

stocke les données est longue de plus de 11 kilomètres, plus du double de celle d'un CD.

Naturellement, pour lire les plus petites cavités du DVD, le faisceau de lecture doit être mieux focalisé que celui d'un lecteur de CD. Il est émis par une diode laser rouge de longueur d'onde égale à 0,635 ou à 0,650 micromètre, tandis que les lecteurs de CD utilisent des lasers infrarouges de longueur d'onde supérieure (0,780 micromètre). En outre, les lecteurs de DVD utilisent une lentille possédant une ouverture numérique supérieure à celle des lecteurs de CD. Comme la focalisation maximale d'un système optique est proportionnelle au quotient de la longueur d'onde de la source lumineuse par l'ouverture de la lentille, la focalisation supérieure permet de faire converger la lumière dans les petites cavités de 0,4 micromètre du DVD. Ces différences, alliées à l'efficacité supplémentaire du format DVD décrit dans la suite, expliquent la capacité de 4,7 gigaoctets de chaque couche d'informations d'un DVD.

Cette capacité peut être doublée pour atteindre 9,4 gigaoctets – et presque doublée encore, jusqu'à 17 gigaoctets – grâce à deux autres inno-

vations. Bien que les DVD et les CD aient tous deux une épaisseur de 1,2 millimètre, les DVD possèdent deux couches superposées pouvant stocker les informations, alors que les CD n'en ont qu'une. Les couches d'un DVD sont disposées de sorte que les surfaces gravées sont face à face. Cette disposition protège les surfaces des poussières ou des rayures. Dans la conception la plus simple du DVD, on lit la seconde face du DVD en retournant manuellement le disque dans le lecteur. Avec les disques multicouches, on peut lire les deux surfaces qui stockent l'information sans retourner le disque.

Une structure en sandwich

Dans un disque multicouches, la couche supérieure est recouverte d'un dépôt semi-réfléchissant. La réflexion sur la couche supérieure est suffisante pour permettre au faisceau laser de lire les cavités qui s'y trouvent, mais sa transparence permet également de focaliser le faisceau laser sur la couche inférieure ; lorsque la lumière laser est focalisée sur les cavités de la couche inférieure, les cavités de la couche supérieure sont floues. Comme elles réfléchissent alors peu de lumière, celle-ci

n'interfère pas avec la lumière réfléchie par la couche inférieure. Pour compenser la faible perte de qualité de lecture inhérente à cette approche, on a ramené la capacité à 8,5 gigaoctets (au lieu de 9,4), ce qui explique pourquoi un DVD double face, double couche contient environ 17 gigaoctets. On assemble les deux couches à l'aide d'une colle transparente.

Le DVD à double couche a d'autres avantages que sa capacité supérieure : il réduit les erreurs dues à l'inclinaison et au voilage des disques. Tous les disques compacts finissent par se voiler et, lorsque la surface n'est plus perpendiculaire au faisceau laser, des erreurs de lecture surviennent. La dégradation du faisceau de lecture due à l'inclinaison est proportionnelle à l'épaisseur des couches. Les couches d'un DVD, épaisses de 0,6 millimètre seulement, rendent le disque moins sensible aux problèmes d'inclinaison que les CD, dont l'unique couche a une épaisseur double. Il existe toutefois d'autres raisons pour lesquelles le DVD est moins sensible à certaines formes de voilage.

Par exemple, les changements brusques de température ou d'humidité peuvent dilater ou contracter le

Un pour tous, tous pour un

Au début de 1995, il semblait encore peu probable que les disques compacts de seconde génération soient tous à la même norme : deux groupes de sociétés d'électronique grand public – l'un mené par les Sociétés *Sony* et *Philips* (co-inventeurs des premiers disques compacts), et l'autre conduit par les Sociétés *Toshiba*, *Matsushita* et *Time Warner* – avaient chacun leur propre projet. *Sony* et *Philips* proposaient le disque compact multimédia (CDMM), qui aurait contenu 3,7 gigaoctets sur un disque à une seule face, assez semblable au disque compact d'aujourd'hui, tandis que le groupe dirigé par *Toshiba* avait conçu un format nouveau, nommé SD (pour superdensité), capable de contenir cinq gigaoctets sur chaque face d'un disque double face.

Initialement, *Toshiba* reçut l'appui d'une partie de l'industrie du cinéma, qui pensait que le format SD était le seul qui permette de stocker sur un disque des films entiers avec une bande-son de haute qualité. D'un autre côté, beaucoup de fabricants se sentaient plus à l'aise avec le CDMM, une extension prudente du format CD, solidement éprouvé. Toutefois, ni les studios ni les sociétés informatiques ne voulaient deux formats incompatibles, car ils craignaient la répétition désastreuse de la bataille qui opposa les normes VHS et *Betamax* pour les vidéocassettes : l'introduction des deux formats avait été très lente jusqu'à ce que le format VHS domine, et les consommateurs infortunés ayant investi dans la technique *Betamax* furent lésés lorsque les fabricants de cassettes se rallièrent au format dominant. Un groupe de spécialistes du stockage de données, réuni par *Sony* et *Philips*

pour examiner leur format, élargit sa mission en examinant également le projet de *Toshiba*. Ces examens durèrent 18 mois. D'emblée, le groupe technique fixa clairement ses objectifs : parvenir à un seul format pour une famille de disques compatibles, à lecture seule et enregistrable.

En août 1995, un premier rapport était rendu : chaque format était acceptable pour les applications informatiques, mais il était inacceptable que les formats ne soient pas unifiés. Pourrait-on combiner les meilleurs éléments de chaque projet ? Les deux groupes en concurrence finirent par accepter qu'*IBM* arbitre les négociations et, le 15 septembre, ils acceptèrent un format unique, qui empruntait au projet de *Toshiba/Time Warner* le disque mince et le programme correcteur d'erreurs, et au projet de *Sony/Philips* l'algorithme de modulation du signal.

Le 8 décembre, les derniers détails du format unifié étaient entérinés, et le nouveau format pour les disques à lecture seule était finalement annoncé sous le nom de DVD. Depuis, le groupe de travail poursuit son étude en collaboration avec les sociétés de la coalition pour le DVD, en se concentrant sur les aspects techniques des formats enregistrables, pour le DVD-RAM enregistrable et le DVD-R enregistrable une fois. Le groupe encourage aujourd'hui les sociétés à maximiser la compatibilité entre les DVD-ROM, DVD-RAM et DVD-R et leurs produits dérivés, y compris pour les divers environnements des applications, notamment les ordinateurs personnels et les systèmes de divertissements (consoles de jeux, livres électroniques, appareils photo numériques, etc.).

matériau du DVD. Cependant, comme celui-ci est symétrique, les changements dans une couche compensent ceux de l'autre, ce qui minimise le défaut total d'inclinaison.

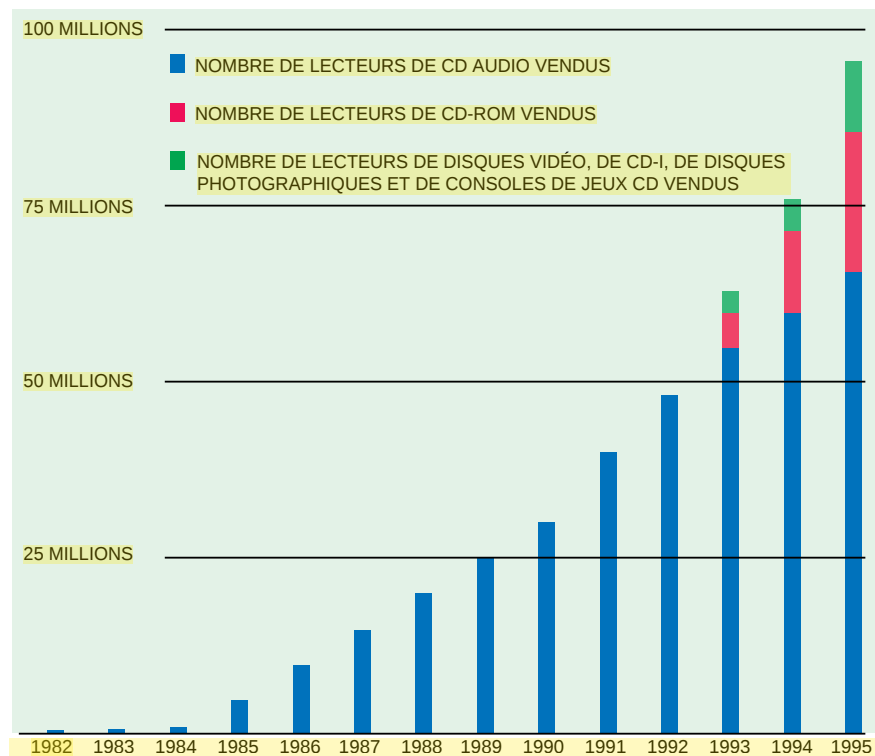
Comme les consommateurs ont déjà acheté beaucoup de CD audio et de CD-ROM, les fabricants ont voulu que les lecteurs de DVD lisent aussi bien les CD que les nouveaux disques. Cette polyvalence des lecteurs de DVD nécessitait des caractéristiques optiques spécifiques. La solution la plus simple consistait à monter deux lentilles sur une tête optique unique – l'une prévue pour une couche de 1,2 millimètre d'épaisseur (CD, CD-ROM), l'autre pour une couche de 0,6 millimètre d'épaisseur (DVD) –, et à laisser l'utilisateur choisir celle qui serait utilisée, à l'aide d'un commutateur.

La solution retenue est plus élégante : une lentille moulée comprenant un hologramme en son centre est interposée entre le disque et le photomètre (voir la figure 1). La lumière traversant l'anneau extérieur de la lentille n'est pas perturbée par l'hologramme et se focalise dans le plan de la couche inférieure en un faisceau suffisamment petit pour lire les informations d'un DVD, tandis qu'un tiers du faisceau frappe la partie centrale et est focalisé à la fois par la lentille et par l'hologramme en un faisceau qui lit les cavités plus larges du CD.

Plus de bits

Si les DVD contiennent plus de cavités que les CD, ils ont en outre plus d'informations par nombre de cavités, grâce à de nouvelles méthodes de codage. Quelle que soit la forme originelle des informations à enregistrer – donnée, texte, son, image ou succession d'images –, les chiffres binaires 0 et 1 qui représentent directement l'information, nommés bits utiles, doivent être protégés des erreurs introduites au cours de la lecture en raison de poussières, de rayures ou de la corrosion. Des programmes de contrôle et de correction minimisent ces erreurs au moyen d'algorithmes qui utilisent des bits de données supplémentaires, stockés en plus des données utiles. Ces bits additionnels, bien qu'essentiels, diminuent la capacité totale disponible pour les données utiles.

Néanmoins, les codes correcteurs d'erreurs des formats DVD sont extrêmement puissants : ils peuvent ainsi



2. LES VENTES DE LECTEURS DE DISQUES COMPACTS ont régulièrement augmenté depuis 1982, année de leur première commercialisation. Les CD-ROM, introduits en 1993, ont un succès considérable.

corriger une erreur s'étendant sur 2 000 octets, soit environ quatre millimètres de piste. Dans le format DVD, les données servant à corriger les erreurs occupent 13 pour cent de la capacité du disque (contre 30 pour cent sur les CD). L'efficacité accrue des codes correcteurs d'erreur DVD résulte pour une large part de l'augmentation de la puissance de calcul des puces électroniques d'aujourd'hui.

Lors de l'enregistrement, les données utiles combinées aux données de correction d'erreur sont converties en «bits de modulation», qui sont les bits réellement représentés par les cavités à la surface du disque. Cette étape crée des cavités de tailles différentes, ce qui assure un suivi fiable lors de la lecture. Par exemple, on ne code pas une suite ininterrompue de 0 par une absence de cavités le long de la piste ; des cavités spéciales permettent au faisceau de ne pas perdre la piste. La méthode de codage du format CD transforme huit bits (un octet) utiles en 17 bits de modulation. Le DVD utilise une méthode améliorée, qui transforme huit bits utiles en seulement 16 bits de modulation, tout en gardant la qualité originelle des CD. Comme moins de bits sont nécessaires pour représenter les bits utiles, le DVD contient plus d'informations utiles. Cette

particularité permet d'améliorer l'efficacité de stockage d'environ six pour cent par rapport au format CD.

Un film en disque

Le format DVD permettra pour la première fois le visionnage de films entiers munis d'une bande-son aussi bonne que les bandes numériques utilisées dans les cinémas. Cette caractéristique soulève d'importants problèmes de protection des droits d'auteur (voir *Les droits d'auteur des œuvres numériques*, par Ann Okerson, page 74), mais le visionnage des films est l'utilisation principale pour laquelle les capacités et les performances du DVD ont été choisies.

Malgré la capacité accrue des DVD, les films ne peuvent être enregistrés que s'ils sont numérisés sous une forme comprimée (sans compression, un DVD de 4,7 gigaoctets de capacité ne contient que quatre minutes de film). On utilise à cette fin un mode de compression à débit variable, nommé MPEG2 : le degré de compression est ajusté en fonction de la complexité de la scène ; les scènes avec de nombreux détails et les actions rapides sont codées par plus de bits que les parties moins complexes. De ce fait, le débit des données comprimées varie

au cours de la lecture. Le mode de compression MPEG2 permet également à l'utilisateur de choisir le format d'image du film : soit le format ordinaire de la télévision (dont largeur et hauteur sont dans un rapport 4/3), soit le format 16/9 de type cinéma.

L'augmentation de la capacité des disques permettra aussi d'améliorer la qualité du son. Comme le sait quiconque a vu *Le grand bleu* ou *Diva* dans un bon cinéma, une bande-son de haute qualité accroît le plaisir du spectateur. Le format de film sur DVD offrira deux méthodes de codage du son : soit le système AC-3 multivoies (5.1) des Laboratoires *Dolby*, soit la méthode de modulation par impulsions codées (méthode PCM), la compression à débit variable des signaux audio (le codage MPEG audio) étant en option. Le système *Dolby* code le son avec un signal au débit de 448 000 bits par seconde, pour créer cinq pistes audio indépendantes de qualité équivalente à celle d'un CD, ainsi qu'une sixième voie consacrée aux effets sonores basse fréquence (ainsi s'explique la désignation «5.1» du système). Les spécifications des DVD pour les disques

purement audio – successeurs des disques compacts audio – ne sont pas encore complètement établies, dans l'attente d'informations venant de l'industrie de l'enregistrement des disques musicaux et d'institutions indépendantes telles que la Société internationale des ingénieurs en acoustique (*Audio Engineering Society*).

La capacité accrue des DVD permettra le perfectionnement ou la création de jeux vidéo et de produits de divertissement ou éducatifs, à un coût de production voisin de celui des CD actuels. Au lieu de s'échiner à réduire leurs œuvres à quelques malheureux 680 mégaoctets, les auteurs d'applications multimédia auront bientôt le luxe de chercher à remplir des disques double couche de 8,5 gigaoctets de capacité ou même les DVD à quatre couches d'une capacité totale de 17 gigaoctets.

Disques inscriptibles et lasers bleus

Jusqu'ici, nous n'avons considéré que des DVD où l'information est stockée sous forme de petites cavités, mais

des DVD enregistrables devraient être commercialisés en 1998. Ces DVD-RAM, ainsi que des DVD-R (enregistrables une fois), promettent d'être bien plus puissants et pratiques que les CD correspondants : alors que les systèmes d'enregistrement optique de ces derniers se fondent principalement sur la technique magnéto-optique, le support d'enregistrement des DVD-RAM sera plus probablement un matériau qui change de phase : un film mince, polycristallin, déposé à la surface du substrat du disque. Pour enregistrer chaque bit, une impulsion laser, intense mais brève, fond une région sub-micrométrique du film. Comme cette petite quantité de matière refroidit très vite, la région fondue ne recristallise pas et se fige dans un état amorphe, désordonné, qui réfléchit moins bien la lumière que la phase cristalline. Cette différence de réflexion assure ensuite le décodage des données par un faisceau laser «lecteur» de faible intensité, qui ne refond pas le matériau.

Les ingénieurs ont trouvé plusieurs matériaux assez sensibles pour enregistrer des données, assez stables pour conserver celles-ci et assez durables pour supporter des centaines de milliers de cycles d'enregistrement et d'effacement. L'enregistrement à changement de phase a plusieurs avantages : comme le codage correspond simplement à des variations d'intensité de la lumière réfléchie par le disque, on peut lire des DVD-RAM à l'aide des mêmes têtes optiques que celles des lecteurs de DVD-ROM (la lecture magnéto-optique, elle, requiert des composants particuliers qui détectent de faibles changements de la polarisation du faisceau de lecture). Aussi, le lecteur-enregistreur de DVD-RAM fondé sur les matériaux à changement de phase ne serait pas beaucoup plus cher que le lecteur de DVD-ROM. En outre, il n'y a pas d'impossibilité technique à ce que les DVD-RAM soient lus par les lecteurs de DVD-ROM.

La variété des supports amovibles de stockage de données est aujourd'hui déroutante : disquettes de petite ou de grande capacité, disques durs amovibles, disques magnéto-optiques, plusieurs sortes de bandes magnétiques... Personne ne prévoit que les lecteurs-enregistreurs DVD-RAM remplaceront les disques durs magnétiques, dont les performances sont extraordinaires, mais ces systèmes

Comparaison entre le DVD et le CD		
Caractéristique	Ancien format	Nouveau format
Diamètre du disque	120 millimètres	120 millimètres
Structure du disque	Une couche de 1,2 millimètre d'épaisseur	Deux couches de 0,6 millimètre d'épaisseur chacune
Taille minimale des cavités	0,83 micromètre	0,4 micromètre
Longueur d'onde du laser	0,780 micromètre (infrarouge)	0,635 et 0,650 micromètre (rouge)
Capacité	Une couche sur une face, soit 0,68 gigaoctets au total	Deux couches, une par face, d'un total de 9,4 gigaoctets Deux couches sur la même face, d'un total de 8,5 gigaoctets Quatre couches, deux par face, d'un total de 17 gigaoctets
Ouverture numérique	0,45	0,60
Densité de la piste	6 000 pistes par centimètre	13 000 pistes par centimètre
Densité en bits	17 000 bits par centimètre	38 000 bits par centimètres
Débit de transfert des données	1,2 à 4,8 mégabits par seconde	11 mégabits par seconde
Densité des données	105 mégabits par centimètre carré	508 mégabits par centimètre carré