

Table des matières :

Tête de lecture CD et DVD	1
Table des matières :	2
Intoduction	3
Histoire du laser :	3
Le maser :	3
Le laser :	4
Rubis.....	4
Lasers à semi-conducteurs	5
Histoire du CD et du DVD	7
Histoire du Blu-ray	9
Fabrication :	9
Composition d'un CD :	9
Son Épaisseur :	9
Son Diamètre :	10
Sa surface :	11
Le Procédé de Fabrication :	11
Premastering	12
Mastering (Création du Glassmaster).....	12
Electroforming :	13
Réplication :	14
Fabrication du CD :	16
Spécification du CD :	16
Différence entre le CD et le CD-R :	16
Le CD-RW:	19
Le CD-MO:	20
Fabrication du DVD :	20
Spécification du DVD :	20
Les Dérivés du DVD :	23
Couche d'enregistrement d'un disque Blu-ray :	23
Fonctionnement de base du CD et du DVD :	24
La tête de Lecture :	24
Le principe de Lecture :	25
Le codage des informations :	25
Particularités du DVD et bluray :	27
Particularités du CD-R, RW et MO :	27
Webographie :	28

Intoduction

L'ensemble tête de lecture laser et support de données CD, DVD et Bluray, forme un produit typiquement microtechnique tant sur son principe de fonctionnement que sur ses méthodes fabrication. La tête de lecture possède différents éléments optiques comme un prisme semi-réfléchissant, une diode laser (source), une photodiode (capteur), une lentille fixe et une mobile (montée sur un « moteur » linéaire électrodynamique (voice-coil)) qui permet un ajustage de la distance de focalisation (pour passer d'une couche à l'autre). Le système de lecture optique utilise les propriétés d'interférométrie pour transcrire les données stockées sur le support (CD, DVD, Bluray) en signal électrique binaire exploitable par un ordinateur, par l'intermédiaire de la photodiode.

Les documents rassemblés s'étalent sur l'histoire du laser, l'histoire des supports de donnée en partant de la disquette pour arriver au DVD, la fabrication des CD et DVD (et variantes), et le fonctionnement de la tête de lecture. Le chapitre sur les méthodes de fabrication n'est pas directement en rapport avec le travail de recherche demandé (tête de lecture), mais ce chapitre me paraît particulièrement intéressant en tant que microtechnicien.

La documentation sur le CD et DVD est abondante sur le net, mais on trouve des informations moins poussées sur le bluray. Au vu des méthodes de production des CD et DVD, on peut imaginer que la fabrication des bluray doit être très similaire. Donc pour alléger cette recherche documentaire, je n'approfondirais pas trop le bluray.

Histoire du laser :

Le maser :

Au cours de la Seconde guerre mondiale, les États-Unis ont voulu développer de nouveaux systèmes de radar (acronyme de *RA*dio *DE*tecting *AN*d *RAN*ging) plus précis. Dans ce but, Charles Townes, travaillant alors aux Bell Laboratories, tentait de construire des émetteurs de micro-ondes à plus haute fréquence, soit 24 GHz, que ceux utilisés à l'époque. Quelques années plus tard, en 1947, alors qu'il travaillait à l'Université Columbia, Townes eut besoin d'une nouvelle source de micro-ondes afin de pouvoir faire des études spectroscopiques de molécules plus poussées. Il s'activa donc à développer cette source.

C'est ainsi qu'il fabriqua, en 1953, le premier maser (acronyme de *Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation*), en collaboration avec certains de ses étudiants. Ce maser utilisait de l'ammoniac (NH_3 gazeux) et produisait un rayonnement monochromatique à une longueur d'onde de 1,25 cm. Au cours des années qui suivirent, de nombreux autres masers furent fabriqués. Tous fonctionnaient dans le domaine des micro-ondes, le pas vers le domaine de la lumière visible et de ses courtes longueurs d'onde semblant infranchissable. Les expérimentateurs de l'époque entrevoyaient déjà les possibilités d'un maser optique, mais concevaient difficilement comment le construire.

Le laser :

En 1957, Townes commença à considérer les problèmes reliés à la fabrication d'un dispositif semblable au maser, mais émettant du rayonnement infrarouge ou de la lumière visible. En collaboration avec Arthur Schawlow, il publia les premières propositions détaillées de masers optiques. Ils considérèrent alors l'utilisation d'une cavité résonante pour amplifier la lumière. Ils déposèrent une demande de brevet en 1958. En 1960, ils obtinrent enfin le premier brevet de laser, mais celui-ci ne fut construit que plus tard.

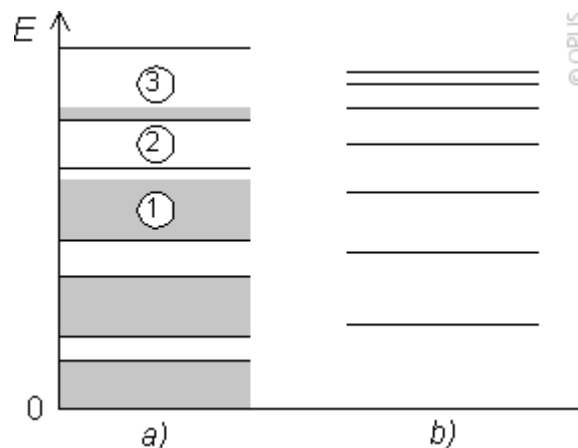
Le premier laser fonctionnel fut fabriqué par Theodore Maiman en 1960. Il découvrit que les ions de chrome d'un **rubis artificiel** émettaient de la **lumière rouge** lorsqu'ils étaient **irradiés par la lumière verte d'une lampe au xénon**. En déposant une **couche d'aluminium à chaque extrémité de la tige de rubis**, Maiman réussit à produire le premier laser optique. L'année suivante, le laser à hélium-néon, l'un des plus couramment utilisés aujourd'hui, fut inventé. Notons que le terme laser ne fut pas utilisé avant 1965.

Rubis

Le premier laser fonctionnel était un laser à rubis. Le rubis est un cristal d'oxyde d'aluminium (Al_2O_3) contenant des impuretés de chrome (Cr^{3+}). Ce sont ces ions qui donnent au rubis sa couleur rouge et qui lui permettent d'émettre du rayonnement laser lorsqu'ils sont excités par la lumière émise par une lampe au xénon. Le laser à rubis émet à une longueur d'onde de 694 nm et est utilisé pour l'épilation au laser.

Lasers à semi-conducteurs

Le mode d'émission du rayonnement laser dans un matériau semi-conducteur est très différent de celui décrit précédemment. Dans un cristal, les énergies permises pour les électrons sont sous forme de bandes, plutôt que sous forme de niveaux discrets bien séparés les uns des autres, comme c'est le cas pour des atomes seuls. Cela est dû à la superposition des niveaux énergétiques de chacun des atomes constituant le cristal. Pour un semi-conducteur, les deux dernières bandes sont celles qui joueront un rôle dans l'émission laser. Ce sont les bandes de valence et de conduction, qui sont séparées par une zone d'énergie interdite. À température normale, une petite portion des électrons de la bande de valence a assez d'énergie pour passer à la bande de conduction, ce qui permet à un courant électrique de circuler dans le matériau.



Diagrammes a) des bandes d'énergie d'un semi-conducteur avec la bande de valence presque entièrement remplie (1), la bande interdite (2) et la bande de conduction avec quelques électrons (3); b) des niveaux d'énergie d'un atome seul.

Les semi-conducteurs purs, comme le silicium ou le germanium, sont de peu d'intérêt pour la fabrication des lasers. En effet, on utilise plutôt des semi-conducteurs dopés, contenant des impuretés, comme l'arséniure de gallium (GaAs) dopé à l'aluminium. On peut alors fabriquer des semi-conducteurs de type n , qui ont un excès d'électrons de conduction et d'autres de type p , qui ont plutôt une déficience en électrons de conduction. Souvent, on considère que les semi-conducteurs de type p ont un surplus de « trous », qui se comportent comme des charges positives. Ces deux types de semi-conducteurs sont le plus souvent juxtaposés, pour former ce qu'on appelle une jonction $p-n$. Cette jonction est au cœur du fonctionnement d'un grand nombre de pièces électroniques comme les transistors.

Lorsqu'un potentiel positif est appliqué au semi-conducteur de type p et un potentiel négatif au type n , un grand courant peut traverser la jonction. Des électrons sont injectés dans le semi-conducteur de type p et des trous dans celui de type n . Il peut alors y avoir des recombinaisons trou-électron, qui se font avec l'émission de lumière. Lorsque le courant traversant la jonction $p-n$ est faible, l'émission est peu directionnelle et n'est pas monochromatique. C'est de cette manière que fonctionnent les diodes électroluminescentes (aussi appelées *LEDs*), ces petites sources lumineuses que l'on retrouve sur bon nombre d'appareils électriques. Cependant, au-dessus d'un certain courant de seuil, la lumière devient plus intense, plus directionnelle et monochromatique. La jonction $p-n$, qui joue alors le rôle de milieu actif, produit un faisceau laser.

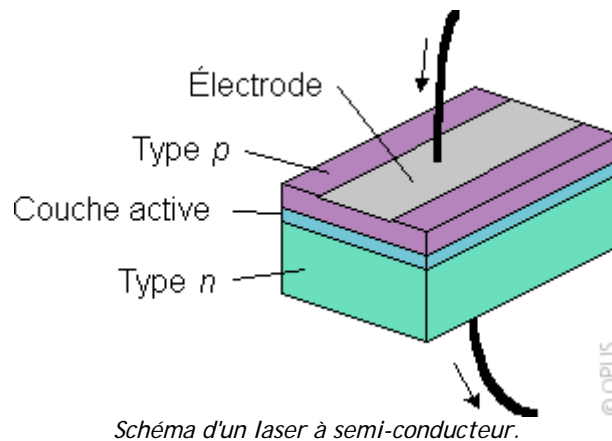
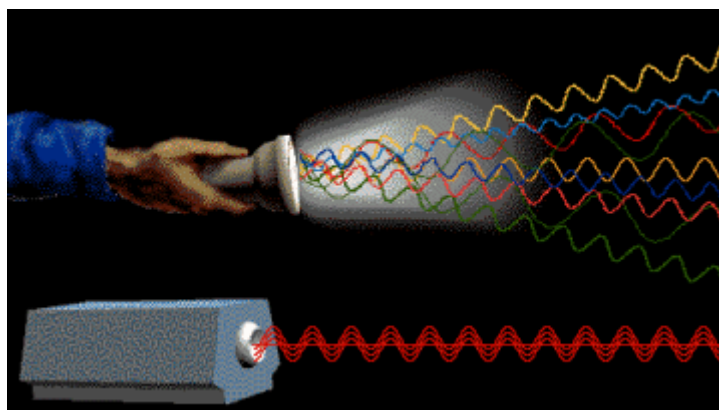


Schéma d'un laser à semi-conducteur.

Les lasers à semi-conducteurs sont particulièrement compacts. Ils sont typiquement d'une longueur de 100 à 500 μm et la couche active a une épaisseur entre 0,1 et 2 μm . Ils possèdent également une efficacité très appréciable d'environ 50 %. Le faisceau résultant d'un tel laser est cependant peu directionnel, ayant une divergence de 5° à 30° , parce qu'il est émis par une petite surface de moins de 20 μm de côté. Il est aussi peu puissant : entre 1 et 100 mW. Les lasers à semi-conducteurs sont notamment utilisés pour les imprimantes laser, **les lecteurs de disques compacts** et comme source lumineuse pour la fibre optique, principalement à cause de leur petite taille. Ce sont aussi eux que l'on retrouve dans les fameux pointeurs laser.



Un laser à semi-conducteurs. Sa monture a 9 mm de diamètre. Le laser comme tel se trouve dans le trou, au centre.



Comparaison de la lumière émise par émission spontanée (haut) et par émission stimulée (bas). (Microsoft Encarta Encyclopedia 2000)

Histoire du CD et du DVD

En 1956 IBM inventait le premier disque dur, support magnétique de données. Mais il subsistait un problème, celui du transport des informations sans perte de celles-ci.

En 1958 invention du Laser par H. Townes et A.L. Schawlow et du circuit intégré par J.SI Kilby.

Les cartes perforées furent alors inventées afin de véhiculer des informations. Mais cependant étant donné l'évolution de la quantité de données à stocker les cartes devenaient de plus en plus volumineuses et de ce fait inutilisable d'un point de vue pratique.

En 1976 présentation d'un prototype de disque audio digital par Sony, Mitsubishi et Hitachi. Puis vinrent ensuite les supports magnétiques amovibles, communément appelés disquettes. Le stockage d'informations sur un média effaçable a d'abord prit la voie du support magnétique technologie bien connues dans le secteur du son et de l'image vidéo avec l'intérêt évident de pouvoir effacer, réécrire des informations dont la durée de vie ne dépendaient plus du temps de la mise sous tension d'une mémoire vive. Mais cette manière de stockage ne pouvaient pas durer, car le stockage magnétique des données demande de gros volume de stockage pour en fin de compte une faible quantité de données et sa qualité diminue avec son vieillissement. **C'est pourquoi avec l'apparition des lasers une nouvelle forme de stockage naissait, le stockage optique des données. Cette technologie ne connaît pas l'usure liée au frottement des têtes de lecture, et l'on pouvait obtenir des densités de stockage extrêmement élevée grâce à la cohérence spatiale de la lumière laser.**

En **1982 le CD audio** (CD-DA : Compact Disc-Digital Audio, disque optique compact audio numérique) est commercialisé. Il peuvent être lus par n'importe quel appareil pouvant lire les CD audio et ce grâce à la norme suivant laquelle les CD ont été écrit, cette norme est définie dans le Livre rouge développée par Philips et Sony.

En **1983 Le CD-ROM** (Compact Disc-Read Only Memory, disque optique compact à lecture seule) est conçu. Le CD-ROM n'est qu'un simple dérivé du CD Audio mais de nouvelles spécifications ont été définies dans le Livre Jaune.

En 1984 Commercialisation du CD-ROM.

En 1985 Le CD-ROM XA. Ce dernier est essentiellement utilisé pour le multimédia, on y stocke à la fois des données, de l'image et du son, les normes sont définies dans le **Livre Jaune**.

En 1986 Le CD-I (Compact disc interactive, disque compact interactif) est conçu pour lire des applications multimédia interactive (d'où son nom) à partir de petit ordinateur ou de console de salon, ceci sur un écran de télévision. Il est particulièrement adapté à la vidéo et au son. Les normes sont décrites dans le Livre Vert.

En 1988 Le CD-WO où CD-R (Compact Disc Recordable, disque compact enregistrable) est conçu, c'est un CD qui peut être enregistré grâce à une machine adéquate: un graveur CD. Il peut prendre tout les types de formats cité précédemment. Les normes sont décrites dans le Livre Orange Part 2. En même temps le CD-MO (magnéto optique) est lancé. Les normes sont décrites dans le Livre Orange Part 1. Sa caractéristique principale est d'être réinscriptible.

En 1990 présentation par Sony du format MD (Mini Disc). Ce format est une adaptation du CD, avec un diamètre deux fois plus petit, mais ayant la même durée de programme. De plus Sony a lancé un MD-MO, qui est un MD enregistrable/effaçable basé sur la technologie " Magnéto-Optique"

En 1992 Le Photo CD qui est une marque déposée par Kodak. Ils sont destinés au stockage de photos. Sur le CD est enregistré un lecteur de fichier Photo pour lecteur CD-I. Les normes sont décrites dans le Livre Blanc.

En 1993 Le CD-V (Compact Disc Vidéo, disque compact vidéo) appelé aussi vidéo disque, c'est un système permettant de regarder des films mais à partir d'un CD. Les normes sont décrites dans le Livre Blanc. La vidéo et le son sont compressés ensemble selon la norme MPEG-1 et enregistré sur un disque de type CD Bridge .

En **1995 Le DVD** est conçu d'un accord sous l'arbitrage d'IBM. Le format d'un CD mince et le programme correcteur d'erreur seront au projet de Toshiba/Time Warner et au projet de Sony/Philips l'algorithme de modulation du signal.

En 1997 Le CD-RW (Compact Disc Recordable Rewritable, disque compact enregistrable réinscriptible) est mis sur le marché. Les normes sont décrites dans le Livre Orange.

Histoire du Blu-ray

Le nom « Blu-ray » vient simplement de la technologie utilisée pour lire et graver les données : « Blu » (bleu) et « ray » (rayon optique). Le disque Blu-ray est le support par lequel Sony veut remplacer le DVD. Il avait comme principal concurrent le HD DVD, lancé par Toshiba et soutenu par Microsoft, qui ont annoncé son abandon en février 2008. Il est basé sur un rayon laser bleu-violet (longueur d'onde : 405 nm), d'ouverture numérique élevée (0,85), d'où le nom en anglais blue ray (rayon bleu) contracté en « Blu-ray » pour déposer la marque. Par comparaison avec le laser rouge (longueur d'onde : 780 nm) d'ouverture numérique 0,45 utilisé pour le CD et le laser orange (longueur d'onde : 650/635 nm) d'ouverture numérique 0,6 utilisé pour le DVD, il permet de stocker plus d'informations sur la même surface grâce à un rayon plus fin (diamètre du spot laser : 290 nm) induisant des sillons de gravure plus petits et plus rapprochés (écart : 320 nm) et des alvéoles plus courts (longueur minimale : 149 nm — 135 nm pour le modèle 27 Go actuellement abandonné). Les premiers appareils grand public à utiliser cette technologie sont apparus fin 2006, notamment la PlayStation 3 en novembre au Japon et aux États-Unis, et le 23 mars 2007 en France.

Fabrication :

Composition d'un CD :

Son Épaisseur :

Un CD, c'est un sandwich de 1,2 mm d'épaisseur composé de plastique, d'aluminium (ou autre matériaux réfléchissants) et d'encre. Reprenons, le dessus du CD est composé successivement:

D'une couche d'encre de 5 µm d'épais (titre du CD, ect..).

D'une couche de plastique transparent servant de protection de 5 à 10 µm d'épais (soit en poly carbonate ou autre substrat résistant).

D'une couche réfléchissante (généralement une fine couche d'aluminium déposée par vaporisation afin d'obtenir un dépôt ne dépassant pas 0,1µm.

Une épaisseur de plastique (poly carbonate) servant de support aux données, cette couche représente l'essentiel de l'épaisseur du disque qui mesure une fois tout ces éléments réunis 1,2mm d'épais.

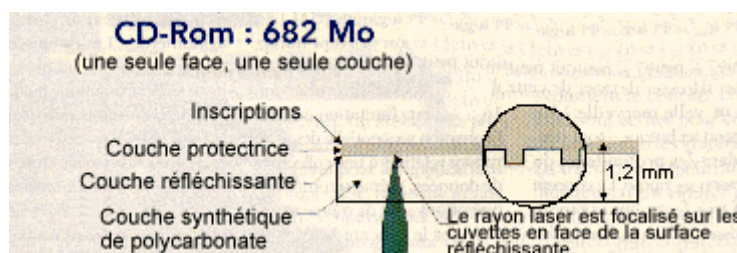


Figure 1 (structure d'un CD)

Son Diamètre :

Un CD mesure 120 mm de diamètre, il est partagé en plusieurs zones, regardons plus précisément ces différentes zones en partant depuis le centre du CD:

Le trou du CD Mesure 15 mm.

Ensuite de 26 mm à 33 mm c'est une zone qui sert pour la fixation du disque dans le lecteur (Clamping Area).

Un peu plus loin il y a le stacking ring qui est une surépaisseur servant pour le stockage des CD's.

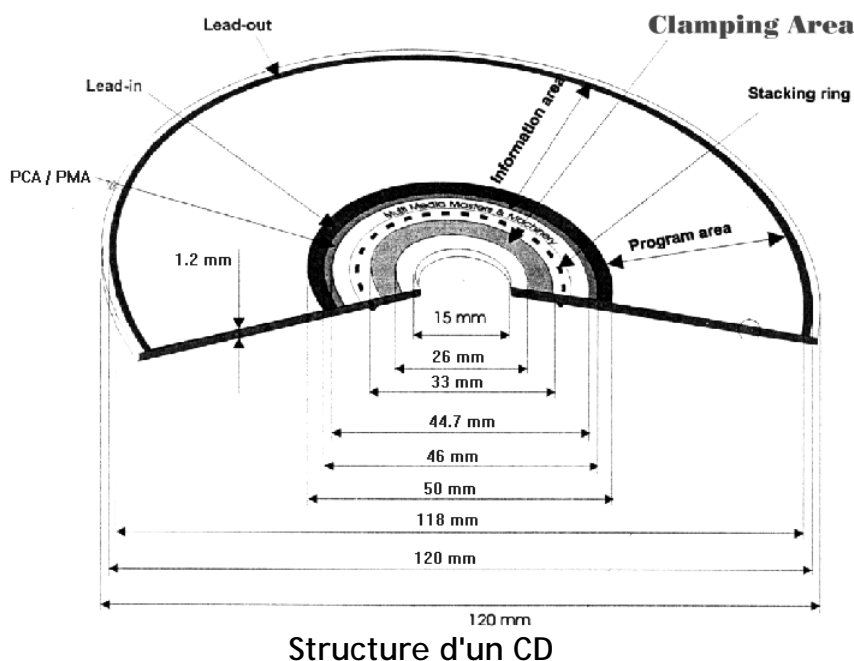
Puis de 44,7 mm à 46 mm il y a la zone PCA / PMA (uniquement sur les CD-R et RW) :
PCA : Power Calibration Area. C'est une zone qui est utilisée dans le cas de CD-R par le graveur pour effectuer des tests de puissance de gravage. Ceci est compréhensible étant donné la multitude de fabricants de CD-R.

PMA : Program Memory Area. On retrouve l'état du CD si il à été finalisé ou non (dans le cas de CD multisession). Le graveur stock dans cette zone une sorte de table des matières provisoire du CD.

Ensuite on retrouve le Lead-in : c'est la table des matières du CD-Audio, le lecteur y retrouve toutes les informations nécessaire a son fonctionnement.

Voilà enfin la partie ou sont stockées les informations de votre CD.

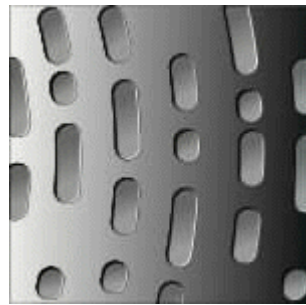
Et en dernier on retrouve le Lead-out qui a la même utilité que le Lead-in cité plus haut.



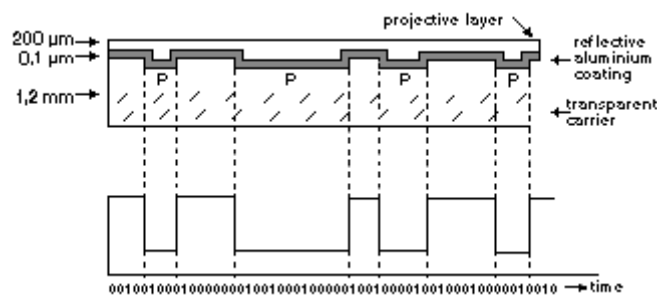
Sa surface :

Si l'on regarde un CD avec un microscope on remarque que sa surface n'est autre qu'une suite de bosses (pits) et de creux (sillons du CD). Ces bosses et ces creux ne sont autres que les données codées sous forme binaire (0 ou 1). Pour les détails liés au fonctionnement ce référer a la partie Fonctionnement.

La figure ci-dessous représente les sillons (groove) du CD avec les Pits.



Surface d'un CD



Représentation des Pits (P) et des interruptions (Land) vue de profil

Le Procédé de Fabrication :

Le processus de reproduction en masse des disques est comparable à celui des microsillons (vinyles) et de l'imprimerie en général, c'est à dire : création d'une matrice et exploitation d'un système de pressage. Les contraintes liées aux dimensions microscopiques des sillons des CD ont conduit à mettre au point une technologie en salle blanche relativement lourde afin d'éviter que les poussière ne viennent altérer le signal. En dehors de ces précautions le processus est assez simple et ce divise en plusieurs partie décrite ci-après.

Pour la fabrication d'un CD vierge de quelque sorte soit il, le procédé de fabrication est semblable à la seule différence qu'il n'y pas de Premastering et la matrice est " vierge " elle n'a qu'un sillon.

Premastering

La mission principale du Premastering est de préparer une bande U-Matic (Bande magnétique où les informations sont codées en digitale) ou un CD-R.

Dans le cas de l'utilisation de bande U-Matic en plus de la musique, des informations supplémentaires sont ajoutées au signal : Un code de temps, un sous code contenant le début et la fin de la musique, une table des matières, durée et temps de la musique et enfin les informations concernant le constructeur.

Dans le cas de l'utilisation d'un CD-R les problèmes cités précédemment n'ont pas lieu car le CD-R est une copie parfaite du futur CD.

Mastering (Création du Glassmaster)

La première " vraie " étape du processus de fabrication de CD, consiste à " transférer " les données issues du Premastering sur un disque de verre de 240 mm de diamètre et 6 mm d'épaisseur. Les étapes sont les suivantes :

Dans une première étape le disque de verre est introduit dans une machine appelée RMP (Resist Master Préparation) et il subit les opérations suivantes :

Lavage à l'eau pure et brossage.

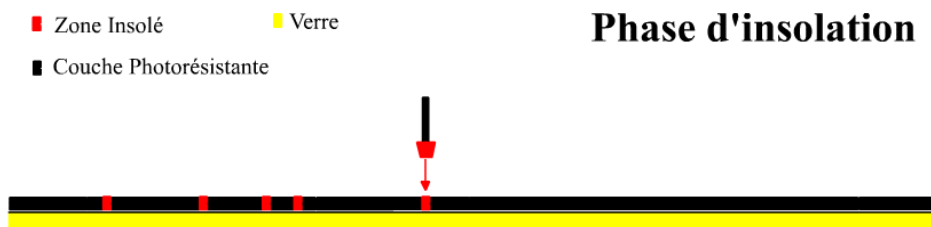
Lavage avec un solvant organique.

Application, par centrifugation, d'une couche très fine d'un " adhésif ", qui servira de couche d'accrochage entre le verre et le photo résiste.

Application, par centrifugation, d'une couche de " photoresist " qui est un produit organique réagissant avec la lumière comme un film photo.

Ensuite le disque de verre est placé dans une étuve pour évaporer le solvant.

Par la suite le photoresist est exposé à la lumière Laser. Ce processus est réalisé par la machine LBR (Laser Beam Recorder). Suivant si l'on désire préparer le master d'un CD ou d'un DVD l'on utilisera un Laser de type différent (à Argon pour les CD et à Crypton pour les DVD). Le laser est focalisé sur la surface de photoresist, le support de verre tourne comme le futur CD et le laser illumine les endroits qui deviendront des Pits ; de cette manière le photoresist est exposé à cette lumière comme un film Photo. Les endroits exposés ont donc changé d'état chimiquement mais on ne peut pas encore voir le résultat (au microscope).



La prochaine étape consiste à développer le photorésist. Pour ce faire on arrose la surface avec un produit nommé Développeur. Ce dernier réagit chimiquement et attaque les endroits qui ont été préalablement exposé au laser. Ainsi les Pits exposé se creusent chimiquement jusqu'à la surface du verre. Mais il est important de stopper le développement au bon moment pour ne pas détériorer la qualité des Pits par une trop longue exposition a la réaction chimique . Après cette opération les Pits sont donc présent physiquement sur la surface, mais le disque de verre n'est encore utilisable, passons donc a la dernière étape du Mastering.

■ Zone Insolé ■ Verre
■ Couche Photorésistante

Phase de développement



La dernière étape consiste a déposer sur la surface du Glassmaster une fine couche de métal. Cette couche devra être :

Suffisante pour garantir un bon passage du courant électrique dans le bain galvanique (étape suivant le Mastering).

Pas trop épaisse pour garantir la fidélité de la hauteur des pits.

Electroforming :

Le Glassmaster est un objet très délicat et sa durée de vie ne dépasse pas 15 jours. De plus il n'est pas utilisable pour produire les CD car il nous faut un " négatif " du CD pour des raison expliqué plus loin.

Par le procédé de l'Electroforming (ou de Galvanisation) nous obtenons une copie (en négatif) du Glassmaster mécaniquement robuste et donc utilisable pour fabriquer des CD's.

La procédure de l'électroforming est la suivante :

Le Glassmaster est introduit dans un bain de nickelage gavanique où une couche de nickel est déposée sur la surface argentée. Cette couche épouse à la perfection la forme des pits.

Le procédé galvanique consiste à faire migrer des ions métalliques de nickel, se trouvant en solution dans le bain, ceci sous l'effet d'un champ électrique. Le Glassmaster se trouve sur sur la cathode (-) tandis que l'anode (+) est en nickel. L'anode de nickel (billes de nickel) se dissolvent dans le bain et maintiennent une concentration en nickel constante.

En principe le dépôt de nickel est arrêté lorsque la couche de nickel atteint les 300 microns. Il est important que cette couche soit très précise.

■ Métal ■ Verre
■ Couche Photorésistante

Electroformage



Ensuite cette couche de nickel est séparée manuellement du support en verre. Les résidu d'argent et de photoresist sont enlevé du support en verre par procédé chimique puis le support retourne au Mastering prêt pour une nouvelle utilisation. Cette pièce de métal s'appelle le " Père " ou " Père Stamper " suivant sont utilisation direct ou non dans la presse de production.

Dans la plupart des cas, et toujours par voie de galvanisation, du Père est obtenu une copie appelée Mère qui est un négatif du père et elle servira a la production de fils obtenu toujours par le même procédé qu'auparavant.

Pourquoi ne pas utilisé directement le Père ? Pour des raison de sécurité et d'économie. Un Père est une pièce unique (le Glassmaster est détruit pendant la séparation, voir Mastering) mais on peut obtenir plus de dix Mères d'un Père puis de chaque mère plus de dix Fils. Le coût d'un fils est bien inférieur au coût d'un Master sur verre.

Le père ou le Fils deviendront Stamper (Presseur), ceci après polissage de la face arrière pour une adaptation parfaite de ceux-ci sur la presse, le découpage d'un trou de centrage et le découpage du diamètre externe pour avoir les cotes exactes (Diamètre).

Réplication :

La méthode classique de production des CD's se fait au moyen d'un moulage par injection plastique.

Le Stamper est placé à l'intérieur d'une cavité (égale a la dimension du futur CD). Du thermoplastique (Polycarbonate), fondu à environ 300 degrés centigrade, est injecté sous forte pression dans la cavité du moule. Il est immédiatement refroidi par contact avec les parois du moule relativement froide et se solidifie.

- Métal
- Plastique
- Couche Photorésistante

Moulage



Une fois la solidification totale du plastique, le moule s'ouvre et le bras d'un robot retire du moule la pièce injectée. Cette pièce a donc une face qui contient le négatif du Stamper (se sont les futur données) et une face lisse (c'est la face qui est lue).

Ensuite la surface de la " pièce " contenant les Pits (données) est métallisée avec de l'Aluminium, par un procédé de métallisation sous vide appelé Sputtering. C'est à cet instant précis que la " pièce " devient un CD lisible par un lecteur.

- Métal
- Plastique
- Couche Photorésistante

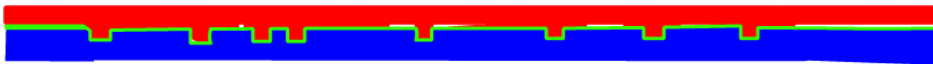
Métalisation



Le CD à ce stade n'est pas utilisable durablement, car la couche d'aluminium est très fragile. Une protection est obligatoire. Elle est obtenue par un laquage avec une résine de longue durée de vie et résistante à la rayure.

- Métal
- Plastique
- Couche Photorésistante
- Protection

Protection



Finalement le CD est imprimé avec le titre, ceci sur la surface laquée. Divers procédé d'impression existe : Sérigraphie, Offset, Tampographie.

Tous les CD sont inspectés par un scanner de contrôle visuel. Il consiste d'inspecter la surface miroir et de trier ceux qui ont des défauts visuels hors normes.

Pour les autres éventuels défaut les contrôle sont effectués par échantillonnage (1 CD toute les 300 pièces), le CD est analysé grâce a un appareil adéquat.

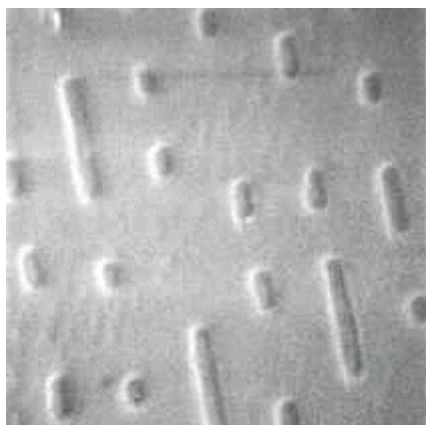
Fabrication du CD :

Spécification du CD :

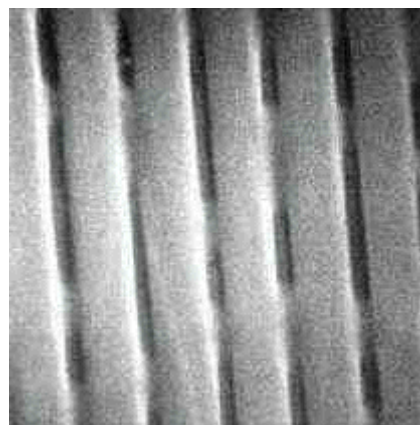
Un CD est composé de 22188 spires a travers la surface d'information du disque. L'ensemble de la spirale peut contenir 3 milliards de pits. La longueur de la spirale est d'environ 6 km. **La structure du CD est si petite que les pits diffractent la lumière et créent un arc en ciel.**

Propriétés	CD (Compact Disk)
Diamètre	120 mm
Épaisseur du disque	1,2 mm
Nombre de face	1
Nombre de couche	1
Capacité de mémoire	650 Mo à 700 Mo
Pas des pistes	1,6 micromètre
Dimension minimum des pits	0,834 micromètre
Vitesse linéaire de	1,2 m/s

Différence entre le CD et le CD-R :



Surface d'un CD

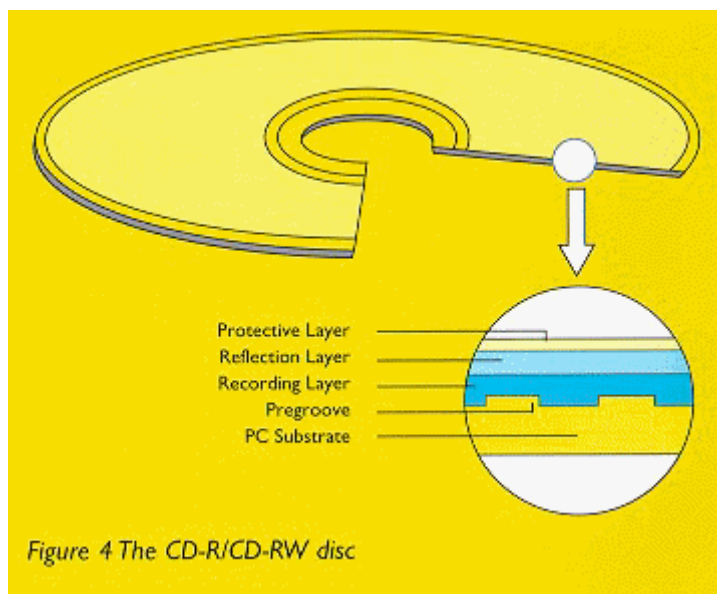


Surface d'un CD-R

Au niveau de la lecture et du stockage des données le CD et le CD-R n'ont aucune différence, toutefois des différences existent quand à la complexité de fabrication. Le CD-R a un temps de moulage 2 à 3 fois plus long qu'un CD ordinaire étant donné que le respect des cotes (Dimensions) sont beaucoup plus importantes, de plus la planéité est capitale pour obtenir un bon CD-R.

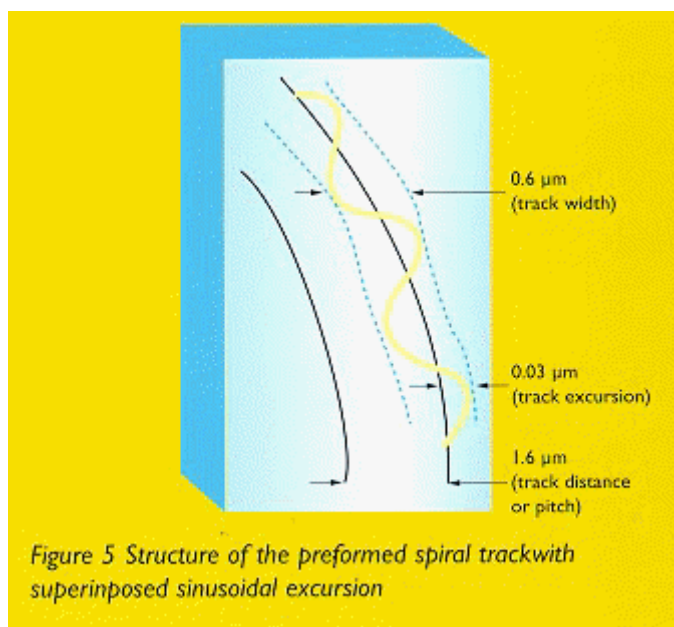
La couche métallique du CD-R peut être une couche or ou une couche argent (Pour une meilleure réflexivité).

Le CD-R vierge contient principalement un sillon continu (Pregroove), ce dernier est obtenu par Réplication. Ce sillon guide le graveur pour former les (futurs) pits au bon endroit. La forme du sillon est similaire à la forme du pits mais ne contient pas d'interruption (lands).



Pregroove

Le sillon n'est pas une spirale parfaite. Le sillon est ondulé avec une amplitude d'environ 30 nm. Cette ondulation est de 22,05 KHz. Cette fréquence est une " fréquence porteuse " d'une deuxième ondulation superposée à la première. La deuxième contient le signal ATIP (Absolute Time In Pre-groove, temps absolu dans le pré-sillon). Dans le CD-R le message ATIP sert à indiquer au graveur la position (en temps) sur le CD. ATIP commence à 00 min, 00 sec au début du programme. ATIP est invisible par le lecteur.

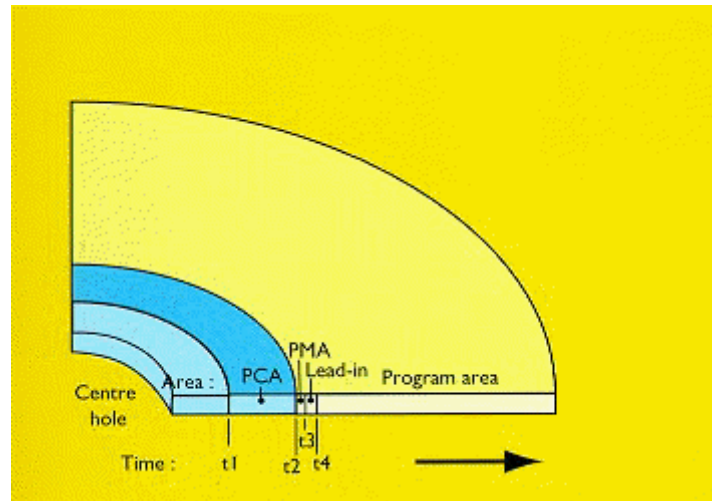


Représentation du signal ATIP

Comme indiqué dans la page précédente (Fabrication) le CD-R a deux zone supplémentaires: la PCA et la PMA.

PCA : Power Calibration Area. C'est une zone qui est utilisée dans le cas de CD-R par le graveur pour effectuer des tests de puissance de gravage. Il y a assez de place pour effectuer une centaine de tests d'optimisation. Ceci est compréhensible étant donné la multitude de fabricants de CD-R et de graveurs.

PMA : Program Memory Area. On retrouve l'état du CD si il à été finalisé ou non (dans le cas de CD multisession). Le graveur stock dans cette zone une sorte de table des matières provisoire du CD.



Zone de la PMA et PCA

Le CD-R a par ailleurs une couche supplémentaire le Dye c'est la dernière différence physique que l'on peut remarquer entre les CD's et les CD-R.

Le DYE est une fine couche directement déposée sur le CD transparent après son matriçage, cette couche épouse la forme du sillon. Le DYE est une substance chimique qui se chauffe par le rayonnement du laser du graveur et produit une zone (pits) qui a des caractéristique d'absorption de la lumière et donc plus de réflexion.

Après échauffement (fusion) du DYE et du Poly Carbonate en contact, le changement de structure est tel que le retour en arrière (effacement du pits) est impossible.

Le DYE se trouve en trois principales variantes:

Cyanine :

Elle est fortement sensible à la lumière mais pas assez stable dans le temps, c'est pourquoi elle est améliorée par l'adjonction de stabilisants. La couleur de la Cyanine est bleu foncé, mais la combinaison avec la couleur or fait que les CD-R's à Cyanine ont une couleur verte.

Cette variante est bon marché, mais la réflexion et le contraste sont faible, ce qui peut entraîner des problèmes de lecture sur des vieux lecteur CD-ROM. De plus sa durée de vie est très faible, environ 10ans.

Pthalocyanine :

Elle est moins sensible que la Cyanine mais plus stable. Sa couleur est Vert-jaune très claire, et la combinaison avec la couleur de l'or ne fait pas trop changer la couleur sur le CD-R. Elle possède une réflexion élevée et parfaitement utilisable sur de vieux lecteur et sa durée de vie est très longue, au alentours de 100 ans.

Azo / Azure :

Dernière des matières à être employée, elle est bleue comme les CD-R vert, mais la couche de reflet métallique est argent (au lieu de or), ce qui donne une couleur Bleu / Gris. Elle combine la qualité des deux autres, faible prix, réflexion élevée et durée de vie de 100 ans.

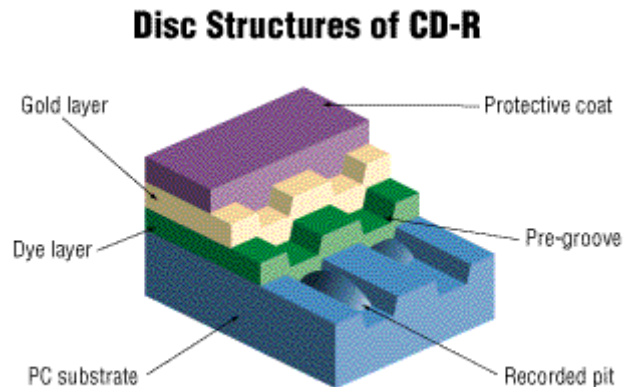


Figure 2

Le CD-RW:

Le CD ReWritable offre l'opportunité d'enregistrer, d'effacer et de réenregistrer. Sa réflectivité est plus faible étant donné sa composition, de ce fait pas tous les lecteurs peuvent lire les CD-RW, par contre les lecteurs de CD-RW sont compatibles avec les autres formats.

La structure du CD-RW a été calquée sur la structure du CD-R.

La différence du CD-RW par rapport au CD-R est la couche de Dye qui est totalement différente. Cette couche est de type Te Ge Sb et elle peut se trouver dans deux états différents.

Etat 1: Les atomes de l'alliage se trouvent parfaitement alignés (état cristallin), comme ceci est le cas dans un cristal (vous pouvez imaginer plein de petits miroirs, tous bien alignés). Dans cette condition la matière est réfléchissante.

Etat 2: Les atomes de l'alliage se trouvent totalement dispersés (état amorphe, des miroirs se trouvant dans une disposition quelconque). Dans cette condition la matière absorbe la lumière.

Le passage d'un état à un autre :

De l'état 1 à l'état 2 : La couche est fortement chauffée sous l'effet de la source laser et elle fond. Dès l'éloignement de la source laser la matière se refroidit rapidement et une " trempe métallurgique " s'opère. Les atomes sont bloqués dans une position quelconque.

De l'état 2 à l'état 1 : La couche est chauffée modérément. La matière subit un " revenu ", qui homogénéise la disposition des cristaux et les oriente uniformément.

L'effacement des données sur un CD-RW est de deux types :

Effacement physique : le groove est chauffé et s'uniformise et les marques (pits) disparaissent.

Effacement logique : La table des matières TOC est enregistrée avec un contenu " Zéro ".

Pour l'instant le prix d'un CD-RW reste 10 fois plus cher qu'un CD-R ordinaire.

Le CD-MO:

Le CD magnéto optique du type Mini-disc a les même avantage que le CD-RW mais n'utilise pas le même principe.

Le principe est le suivant : le sillon est " rempli d'aimant " et en fonction de leurs polarisations ces aimants vont réfléchir ou pas la lumière du laser. La polarisation des aimants est changée par une tête magnétique (comme pour les disque dur), simplement les aimants changent de polarisation uniquement si ils sont soumis à une certaine chaleur. Le laser réchauffe donc la surface afin de permettre le changement de polarité piloté par la tête magnétique.

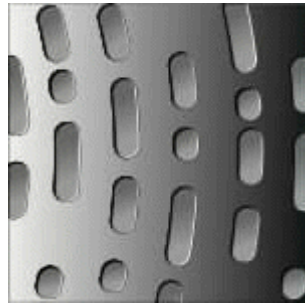
Fabrication du DVD :

Spécification du DVD :

Le DVD de part son aspect ne présente aucune différence avec le CD mais en observant le tableau ci-dessous on remarque vite quel sont ses différences physiques par rapport au CD.

Propriétés	CD (Compact Disk)	DVD (Digital Versatil Disk)
Diamètre	120 mm	120 mm
Épaisseur du disque	1,2 mm	0,6 mm
Nombre de face	1	1 ou 2
Nombre de couche	1	1 ou 2
Capacité de mémoire	650 Mo à 700 Mo	4,7 Go (Monocouche, Mono Face) 9,4 Go (Monocouche, Multiface) 8,5 Go (Multicouche, Mono Face) 17 Go (Multicouche, Multiface)
Pas des pistes	1,6 micromètre	0,74 micromètre
Dimension minimum des pits	0,834 micromètre	0,4 micromètre
Vitesse linéaire de rotation de référence	1,2 m/s	4,0 m/s

La longueur de la piste où sont stockées les données est de 11 Km. Comme on peut le remarquer les différences fondamentales entre le CD et le DVD se trouvent dans le pas des pistes et la dimension minimum des pits. Grâce aux dessins ci-dessous on peut plus aisément se faire une idée, ce qui nous démontre parfaitement pourquoi une telle différence de volume de stockage des données il y a entre ces deux supports.

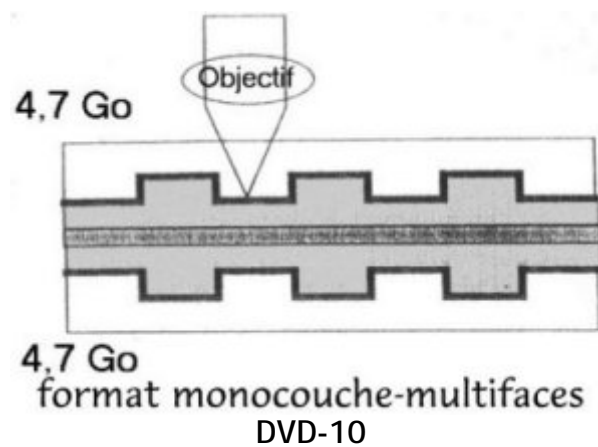
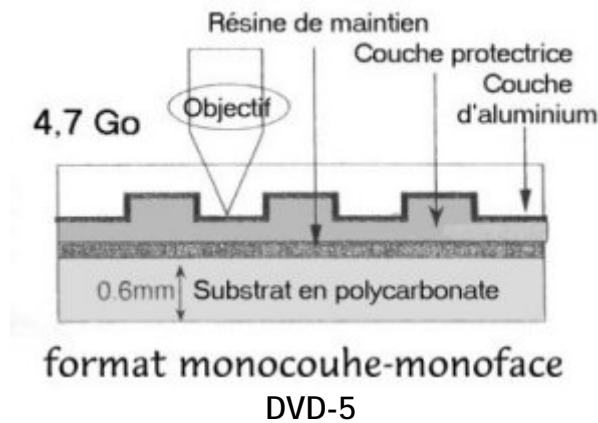


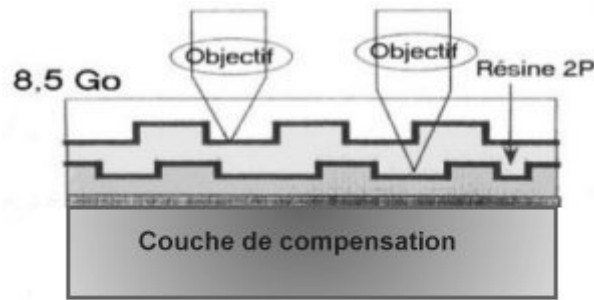
Surface d'un CD



Surface d'un DVD

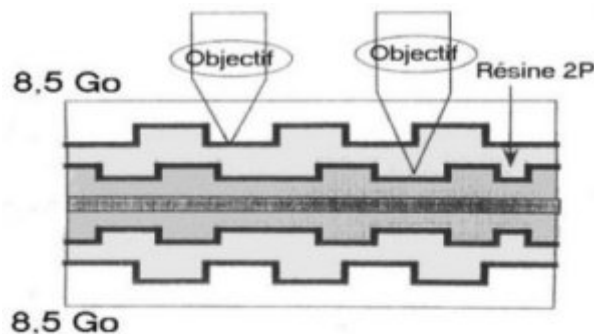
D'autre part les DVD's peuvent avoir plusieurs couches et deux faces, ce qui donne:





Format Multicouche - Monoface

DVD-9



format multicouches-multifaces

DVD 18

Ces DVD's ont des types bien définis :

Le DVD-5 est composé de deux disques collés, avec un seul portant des informations et un sans structure (Vierge). Sa capacité est de 4,7Go.

Le DVD-10 est composé de deux disques, portant les deux des informations. Ils sont collés de la même façon que le DVD-5.

La capacité est de 9,4 Go. La lecture de l'autre face demande de retourner le disque ou de posséder un lecteur double têtes (dessus / dessous).

Le DVD-9 est composé de deux disques.

Le disque externe est comme le disque du DVD-5, mais la métallisation est semi transparente.

Le disque interne est comme le disque du DVD-5.

Les deux couches sont gravées en sens opposés.

La capacité est de 8,5 Go.

Le DVD-18 est composé de disques collés, avec les deux portant des informations sur deux couches.

La capacité est de 17 Go.

Les Dérivés du DVD :

Le DVD-ROM, DVD-Video, DVD-Audio sont des DVD's répliqués, ils sont préenregistrés, alors que les DVD-R (enregistable) et DVD-RAM et DVD-RW (ré-enregistable) reposent sur une technologie de gravure à l'unité.

Le DVD-R est pour le DVD ce qui est le CD-R pour le CD.

Le DVD-RAM a la particularité d'être dans une cartouche (comme un Mini-disc) et a à peu près la même structure qu'un disque dur, il est partagé en secteur et possède des zones qui sont préenregistrées (avec des Pits) et des zone enregistable.

Couche d'enregistrement d'un disque Blu-ray :

Une caractéristique distincte du Blu-ray est la position de la couche d'enregistrement. Dans les DVD, cette couche se situe entre deux couches de polycarbonate de 0,6 mm, tandis que celle du Blu-ray est positionnée près de la surface d'un substrat en plastique de 1,1 mm qui est recouvert d'une couche protectrice mince de 0,1 mm. Non seulement la lecture du disque est-elle plus facile puisque le laser a une plus courte distance à parcourir, mais la densité d'enregistrement est augmentée parce que le laser peut être dirigé plus étroitement par l'ouverture plus grande de 0,85 NA de la lentille (voir la figure 1 ci-contre). De plus, ce positionnement minimise les problèmes d'inclinaison reliés à la résistance du substrat durant le processus de moulage par injection utilisé pour fabriquer les disques. Il y a risque que le laser se sépare en deux faisceaux (phénomène connu sous le nom de biréfringence) et, si la séparation devient excessive, il est impossible de faire la lecture des données enregistrées sur le disque.

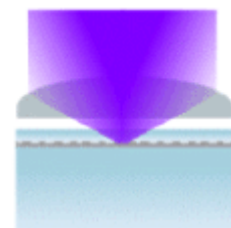


Figure 1

Évidemment, il y a certains désavantages à ce que la couche d'enregistrement soit si près de la surface du disque — les données sont exposées à l'abrasion accidentelle, à la poussière et aux empreintes digitales. Pour éviter ces avatars, une couche de protection dure, spécialement formulée, est appliquée sur la couche supérieure. La couche de protection est assez résistante pour empêcher les abrasions accidentelles et pour permettre d'essuyer la poussière et les empreintes de la surface du disque.

Fonctionnement de base du CD et du DVD :

La tête de Lecture :

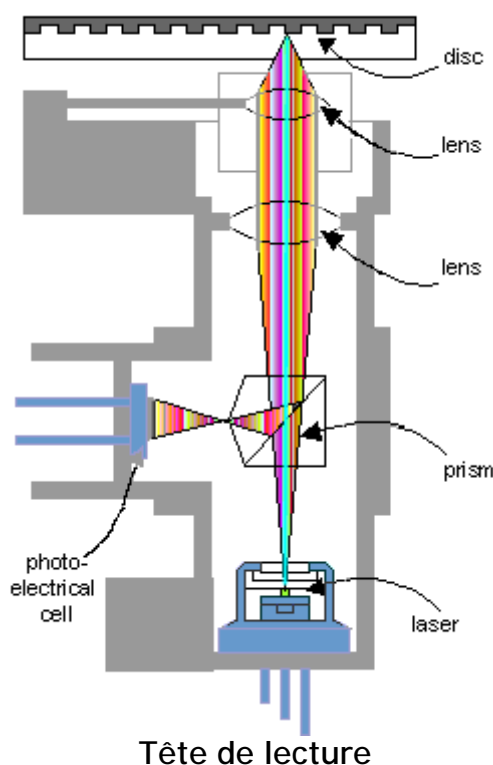
Avant toute autre explication il est important de savoir de quoi est composée la tête de lecture.

Elle est composée en deux parties principales:

Une qui émet le faisceau laser (la diode laser).

Une qui reçoit le rayon après qu'il ait frappé le disque (photodiode ou photo détecteur).

Pour éviter que le faisceau ne revienne sur la diode laser, un prisme se charge de dévier le rayon vers la photodiode.



On distingue généralement deux modes de fonctionnement pour la lecture de 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 ou bien même 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, ainsi il est nécessaire d'adapter la vitesse de lecture (donc 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, il y a donc un gain de capacité. 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.

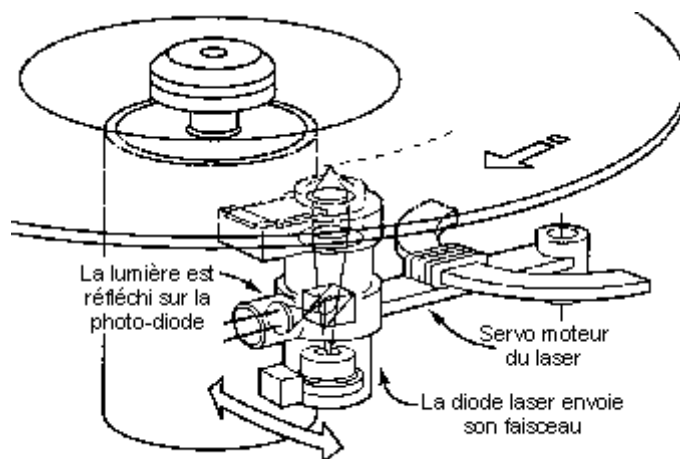


Schéma de la mécanique d'un lecteur de CD

Le principe de Lecture :

Le fonctionnement d'un disque compact (CD ou DVD) est assez simple: Le sillon du disque est une suite de creux (land) et de bosse (pits) réparti tout au long de la spirale qui constitue la piste d'information.

Le principe de lecture du disque n'est pas compliqué, comme vous le savez déjà, un miroir réfléchit la lumière, c'est donc cette propriété du CD que l'on utilise pour y lire des informations.

Le codage des informations :

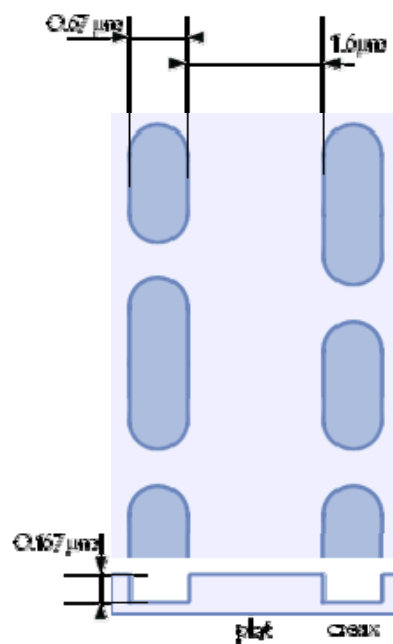
La piste physique est en fait constituée d'alvéoles d'une profondeur de $0,168\mu\text{m}$, d'une largeur de $0,67\mu\text{m}$ et de longueur variable. Les pistes physiques sont écartées entre elles d'une distance d'environ $1,6\mu\text{m}$. On nomme creux (en anglais pit) le fond de l'alvéole et on nomme plat (en anglais land) les espaces entre les alvéoles.

Le laser utilisé pour lire les CD a une longueur d'onde de 780 nm dans l'air. Or l'indice de réfraction du polycarbonate étant égal à $1,55$, la longueur d'onde du laser dans le polycarbonate vaut :

$$780 / 1,55 = 503\text{nm} = 0,5\mu\text{m}.$$

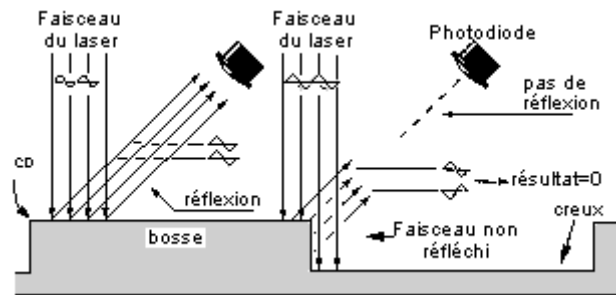
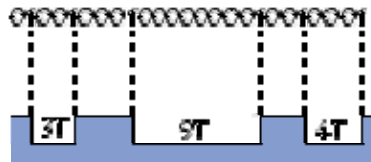
La profondeur de l'alvéole correspond donc à un quart de la longueur d'onde du faisceau laser, si bien que l'onde se réfléchissant dans le creux parcourt une moitié de longueur d'onde de plus (un quart à l'aller plus un quart au retour) que celle se réfléchissant sur le plat.

De cette façon, lorsque le laser passe au niveau d'une alvéole, l'onde et sa réflexion sont déphasées d'une demi-longueur d'onde et s'annulent (interférences destructrices), tout se passe alors comme si aucune lumière n'était réfléchi. Le passage d'un creux à un plat provoque une chute de signal, représentant un bit.



C'est la longueur de l'alvéole qui permet de définir l'information. La taille d'un bit sur le CD, notée "T", est normalisée et correspond à la distance parcourue par le faisceau lumineux en 231.4 nanosecondes, soit $0.278\mu\text{m}$ à la vitesse standard minimale de 1.2 m/s.

D'après le standard EFM (Eight-to-Fourteen Modulation), utilisé pour le stockage d'information sur un CD, il doit toujours y avoir au minimum deux bits à 0 entre deux bits consécutifs à 1 et il ne peut y avoir plus de 10 bits consécutifs à zéro entre deux bits à 1 pour éviter les erreurs. C'est pourquoi la longueur d'une alvéole (ou d'un plat) correspond au minimum à la longueur nécessaire pour stocker la valeur 001 (3T, c'est-à-dire $0.833\mu\text{m}$) et au maximum à la longueur correspondant à la valeur 0000000001 (11T, soit $3.054\mu\text{m}$).



Réflexion du faisceau laser en fonction du relief

Il est important de noter que la photodiode ne mesure que les changements d'états, c'est à dire qu'elle mesure les flans montants (lorsque la quantité totale de lumière est réfléchi) et les flans descendant (lors du minimum d'intensité sur la photodiode).

Ces valeurs sont ensuite traitées par le système électronique du lecteur et convertie en signal numérique. Ce qui est important à savoir, les données sont codées avec un code de corrections des erreurs, ce code n'est pas le même pour les DVD's que pour les CD's ceci est défini par les BOOKS.

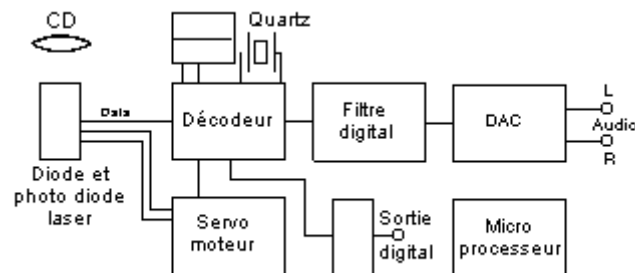
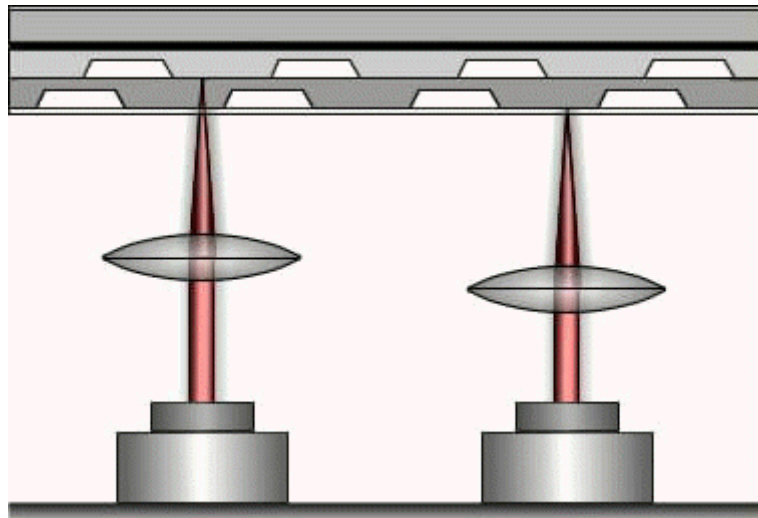


Schéma de principe du fonctionnement d'un lecteur audio

Particularités du DVD et bluray :

Le DVD qui à la particularité d'avoir plusieurs couche se doit donc d'avoir un lecteur particulier. Le principe de base demeure identique que précédemment a la seul différence que la tête de lecture à la possibilité de focaliser sur la première où la seconde couche.



Principe de focalisation du DVD

Particularités du CD-R, RW et MO :

Les particularités au niveau du fonctionnement ne sont pas grande. En fait au lieu d'avoir des différences de hauteur (pits et land) les CD-R et RW ont des zones qui sont non réfléchissantes après avoir été soumise à la chaleur du laser lors du gravage. Idem pour le CD-MO sauf que le changement d'état ne s'est pas fait grâce a la chaleur du laser mais grâce à une tête d'écriture magnétique.

Webographie :

Histoire du laser : <http://www2.fsg.ulaval.ca/opus/physique534/optique/laser01.shtml>

CD et DVD : <http://www.commentcamarche.net/contents/pc/cdrom.php3>

<http://www.geocities.com/neilpryde74/fabri.htm>

Histoire du bluray : <http://www.dvdfly.fr/dvd-blu-ray/blu-ray-dvd.htm>

http://www.maxellcanada.com/francais/pdfs/blue_ray_wp_fr.htm