

ÉPREUVE COMMUNE DE TIPE 2009 - PARTIE D

TITRE : Stockage des informations sur support optique

Temps de préparation :2 h 15 minutes

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 : 13 pages

- Guide pour le candidat: 1 page non numérotée
- Document principal : 11 pages
- Glossaire : 2 pages

Travail **suggéré** au candidat :

Le candidat pourra, s'il le souhaite, organiser son exposé selon l'une des suggestions suivantes:

- A partir de la synthèse du document, proposer un schéma fonctionnel d'un lecteur CD en faisant apparaître notamment, et en les commentant, les interactions entre les différents sous-ensembles qui n'apparaissent pas explicitement dans le dossier.

Ou

- Après avoir synthétisé et organisé le document en présentant les principes utilisés dans les différentes disciplines, détailler plus précisément, à partir de ses propres connaissances, les aspects généraux du document sur **l'un des** points suivants:
 - Les procédés de fabrication des CD (précision sur les techniques utilisées, principe de mise en œuvre...)
 - Les différents asservissements de la tête de lecture (proposition de mise en œuvre: type de moteur, actionneurs, etc..)
 - La partie conversion et codage du son (justifier les valeurs numériques données [fréquences, débits, dimensions des reliefs], mise en œuvre, etc...)

CONSEILS GÉNÉRAUX POUR LA PRÉPARATION DE L'ÉPREUVE :

* 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.

1. Introduction

1.1. Préambule : de l'argile au cédérom, le texte se libère de son support originel

Argile en Mésopotamie, **papyrus** en Égypte, bambou en Chine... les premiers scribes ont emprunté à leur environnement immédiat le matériau le plus propice à recevoir leurs écrits.

5 Si les inscriptions dans la pierre sont retrouvées quasiment partout et attestent souvent des premiers signes d'écriture, chaque peuple a enregistré sa mémoire dans une matière spécifique plus commode, étroitement liée à son écriture. En retour, le matériau intervient sur le geste, l'outil, la graphie.

10 La forme, elle aussi, exerce une action : dans les végétaux, les minces et longues lames de bambou, premiers supports de l'écriture chinoise, auraient influencé la disposition en colonnes des signes, de même que la forme de la feuille de palmier a déterminé le format oblong des livres indiens.

15 Le passage d'un matériau à l'autre s'opère lentement et différemment selon les civilisations : au début de notre ère, les Chinois utilisent déjà le papier, alors que le **parchemin** commence à apparaître au Moyen-Orient et en Occident, et que le papyrus est encore employé sur tout le pourtour méditerranéen.

20 La plupart du temps, l'évolution se produit sous le coup de contraintes économiques et pratiques : le parchemin fabriqué presque partout supplante le papyrus qu'il faut importer d'Égypte, le **codex** remplace le **volumen** qui contient beaucoup moins de texte. Le support s'adapte ainsi progressivement à une diffusion de plus en plus large ; avec le papier qui permet l'essor de l'imprimerie, il atteint l'universalité : le texte, libéré, est reproduit à de multiples exemplaires.

Aujourd'hui, c'est sous la forme d'un code que le texte est gravé sur cédérom et sa lecture nécessite l'intermédiaire d'une machine ; mais les potentialités d'une diffusion illimitée du « livre numérique », l'immense gain de place qu'il représente et ses perspectives de conservation en font un sérieux concurrent du "livre-papier".

25 Ces passages sont extraits de l'exposition « L'aventure des écritures, matières et formes » qui a eu lieu à la Bibliothèque Nationale de France en 1999.

1.2. Les supports informatiques

30 La révolution informationnelle que nous vivons depuis deux décennies a été rendue possible par les importants progrès réalisés dans les domaines de l'informatique et des communications depuis le milieu du 20ème siècle. Dans le domaine de l'informatique, la formidable croissance des capacités de traitement des ordinateurs est indissociable des progrès réalisés en terme de capacité de stockage de l'information. Sans entrer dans l'historique des supports informatiques, retenons que différentes

classifications sont possibles, selon les critères que l'on souhaite privilégier (capacité, portabilité, fiabilité, technologie, etc...). Nous nous intéressons dans ce dossier, aux supports optiques grand public que sont les CD (de l'anglais *Compact Disc*) et DVD (*Digital Video Disc* puis *Digital Versatil Disc*). Ils sont chronologiquement, en terme de stockage amovible de l'information, les successeurs de la carte perforée, du ruban perforé, de la bande magnétique et enfin de la disquette. Longtemps sans concurrence en terme de rapport capacité/encombrement/coût, ils sont partiellement concurrencés par des technologies électroniques (**mémoires flash**), mais restent intéressants pour un stockage de l'information à moyen terme.

2. Principes généraux des CD-DVD

2.1. Historique

L'origine du CD remonte indirectement aux années 50, lorsque la firme Philips lança ses chercheurs sur la piste d'un nouveau procédé d'enregistrement sonore, susceptible de s'affranchir des défauts rédhibitoires des techniques de l'époque. Se concurrençaient alors les procédés mécaniques (le disque vinyle, hérité des disques 78 tours et des rouleaux, mais dont le principe était resté le même et qui souffrait d'usure progressive), et les supports magnétiques, bandes et cassettes, de conservation aléatoire en fonction des champs magnétiques ambiants qui étaient réputés mécaniquement fragiles.

Plus tard, grâce au laser, dont le coût de production commençait tout juste à se démocratiser, Philips entrevit la possibilité de graver les données sur un support sans aucun contact, et de les lire par un procédé identique. Ainsi naquit le concept du disque optique. Les premiers prototypes présentés mesuraient 115 mm de diamètre et étaient codés sous 14 bits, ce qui assurait une durée d'enregistrement sonore de 60 minutes. Le modèle définitif passa à 74 minutes en augmentant le diamètre à 120 mm et le codage à 16 bits, sans que l'on n'en connaisse avec certitude les raisons.

Notons au passage que le premier disque optique grand public commercialisé fût le **laserdisc** (ou vidéodisque), conçu par Philips qui ne connu jamais le succès escompté. D'un point de vue optique, le CD est cependant très proche du laserdisc.

Le 17 août 1982, le premier Disque Compact destiné au public est enfin pressé à Langenhagen (Allemagne) et le 1^{er} octobre la première platine est vendue au Japon. Ce produit est l'aboutissement d'une coopération entre Philips, Sony et Hitachi. Le prix du matériel restant très élevé pour l'époque, le nouveau procédé recueille dans un premier temps la faveur des mélomanes et amateurs de musique classique avertis et... fortunés! Philips ne produit dans un premier temps qu'une collection de 200 titres.

Une autre invention contribuera définitivement à la démocratisation du CD. Alors que les premiers lecteurs étaient équipés de lasers He-Ne fragiles et coûteux, l'arrivée des diodes laser, au

poids insignifiant et à la consommation réduite, mais surtout bon marché, permettra la production de masse destinée à un large public. Dès 1986 les platines laser se vendaient mieux que les platines vinyle, et deux ans plus tard, la vente des CD dépassait les vieux supports.

70 La qualité de restitution du CD convaincra rapidement les amateurs de musique, en révélant des sons qu'une dynamique réduite rendait autrefois inaudibles, mais aussi par l'absence de bruits parasites et de tout phénomène d'usure.

Le CD donnera naissance à de nombreux dérivés, notamment pour l'informatique ou la vidéo qui seront mentionnés dans les prochaines sections.

2.2. Principe

75 La technique du disque compact repose sur une méthode optique : un faisceau de lumière cohérente (laser) vient frapper le disque en rotation. On utilise une diode laser de longueur d'onde 780 nm et d'ouverture numérique de 0,45. Les irrégularités (cavités) dans la surface réfléchissante de celui-ci produisent des variations binaires du faisceau réfléchi qui sont détectées par un capteur (photo-diode). Dans le cas du CD audio, l'information binaire ainsi recueillie est ensuite transformée
80 en un signal analogique par un convertisseur analogique-numérique.

2.2.1. Numérisation

Le signal audio est numérisé sur 16 bits par voie (droite et gauche). La numérisation consiste, dans la norme du CD audio, à mesurer le signal 44 100 fois par seconde et à coder cette valeur en binaire sur des mots de 16 bits par voie.

85 Les 16 bits permettent de distinguer $2^{16} = 65\,536$ niveaux différents. Le **rapport signal sur bruit** théorique dû au bruit de **quantification** (i.e. l'erreur liée à la quantification) est donné par l'expression $S/B = (6,02n + 1,76)$ en dB. Soit 98 dB pour 16 bits.

Le débit audio du CD est donc de $44,1 \text{ kHz} * 16 \text{ bits} * 2 \text{ canaux} = 1,41 \text{ Mbit/s}$.

2.2.2. Composition

90 Le CD est composé d'un plateau de **polycarbonate** de 1,2 millimètre d'épaisseur (en moyenne), recouvert d'une fine couche d'aluminium (ce métal a remplacé l'or des premières versions), protégée par une couche de laque.

Dans cette surface métallique sont gravées une multitude d'alvéoles formant une piste en spirale, et qui constituent l'enregistrement proprement dit. Chaque alvéole mesure environ $0,8\mu\text{m}$ de large
95 pour une longueur comprise entre $0,9\mu\text{m}$ et $3,3\mu\text{m}$ (figure 1). Les sillons sont séparés d'environ $1,6\mu\text{m}$. Contrairement à un disque vinyle, la lecture commence par le centre, ce qui permet de varier diamètre (mini-CD) et longueur d'enregistrement.

2.2.3. Lecture optique

Les bits d'information ne sont cependant pas matérialisés par les trous et les plateaux comme on le croit généralement. Sur un CD audio, la photo-diode réceptrice détecte en réalité les transitions entre les trous et les plateaux à la surface du CD. Chaque transition détectée représente un niveau logique « 1 » alors que l'absence de passage représente un ou plusieurs « 0 » selon la distance entre deux transitions.

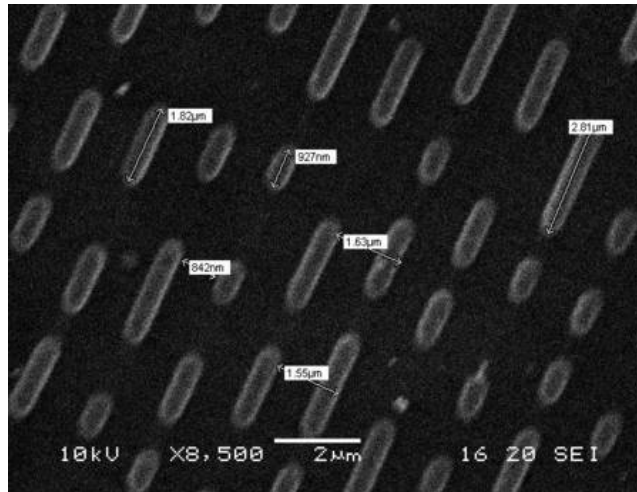


Figure 1: Surface gravée d'un CD vue au microscope électronique

2.3. Évolutions

Le CD-Audio a donné lieu à de nombreux dérivés, surtout dans le domaine informatique. Le premier de cette large gamme est le CD-ROM. Il s'agit d'un CD utilisé non plus pour stocker de la musique, mais des données numériques quelconques (logiciels informatiques, images, textes, etc...), donc d'une mémoire morte (**ROM**). De nombreuses années plus tard, en 1988, apparaît le CD-R qui est un CD enregistrable une seule fois. Encore plus tard, apparaît le CD-RW, qui est un CD ré-inscriptible. Notons que pour les CD-R et CD-RW, le principe mis en œuvre dans la lecture des données est très légèrement différent. Nous y reviendrons dans la section correspondante.

2.4. Fonctionnement

2.4.1. Tête de lecture

Le rôle de la tête de lecture est de récupérer les informations binaires présentes sur le disque sous forme de trous et de plateaux.

Comme précédemment mentionné, ces trous et ces plateaux ne correspondent pas directement aux « 0 » et aux « 1 ». Une telle solution, théoriquement relativement simple, serait difficile à mettre en œuvre car elle nécessiterait de mesurer la variation de distance entre la source laser et la surface du

120 disque avec une grande précision. On utilise donc un laser dont le faisceau est focalisé sur la surface du disque (Figure 2). Un détecteur permet de mesurer la quantité de lumière réfléchi par le disque.

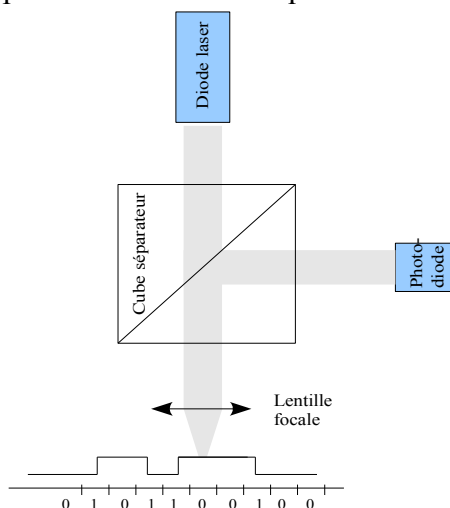


Figure 2: Dispositif simplifié de lecture d'un CD

125 Si le faisceau rencontre un plateau ou le fond d'un trou, la totalité de la lumière est réfléchi et par conséquent le signal détecté est maximal (figure 3). Au passage d'un plateau vers un trou (ou vice versa), une partie du faisceau rencontre le plateau et l'autre partie le fond du trou. Il s'introduit donc une différence de marche entre les deux parties du faisceau. Soit δz la profondeur des trous, si δz est judicieusement choisie, les deux parties du faisceau interfèrent destructivement, réduisant ainsi fortement le signal détecté en retour par le lecteur.

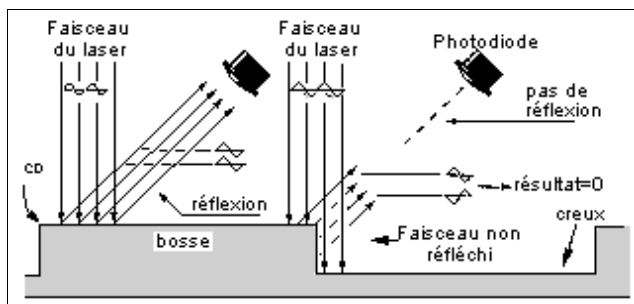


Figure 3: illustration du principe de lecture d'un CD audio.

130 2.4.2. Asservissement de la tête de lecture

Le schéma simplifié de la partie mécanique de la tête de lecture est présenté à la figure 4.

Le mouvement relatif à la tête de lecture et de la piste est décomposé suivant trois axes:

- L'axe tangentiel qui correspond au mouvement circulaire du disque. Ce mouvement se décompose en un mouvement permanent d'entraînement à 1,2m/s, auquel se superposent des oscillations de vitesse provoquées par l'inertie lors d'un changement de régime.

135

- L'axe radial qui correspond au déplacement de la tête vers l'extérieur du disque. Ce mouvement lent est composé du déplacement théorique (quelques centimètres à l'heure) et d'un mouvement plus rapide pour compenser l'excentricité du disque.
- L'axe vertical qui correspond au déplacement relatif tête/disque provoqué par le voilage et la courbure du disque. Le voilage donne une variation de distance tête/disque à la fréquence de rotation (200 à 500 tr/min sur un CD audio), alors que la variation de distance liée à la courbure a une période d'une heure.

140

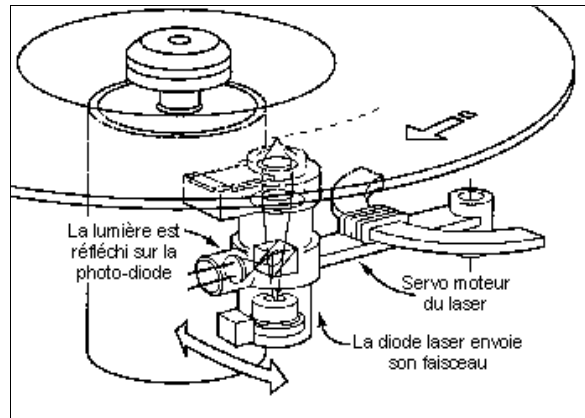


Figure 4 : Positionnement de la tête de lecture

a) Asservissement du mouvement tangentiel

145 Il est effectué à partir des informations de synchronisation fournies par les transitions du signal EFM (voir plus loin) qui sont utilisées pour commander le moteur d'entraînement du disque. L'asservissement des deux autres mouvements est réalisé en séparant les composantes lentes et rapides du mouvement.

b) Asservissement du mouvement radial

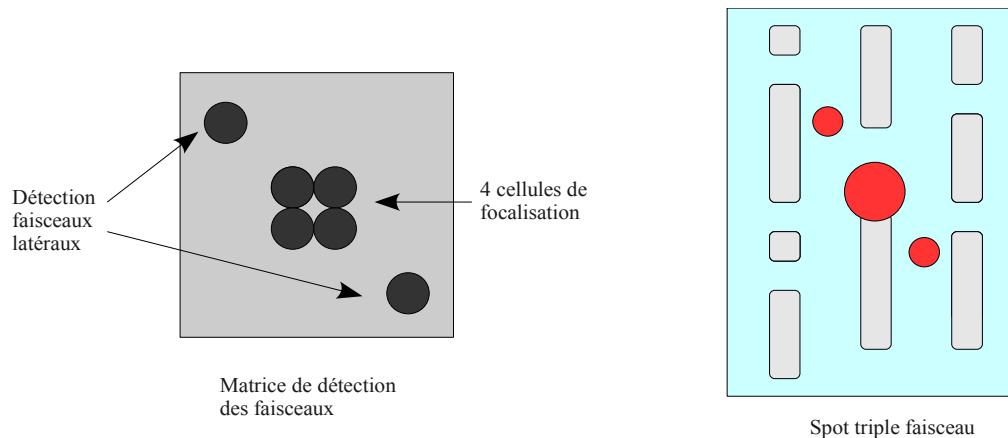
150 Le système est monté sur un plateau entraîné par un moteur via un système mécanique adapté. Celui-ci permet d'obtenir une précision de positionnement de l'ordre de $50\mu\text{m}$. Le suivi fin de la piste est obtenu par le déplacement d'un élément du chemin optique du faisceau (lentille par exemple) de façon à bien cadrer le spot sur la piste.

c) Asservissement vertical

155 L'élément du chemin optique utilisé pour assurer le positionnement radial se déplace également verticalement pour assurer la focalisation.

d) Détection des écarts de position

Pour piloter les actionneurs de positionnement fin, il faut détecter les écarts de position. La détection de l'erreur verticale (focalisation) s'effectue au moyen d'un dispositif optique (lentille astigmatique, coin de focalisation) qui déforme un faisceau réfléchi s'il est mal focalisé. Le faisceau déformé arrive sur une matrice de quatre photo-diodes. Si le faisceau est mal focalisé, un couple de diode est mieux éclairé que l'autre. C'est cette information qui permet de déterminer le sens de l'erreur de positionnement. Un détecteur à quatre diodes est également utilisé pour la détection de l'erreur de positionnement radial dans les systèmes optiques simple faisceau. Cette détection est simplifiée dans les systèmes triple faisceau, où le faisceau est divisé en trois faisceaux dès le départ de la diode laser. Deux faisceaux illuminent les côtés de la piste. En cas de mauvais positionnement, l'un des faisceaux mord sur la piste et reçoit moins de lumière réfléchie. La détection de l'erreur de focalisation est effectuée par un ensemble de quatre photo-diodes dont le signal moyen une fois focalisé est utilisé pour détecter les données.



170 Figure 5 : Dispositifs optiques pour les asservissements

2.4.3. Codage de l'information

Nous avons vu en introduction le principe du codage du signal sonore sur 16 bits. Ce signal binaire subit ensuite plusieurs traitements décrits ci-après.

a) Constitution de la trame

175 Le flux audio stéréo du CD est divisé en trames. Une trame contient 6 périodes d'échantillonnage. Elle comporte donc 12 mots de 16 bits soit 192 bits. La trame brute a la forme suivante :

G1 D1 G2 D2 G3 D3 G4 D4 G5 D5 G6 D6

A cette trame brute on va ajouter un **code de correction d'erreur CIRC** de 8 octets, puis un octet de contrôle. La trame est alors codée en EFM (transformation des octets de 8 bits en 14 bits). Ensuite
180 chaque bloc de 14 bits est assemblé avec le suivant grâce à 3 bits supplémentaires. Enfin, la trame est

complétée par 27 bits de synchronisation. Les 192 bits audio sont donc représentés sur le disque par une suite de 588 bits, soit un rapport proche de 3.

b) Le code CIRC

185 Le code **CIRC** (*Cross Interleaved Reed-Solomon Code*) est un code cyclique croisé entrelacé de correction d'erreur développé pour le CD audio. Il est constitué de deux codes de Reed-Solomon croisés C1 et C2 de 4 octets chacun. Les premier code est calculé après différents décalages des données audio, puis le deuxième code est calculé après d'autres décalage et en englobant le code C1.

190 Cette technique, outre le fait de permettre la détection et la correction d'erreurs, conduit également à étaler les données d'un groupe d'échantillons sur 108 trames consécutives. Ce procédé permet d'éviter qu'une rayure ne conduise à la perte totale de l'information concernant un ou plusieurs échantillons. Les 32 octets de données ainsi obtenus sont ensuite suivis d'un octet de contrôle. En assemblant le mot de contrôle sur 98 trames on obtient un canal supplémentaire pour transmettre des données. Sur le CD Audio, seuls les deux premiers bits de chaque octet sont utilisés pour diverses informations (numéro de la piste, durée de la piste,etc..).

195 c) La modulation EFM

La modulation EFM (*Eight to Fourteen Modulation*) transforme les octets de 8 bits en mots de 14 bits. Ce codage permet de supprimer les suites de bits à 1, car un bit à 1 est détecté par le front montant et non pas par la valeur du signal détecté par le laser. Il permet également de minimiser les transitions 010 répétitives, sources d'erreur de lecture (Chaque bit à 1 doit être séparé du suivant par 200 à 10 bits à 0).

Le codage EFM permet aussi de réduire les suites importantes de bits identiques. En effet si le signal numérique enregistré sur le CD restitue le signal audio, il fournit également une synchronisation au mécanisme de lecture.

205 Deux autres bits sont ajoutés aux 14 bits pour assurer la même longueur de deux symboles consécutifs et un troisième pour équilibrer la valeur moyenne du signal.

d) Le mot de synchronisation

Chaque trame contient un mot de synchronisation de 27 bits (24 bits de synchronisation ainsi que 3 bits d'équilibrages). Cette synchronisation permet d'identifier la position d'une trame dans le flux binaire.

210 2.4.4. Vitesse de lecture

On distingue généralement deux modes de fonctionnement pour la lecture du CD :

- La lecture à vitesse linéaire constante (notée CLV soit *constant linear velocity*). Il s'agit du mode de fonctionnement des premiers lecteurs de CD-ROM, basé sur le fonctionnement des lecteurs de CD audio et des vieux tourne-disques. Lorsqu'un disque tourne, la vitesse des pistes situées au centre est moins importante que celle des pistes situées sur l'extérieur. Il est donc nécessaire d'adapter la vitesse de rotation du disque en fonction de la position radiale de la tête de lecture. Avec ce procédé la densité d'information est la même sur tout le support. Les lecteurs de CD audio possèdent une vitesse linéaire comprise entre 1,2 et 1,4 m/s.
- La lecture à vitesse de rotation angulaire constante (notée CAV pour *constant angular velocity*) consiste à ajuster la densité des informations selon l'endroit où elles se trouvent afin d'obtenir le même débit à vitesse de rotation égale en n'importe quel point du disque. Cela crée donc une faible densité de données à la périphérie du disque et une forte densité en son centre.

La vitesse de lecture du lecteur de CD-ROM correspondait à l'origine à la vitesse de lecture d'un CD audio, c'est-à-dire un débit de 150 ko/s. Cette vitesse a par la suite été prise comme référence et notée **1x**. Les générations suivantes de lecteurs de CD-ROM ont été caractérisées par des multiples de cette valeur.

2.5. Particularité des DVD

Physiquement, les DVD ont pratiquement la même apparence que les CD puisque leurs dimensions sont les mêmes (épaisseur et diamètre)

Cependant sur le plan technique, les principales différences résident dans le format d'encodage employé et la densité des informations inscrites sur le disque. De plus, le DVD peut contenir jusqu'à deux couches de données sur chacune de ses faces.

Le laser employé utilise une longueur d'onde de 635 ou de 650 nm pour une ouverture numérique de 0,60 ce qui permet un écart de piste de 740 nm et une longueur minimale d'alvéole de 400 nm, le diamètre du spot laser étant de 650 nm.

Né en 1995, il s'est imposé à la place de la cassette VHS pour des raisons similaires à celles du CD audio par rapport au disque Vinyle.

Il existe principalement quatre types de DVD :

- Le DVD-5 : il est composé d'une face et d'une couche de stockage. Sa capacité est de 4,7 Go
- Le DVD-9 : il est composé d'une face et de deux couches de stockage. Sa capacité est de 8,5 Go
- Le DVD-10 : il est composé de deux faces et d'une couche par face (il faut retourner le DVD pour pouvoir lire la seconde face). Sa capacité est de 9,4 Go

- Le DVD-18 : il est composé de deux faces et de deux couches par face. Sa capacité est de 245 17 Go

Le principe optique de base demeure identique à celui du CD à la seule différence que la tête de lecture a la possibilité de focaliser sur la première ou la seconde couche.

3. Spécificités des supports ré-inscriptibles

250 La nécessité de commercialiser des CD enregistrables (les CD-R) a conduit à l'introduction d'une autre méthode d'enregistrement que celle utilisée pour les CD. On utilise un disque recouvert d'un colorant organique thermo-sensible et un laser plus puissant. Un « 1 » du code numérique à enregistrer allume le laser et un « 0 » l'éteint. Le rôle du faisceau laser est de chauffer à 250°C le matériau de surface, qui devient alors opaque. La réaction n'est pas réversible : le CD n'est pas effaçable et ne peut être enregistré qu'une seule fois.

255 Pour rendre le CD ré-inscriptible, il faut utiliser une autre technologie, grâce à laquelle le CD peut être effacé, toujours avec un laser. Le colorant organique est remplacé par un composé à changement de phase (GeSbTe ou AgInSbTe). Ces matériaux possèdent une phase cristalline et une phase amorphe, toutes deux stables et séparées par une barrière énergétique relativement élevée. Pour passer de la phase cristalline à la phase amorphe, il faut chauffer aux environs de 600°C et laisser le matériau se refroidir rapidement. Pour la transition inverse, il faut maintenir le matériau à 200°C suffisamment 260 longtemps pour qu'il puisse se re-cristalliser. Le coefficient d'absorption des deux états est différent, si bien que l'on peut considérer que le matériau est transparent dans sa phase cristalline et opaque dans sa phase amorphe ; on peut donc utiliser le même système de lecture que pour les CD-R. Par contre, pour graver le CD, il faut un laser plus puissant (typiquement 20mW). De plus, comme le contraste 265 entre les deux états est plus faible que dans le cas d'un CD-R, il faut adapter le dispositif de détection.

4. Fabrication des CD

4.1. Création du disque matrice

La création du disque matrice, appelé aussi matrice de verre, consiste au marquage des données sur un disque de verre.

270 Le point de départ du disque matrice est une vitre fortement polie, dont les caractéristiques de surface ressemblent de près à un miroir astronomique. Cette plaque de verre est couverte d'un substrat sensible à la lumière, appelé résine photosensible. La couverture de la plaque par un procédé de rotation (dépôt par centrifugation) assure une couche absolument plane et uniforme de 120 nm d'épaisseur. C'est l'épaisseur de cette couche qui détermine la profondeur des creux.

275 L'inscription des données est effectuée grâce à un appareil émettant un rayon laser qui est activé et désactivé au rythme des informations. Le rayon ainsi modulé marque la couche photosensible de la plaque de verre.

Le disque de verre est ensuite placé dans un bain de développement. Les emplacements altérés par le rayon sont lavés, faisant ainsi apparaître les premiers creux.

280 Après séchage du disque matrice suit la vaporisation sous vide d'une couche argentée de 100 nm, appelée galvanoplastie. À ce stade, le disque matrice est lisible par un lecteur spécial qui permet de contrôler la qualité de l'enregistrement.

4.2. Galvanisation

La galvanisation est une opération qui crée la matrice de production à partir de la matrice de verre.

285 La matrice de verre est plongée dans un bain de galvanisation comportant une anode de nickel. La couche argentée de la matrice de verre est transformée en cathode. Le courant ainsi créé entraîne un déplacement des ions de nickel sur l'anode, couvrant peu à peu la plaque de verre d'une couche de nickel.

290 La séparation de la couche de nickel de son support de verre amène la destruction de ce dernier. Si à ce stade de l'opération les normes de qualité ne sont pas respectées, tout le processus précédent est à refaire.

La couche de nickel, copie tirée directement de la matrice de verre, est nommée original ou *copie père* : c'est une reproduction en négatif de l'original. Pour éviter une perte de cet original, on en fait une copie appelée *copie mère*, qui sert ensuite à tirer les sous-matrices.

295 Les sous-matrices sont, comme l'original, des négatifs et servent à imprimer les données sur les disques en plastique pendant leur fabrication. Elles sont perforées au centre et polies au dos. La qualité du dos de la matrice a une grande influence sur le bruit qui sera perçu par les photo-récepteurs des lecteurs de CD-ROM. La rugosité moyenne maximale est de 600 nm. Comme pour l'air, la pureté de l'eau est importante pour la qualité finale du produit.

300 4.3. Fabrication en série

La fabrication en série des disques compacts peut se faire par moulage injection ou par pression. Ce premier principe consiste en l'injection du polycarbonate liquide dans la matrice; le second système a pour principe l'impression des cuvettes dans le disque encore chaud par pressage.

305 Le polycarbonate a été retenu dans la conception des CD pour ses propriétés telles que la pureté optique, la transparence et un indice de réfraction constant.

Les disques ainsi obtenus voient leur face marquée par les données, puis métallisée par une couche d'aluminium de 40 à 50 nm. Pour ce faire, l'aluminium est « atomisé » dans un espace sous

vide et se dépose sur le disque. « L' atomisation » est obtenue par réchauffement, ou à froid, par un procédé de pulvérisation cathodique.

310 La couche d'aluminium ainsi déposée est enfin protégée par l'application d'un vernis protecteur, à l'aide du procédé de dépôt par centrifugation. Le vernis devient ainsi une couche uniforme de 10 μm d'épaisseur.

Avant conditionnement, une étiquette est imprimée sur le vernis par le principe de la sérigraphie.

Glossaire

Le papyrus : le papier de papyrus fut probablement inventé il y a 5 000 ans, en utilisant la tige de la plante *Cyperus papyrus*, et fut largement utilisé en Égypte et dans d'autres régions voisines pour fabriquer les rouleaux manuscrits. Plus tard, lors de l'invention du codex et du livre, on a commencé à en faire des feuilles de papier.

Le parchemin : il désigne une peau de couleur claire apprêtée par un artisan parcheminier. Il sert comme support à l'écriture ; le papyrus, utilisé en Occident jusqu'au VIIe siècle laisse place ainsi à un matériau issu du monde animal. Il sert aussi en musique, dans la facture instrumentale de bien des instruments du monde. Le parchemin peut être utilisé en gainerie d'ameublement.

Anciennement, le terme *parchemin* s'employait également comme synonyme de diplôme.

Le volumen : c'est une bande de matière support d'une écriture (le plus souvent à base de papyrus) qui s'enroule naturellement. La longueur d'un rouleau peut être de quelques mètres tandis que sa largeur/hauteur est de 30 à 40 centimètres. Il a d'abord été vertical, le début est dans le rouleau supérieur, la fin dans le rouleau inférieur, le texte étant écrit et se déroulant en une suite continue. Ensuite, il s'est déroulé horizontalement, en tenant la partie du rouleau qui correspond au début du texte dans la main gauche, la fin dans la main droite, le texte écrit par blocs se suivant à l'horizontal.

Le codex : c'est un livre de forme parallélépipédique, résultat de l'assemblage de manuscrits, d'abord en parchemin à partir des Ier et IIème siècles dans l'empire romain puis en papier depuis le XIIIème siècle, historiquement issu de la forme ancienne du rouleau et du volumen horizontal. Sa caractéristique principale est la reliure des feuillets qui le constituent par la marge.

Cette présentation des textes a constitué une véritable révolution au début de l'ère chrétienne car à l'inverse du rouleau (volumen), qui impose une lecture continue, le codex permet d'accéder aux chapitres (structure du texte) de manière directe. L'habitude de numéroter les pages (par des lettres) accompagna cette innovation.

Mémoire flash : c'est une mémoire de masse ré-inscriptible à semi-conducteurs, c'est-à-dire une mémoire possédant les caractéristiques d'une mémoire vive mais dont les données ne disparaissent pas lors d'une mise hors tension. Ainsi, la mémoire flash stocke les bits de données dans des cellules de mémoire, mais les données sont conservées en mémoire lorsque l'alimentation électrique est coupée.

Sa vitesse de lecture élevée, sa durée de vie et sa faible consommation (qui est même nulle au repos) la rendent très utile pour de nombreuses applications : appareils photo numériques, téléphones cellulaires, imprimantes, assistants personnels (PDA), ordinateurs portables ou dispositifs de lecture et d'enregistrement sonore comme les baladeurs numériques, clefs USB. De plus, ce type de mémoire ne possède pas d'éléments mécaniques, ce qui lui confère une grande résistance aux chocs.

Le Laserdisc : Laservision à l'origine (aussi connu sous le nom de LD, Videodisc) ou *Vidéodisque*, est un support destiné à la vidéo. Ancêtre des CD et DVD actuels, il permettait une qualité supérieure au magnétoscope, mais son prix et son encombrement l'ont limité en diffusion. Bien qu'ayant évolué par rapport à la première version, il a été supplanté par l'apparition des DVD en 1998 et sa durée de vie aura été de vingt-deux ans.

Rapport signal sur bruit : le rapport signal sur bruit (ou rapport signal à bruit) désigne la qualité d'une transmission d'information par rapport aux parasites. Ce concept est utilisé pour désigner un équipement électronique, ce rapport s'obtient alors en comparant le signal d'entrée avec le signal de sortie pour mesurer le niveau du bruit (signal parasite) ajouté par l'équipement. □ En sciences expérimentales il s'obtient en déterminant le rapport entre les signaux reçus en provenance de la source observée et les signaux reçus partout ailleurs ; il peut désigner la qualité d'une information

reçue, comme une image, une conversation...□; ou encore dans un sens plus large la conversation courante.

Quantification : en traitement du signal, la quantification est le procédé qui permet d'approximer un signal continu (ou à valeurs dans un ensemble discret de grande taille) par des valeurs d'un ensemble discret d'assez petite taille. L'application la plus courante de la quantification est la conversion analogique-numérique mais elle doit le développement de sa théorie aux problèmes de quantification pour la compression de signaux audio ou d'image.

Le polycarbonate : c'est un polymère issu de la polycondensation du bisphénol A et d'un carbonate ou du phosgène, ou par trans-estérification. La très grande transparence de cette matière est exploitée lors de la fabrication de verres de vue, des CD et DVD, des lentilles de caméra thermiques (caméra infrarouge) ou encore de vitres de phares automobiles. En forte épaisseur, il est légèrement teinté jaunâtre.

ROM : une mémoire morte (ROM ou Read-Only Memory en anglais) est une mémoire non volatile (et en lecture seule), c'est-à-dire une mémoire qui ne s'efface pas lorsque l'appareil qui la contient n'est plus alimenté en électricité.

Code correcteur : un code correcteur est une technique de codage basée sur la redondance. Elle est destinée à corriger les erreurs de transmission d'une information (plus souvent appelée message) sur une voie de communication peu fiable.

La théorie des codes correcteurs ne se limite pas qu'aux communications classiques (radio, câble coaxial, fibre optique, etc...) mais également aux supports pour le stockage comme les disques compacts, la mémoire RAM et d'autres applications où l'intégrité des données est importante.

Code Reed-Solomon : c'est un code correcteur basé sur les corps de Galois dont le principe est de construire un polynôme formel à partir des symboles à transmettre et de le sur-échantillonner. Le résultat est alors envoyé, au lieu des symboles originaux. La redondance de ce sur-échantillonnage permet au récepteur du message encodé de reconstruire le polynôme même s'il y a eu des erreurs pendant la transmission.