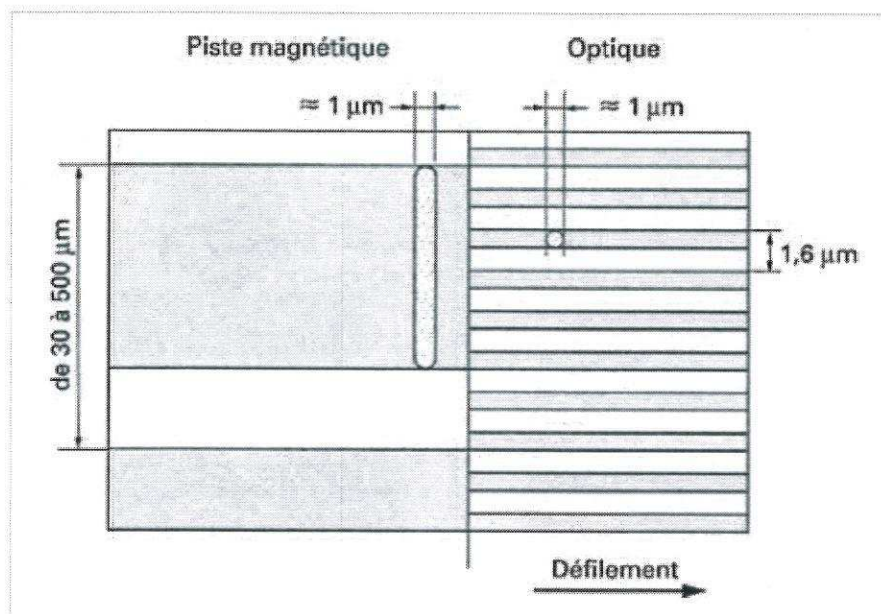
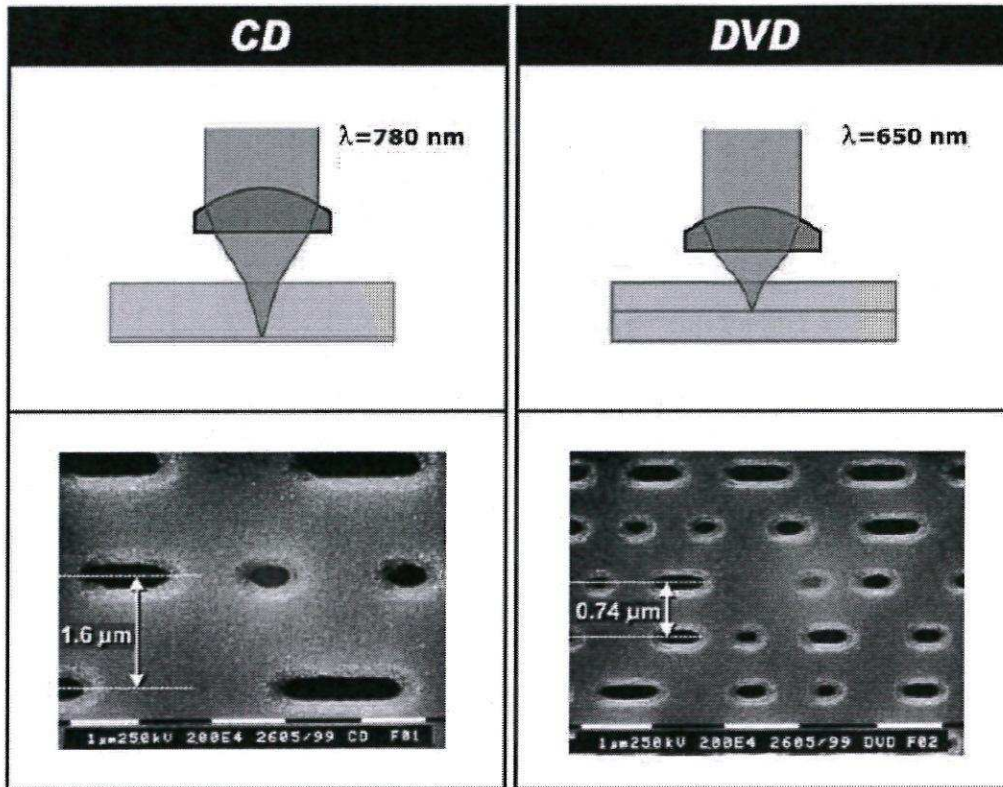


Figure 1 : Géométrie comparée d'un stockage magnétique (disque dur) et optique (CD)

30

Les premiers disques optiques apparus sur le marché à la fin des années 70 furent les vidéodisques. Bien que le succès commercial ne fût pas au rendez-vous, il a ouvert la voie au Compact Disque (CD) au début des années 80. Celui-ci réutilise en grande partie les innovations de Philips et Thomson lors du développement du vidéodisque. Le succès du CD est en grande partie dû au CD audio, qui a remplacé le disque vinyle et la cassette audio, et permis de passer de l'analogique au numérique. Son utilisation dans le domaine informatique ne s'est faite qu'à partir de 1985 avec l'apparition du CD-ROM. Ensuite les disques inscriptibles une fois (CD R) et réinscriptibles sont apparus (CD RW). Depuis, l'utilisation d'un laser de longueur d'onde plus courte (cf. figure 2) a permis d'augmenter la densité d'information stockée sur le disque avec l'apparition des DVD (Digital Versatile Disk). Les principes de stockage et de lecture de l'information sur le disque étant en grande partie similaires, nous allons développer plus particulièrement le cas du CD audio.

40



45

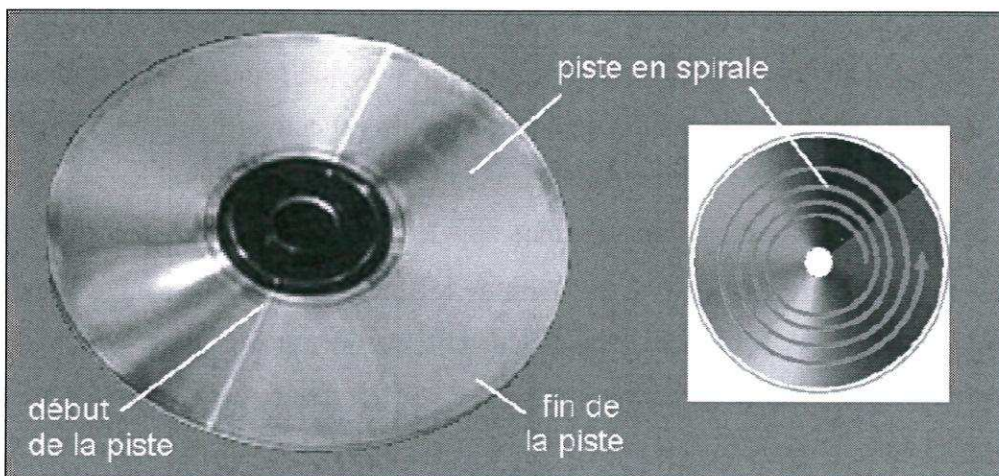
Figure 2 : Comparaison de la densité d'information entre un DVD et un CD

50 **Le CD Audio :**

Structure d'un CD :

55 Le CD audio est un disque optique de 12 cm de diamètre et de 1,2 mm d'épaisseur qui permet de stocker 74 mn de données audio. Son lancement commercial date de 1982 par Philips et Sony. Comme montré sur la figure 3, la piste optique est une spirale qui part du centre (contrairement aux disques vinyles), vers l'extérieur, et mesure près de 5 km de long (22188 tours). Le CD est constitué de 4 couches (cf. figure 4) :

- 60
- Un substrat en polycarbonate contenant les informations sous forme de bosses, obtenu par pressage. C'est l'ossature du disque.
 - Une fine pellicule métallique en alu, or, ou argent en fonction des modèles, qui constitue la couche réfléchissante.
 - Une laque anti-UV pour protéger les données.
- 65
- Une couche de polymère pour les informations imprimées.



70

Figure 3 : Piste optique d'un CD

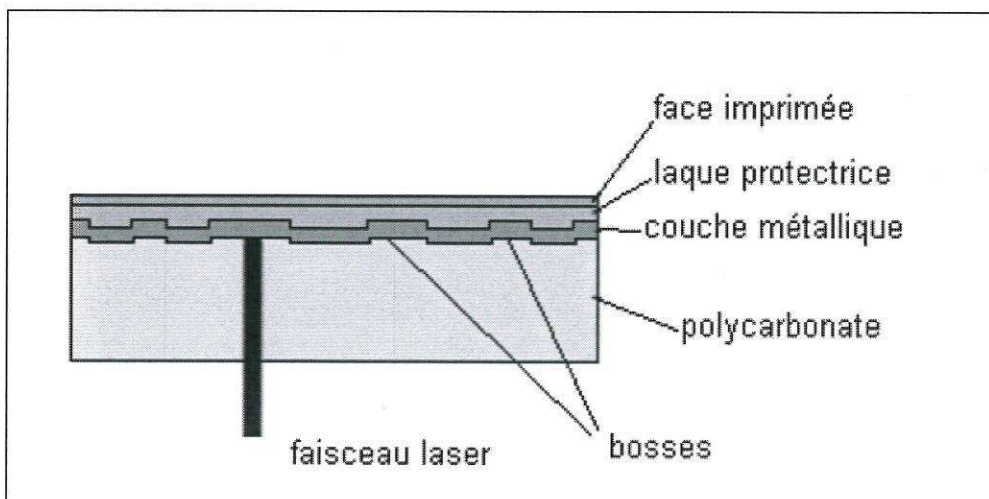


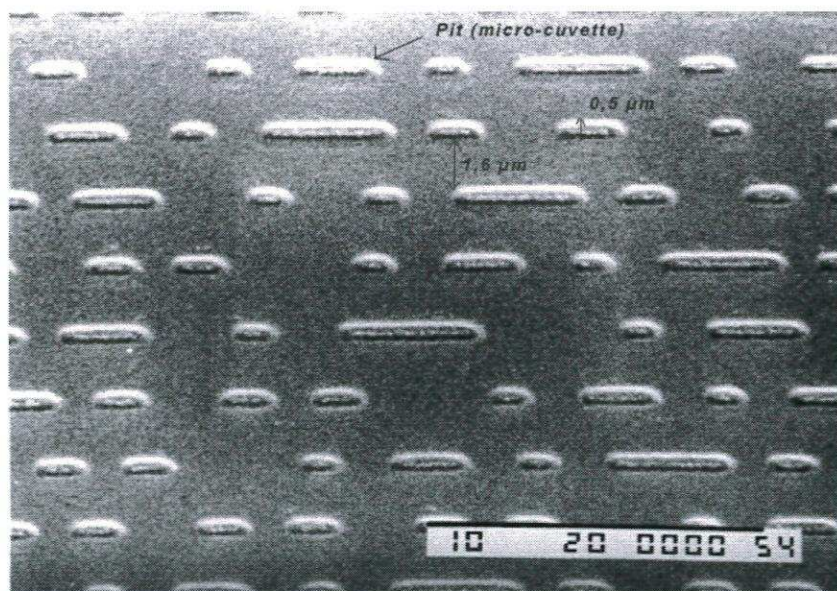
Figure 4 : Constitution d'un CD

75 Les creux permettant de coder l'information sur le support ont une profondeur de 0,12 μm et une largeur de 0,5 μm . Leur longueur varie entre 0,84 et 3,3 μm . Le pas de la piste (pas de la spirale) est de 1,6 μm comme le montre l'image obtenue par microscopie électronique à balayage de la figure 5. On pourrait penser que ces creux permettent de coder directement un bit d'information. En réalité il est plus facile de détecter des transitions qu'un simple niveau.

80 Ainsi, les « 1 » seront codés par un changement de niveau (passage d'un plat à un creux ou inversement). Les zones uniformes sans variation de niveau correspondent au contraire aux « 0 » (cf. figure 6). D'autre part, il est nécessaire de connaître la cadence de lecture de ces informations pour la contrôler. Ainsi, les cuvettes ou les plats ne doivent pas être trop courts ou absents. On utilise donc une redondance (plus de bit gravés que nécessaire) pour assurer cette

85 contrainte. En effet, chaque octet (8 bits) de données brutes est converti en un groupe de 14 bits assurant la présence d'au moins 2 « 0 » entre chaque « 1 ». La longueur minimale d'un creux est donc de 3 bits. De même, cette correspondance appelée Eight-to-Fourteen Modulation (EFM) assure que le maximum de 0 entre 2 « 1 » est limité à 10. Cette redondance augmente la masse de données à graver sur le CD mais on peut également remarquer que le nombre de « 1 » dans ce

90 nouveau code est plus faible que le nombre de « 0 ». Le nombre de creux à graver sera également plus faible.



95

Figure 5 : Constitution d'un CD

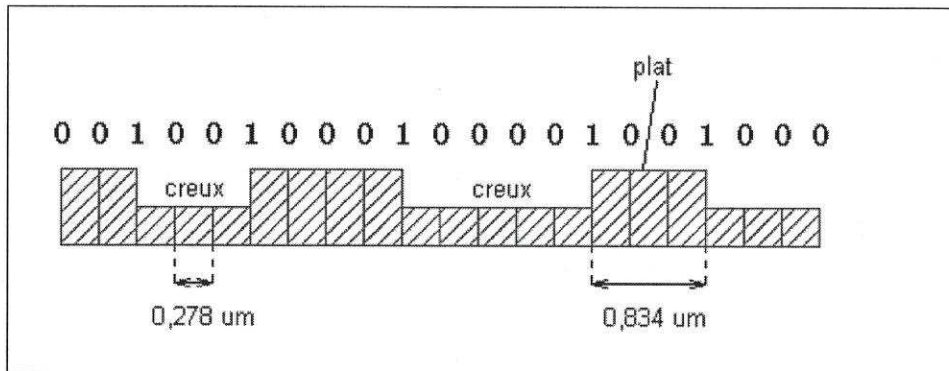


Figure 6 : Correspondance entre les creux et les données

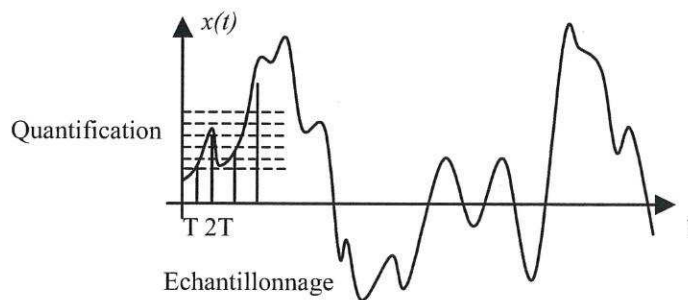
100

Codage du signal audio :

Comme nous venons de le voir précédemment, le CD audio est un support de stockage de données numériques (seuls 2 niveaux peuvent exister). Les 2 voies du signal audio stéréo à enregistrer sont quant à elles de nature analogique. Après conversion électrique par l'intermédiaire d'un microphone, le signal pourra prendre toutes les valeurs de tension entre 2 valeurs extrêmes. C'est un signal analogique (cf. figure 7). La numérisation de ce signal est la succession de 2 étapes :

- L'échantillonnage qui consiste à prélever un nombre fini de valeurs prises à intervalle de temps T régulier (0, T, 2T, ...)
- La quantification qui consiste à approximer chacune de ces valeurs par un code à N bits.

110



115

Figure 7 : Numérisation d'un signal analogique

Dans le cas du CD audio, la fréquence d'échantillonnage ($F=1/T$) est de 44100 Hz. On démontre (théorème de Shannon) que l'on peut restituer sans perte d'information tout signal dont la fréquence maximale est inférieure à la moitié de la fréquence d'échantillonnage. Dans le cas du CD audio, nous pouvons donc en théorie enregistrer des sons dont les fréquences sont au maximum égales à 22050 Hz. Cette valeur est en théorie largement suffisante puisque les fréquences audibles pour l'oreille humaine sont au maximum de 20 KHz. De plus, la chaîne de restitution de l'onde sonore (amplificateur, haut-parleurs) a en général une bande passante inférieure à 20KHz.

Le nombre de bits de quantification est quant à lui égal à 16. On a donc $2^{16} = 65536$ niveaux possibles entre les valeurs extrêmes de tension admissible (par exemple -5/+5 Volts).

Les avantages de stocker le signal audio sous forme numérique sont nombreux. Du fait de l'existence de seulement 2 niveaux prédéfinis (« 0 » ou « 1 »), on pourra dupliquer de manière exacte le signal. Cette opération ne pourra pas être qu'approchée dans le cas d'un signal analogique à cause des erreurs de lecture et d'écriture de la valeur à dupliquer. Pour cette même raison les données seront beaucoup plus robustes au bruit. En effet, les causes tendant à modifier la lecture d'une valeur (variation du faisceau laser, vibrations, variations de la distance de lecture, bruit électronique, poussière, ...) pourront être compensées en grande partie par l'opération de seuillage (cf. figure 8). Si le signal était analogique, ces erreurs ne pourraient pas être compensées.

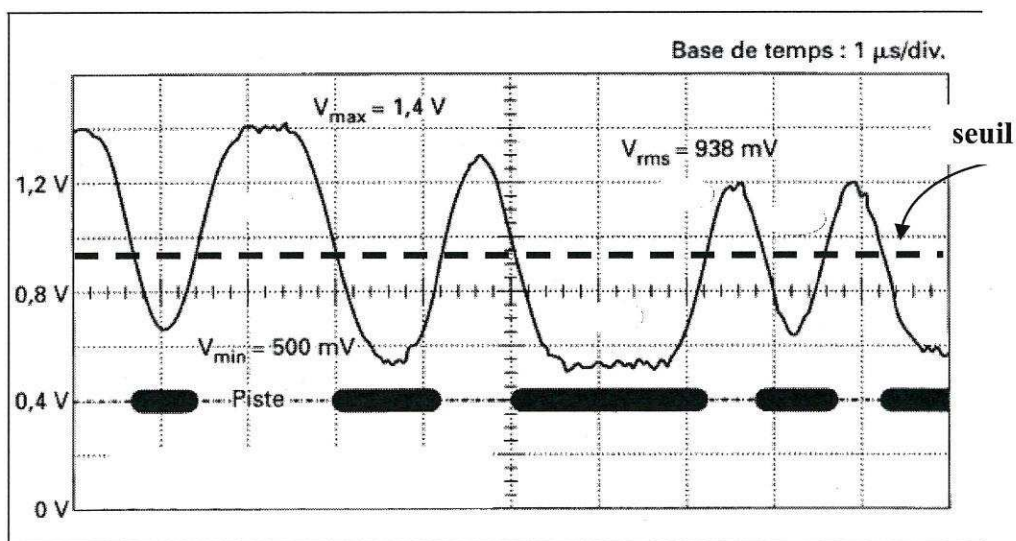


Figure 8 : Lecture du signal optique et détection

Cependant, malgré la robustesse naturelle du signal numérique aux perturbations de toutes sortes (rayures, traces, ...), il peut persister des erreurs de lecture. Pour améliorer la robustesse du signal, on ajoute un certain nombre de bits qui vont permettre de détecter et éventuellement corriger les erreurs de lecture. Pour atteindre ce but, on va regrouper les bits en paquets et rajouter des bits redondants de manière à ce que chaque paquet de bits soit le plus différent possible des autres. Ainsi si une erreur se glisse dans le paquet lors de la lecture, le paquet erroné ne correspondra à aucun paquet possible et l'erreur pourra être détectée et éventuellement corrigée. C'est que l'on fait de manière intuitive en aéronautique pour s'identifier lorsque les lettres sont remplacées par des noms. De cette manière la transmission de « ATC » qui pourrait être sujette à des erreurs de transmission par la radio est transformée en « Alpha Tango Charlie » qui est beaucoup plus robuste. Les données binaires ainsi protégées sont ensuite transformées par la correspondance EFM déjà vue plus haut avant d'être gravées.

150

Lecture des données :

La lecture des données s'effectue grâce à un spot laser infrarouge ($\lambda = 780 \text{ nm}$) focalisé par l'intermédiaire d'un système optique. Le faisceau laser se réfléchit aussi bien sur les plats que sur les creux, mais la profondeur de ces derniers entraîne un déphasage supplémentaire de l'onde d'une demi longueur d'onde. L'onde réfléchie dans un creux sera donc en opposition de phase avec l'onde réfléchie sur un plat comme indiqué par la figure 9. On voit donc apparaître la nécessité d'utiliser une onde cohérente et monochromatique.

En réalité la tache de diffraction à la surface du disque possède un diamètre d'environ $1,5 \mu\text{m}$. (comme indique figure 2) à comparer aux $0,5$ de la largeur de la piste. Le coefficient de réflexion résultant est une somme d'ondes dont une partie plus ou moins grande est en opposition de phase. Ainsi, le coefficient de réflexion varie de $0,9$ si le spot tombe sur une zone plane à $0,5$ environ si celui-ci tombe sur un creux.

165

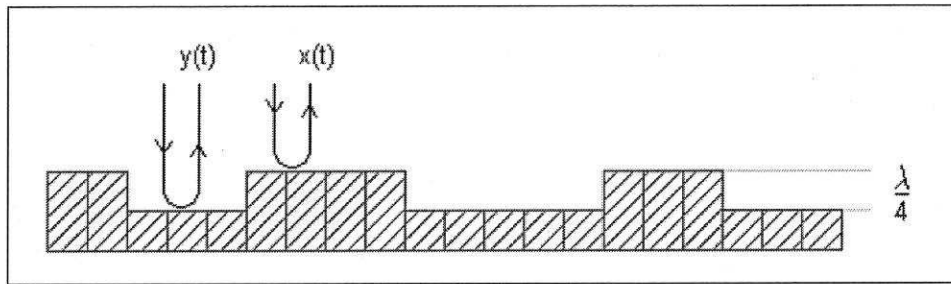


Figure 9 : Réflexion du Laser sur le disque

170

Comme indiqué sur la figure 10, le dispositif de lecture est composé d'une diode laser, d'un miroir semi-réfléchissant, d'une lentille de focalisation, d'une photodiode composée de 6 cellules de réception et de 2 moteurs (l'un permet de mettre en rotation le disque, l'autre permet de déplacer la tête de lecture sur un diamètre du disque).

175

La précision sur le positionnement du spot laser nécessaire (quelques dixièmes de μm) n'est pas compatible avec les caractéristiques géométriques du disque. En effet, les caractéristiques de centrage et d'ellipticité du disque seraient alors trop contraignantes pour un produit grand public. Pour atteindre une telle précision, un asservissement en position du spot sur la piste est nécessaire. De même, il est nécessaire d'effectuer un asservissement sur la taille de la tache focale, qui est liée à la distance de la tête de lecture par rapport au disque.

180

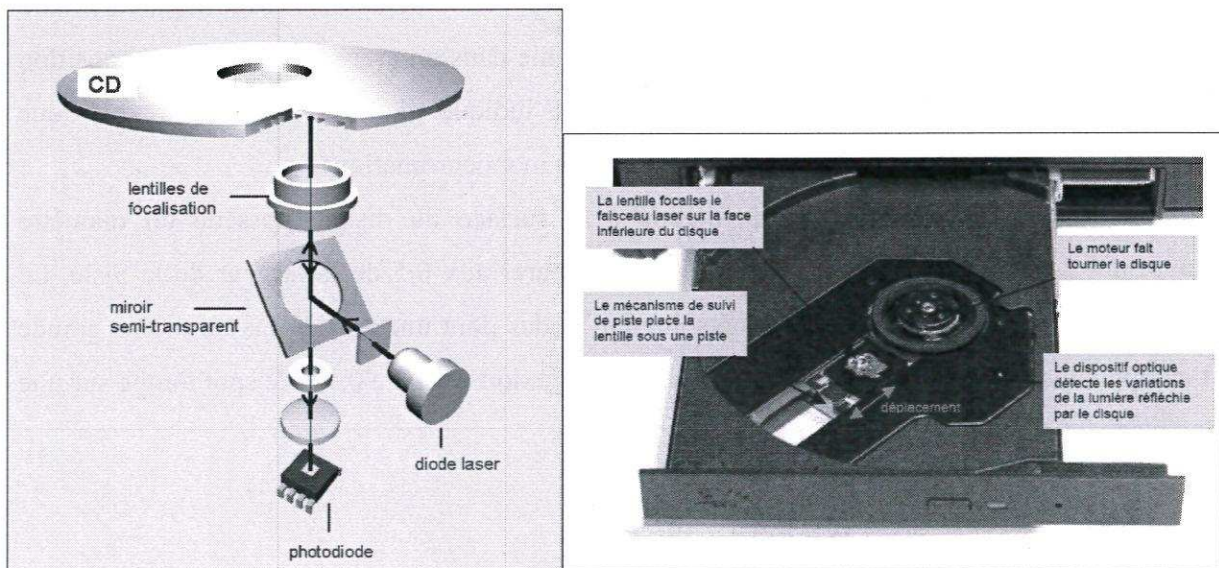


Figure 10 : Dispositif de lecture optique

185 L'asservissement sur la taille de la tache focale est effectué par l'intermédiaire d'une bobine se déplaçant dans un champ magnétique créé par un aimant permanent, à l'image du fonctionnement d'un haut parleur. La détection d'une erreur de focalisation s'effectue par l'intermédiaire d'une lentille astigmatique qui va déformer le spot réfléchi sur la photodiode. Ainsi, comme le montre la figure 11, si le disque est trop proche ou trop loin, la tache sur la photodiode devient elliptique. En mesurant la différence des énergies reçues par les capteurs A et D d'une part et B et C d'autre part, on peut estimer l'écart par rapport à la distance optimale du disque. Ce contrôle doit être très rapide de manière à contrer les oscillations parasites du disque dues à sa rotation.

195 L'asservissement de positionnement du spot sur la piste de lecture est rendu possible par l'exploitation de 2 spots laser complémentaires E et F qui balayent le disque de manière décalé par rapport au spot principal (cf. figure 12). Ces spots secondaires sont obtenus par l'utilisation d'un réseau diffracteur qui permet de séparer le faisceau principal en 3. Ainsi si le spot principal s'éloigne de l'axe de la piste, l'un des spots secondaires va empiéter sur la piste suivante et son intensité va alors baisser. Pour que le spot principal soit centré, il faut que les 2 taches secondaires donnent la même tension (cf. figure 13).

200

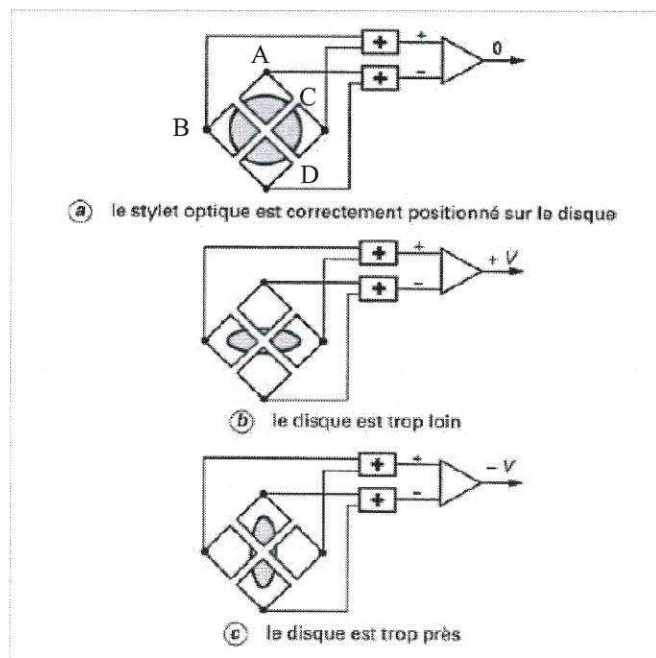


Figure 11 : Asservissement de focalisation

205

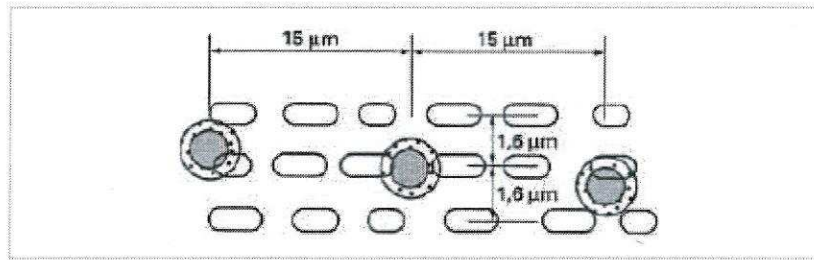
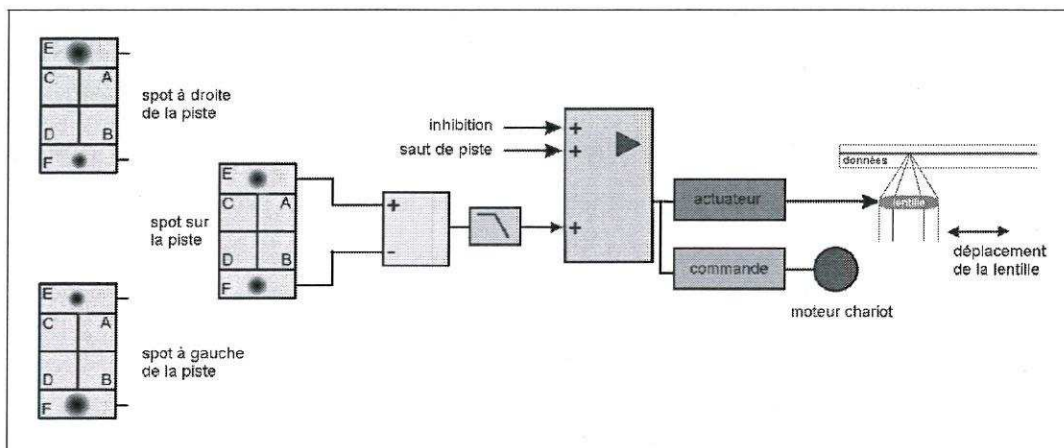


Figure 12 : Senseurs optiques secondaires



210

Figure 13 : Asservissement de suivi de piste

215 Il existe enfin un troisième asservissement sur la vitesse de rotation du disque. Celle-ci assure un débit de données constant. La vitesse angulaire de rotation du disque n'est donc pas constante au cours de la lecture.

220

Conclusion :

225

Nous venons de voir comment sont stockés les signaux audio sur les compacts disques. Bien entendu cette technique se généralise au stockage de données directement numériques (CD ROM). Le stockage sous forme numérique assure une grande fiabilité et une grande pérennité aux données. L'optique a permis de réduire considérablement la taille des informations élémentaires stockées sur un support par rapport à un dispositif mécanique. La course à cette densification des données passe par l'utilisation de faisceaux à longueur d'onde réduite. Ainsi le DVD utilise une longueur d'onde plus courte ($\lambda = 650 \text{ nm}$) dans le rouge et permet ainsi d'atteindre une capacité de stockage jusqu'à 17 Go (contre 650 Mo pour le CD). Il peut donc être utilisé pour stocker des informations vidéo de plusieurs heures très gourmandes en taille mémoire. Récemment, l'apparition de diodes laser bleues ($\lambda = 405 \text{ nm}$) ont permis de diminuer encore la finesse du gravage sur le disque pour arriver à un pas entre 2 pistes de $0.3 \mu\text{m}$. La densité d'information et ainsi la capacité de ces nouveaux supports optiques (Blu-Ray) est multipliée par 5 par rapport au DVD. La solution pour augmenter encore la capacité de stockage de ces disques passe par l'exploitation d'une dimension supplémentaire par rapport aux simples gravages 2D vus précédemment ; c'est le stockage holographique ou HVD (Holographic Versatile Disk). L'utilisation de 2 lasers (un de référence et un de données) permet par interférence de graver l'information de phase sur le support et ainsi ajouter une 3^{ième} dimension au support. Cette technique, toujours au stade expérimental permet de stocker directement une série de bits (jusqu'à plusieurs milliers) à chaque position sur le support. Pour relire ces données, il suffit d'utiliser le laser de référence et éclairer une position sur le disque pour obtenir la série de bits gravés. Ainsi les vitesses de transfert sont augmentées en même temps que la capacité du disque (jusqu'à 3 To).

230

235

240

245

