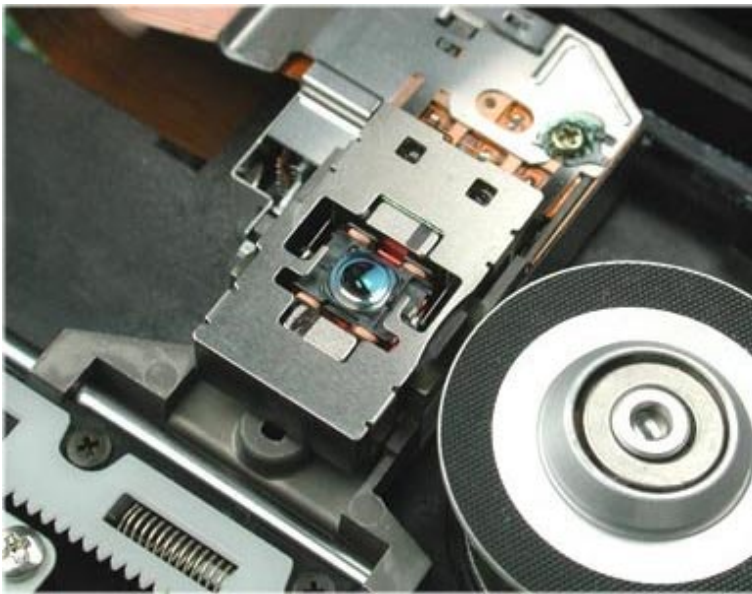




# Stockage optique



jean-philippe muller

Version octobre 2003

## **Sommaire**

### **Le disque CD**

1. Le disque CD préenregistré
2. Le stockage des données sur le CD
3. Le principe de la lecture des données
4. La structure du système optique de lecture
5. La mécanique de lecture
6. La diode laser
7. L'optique à 3 faisceaux
8. Exemple de capteur optique SONY
9. Exemple de bloc optique
10. Le fonctionnement de l'optique à 3 faisceaux
11. L'asservissement de focalisation
12. L'asservissement de suivi de piste
13. Les circuits de lecture
14. L'asservissement de vitesse
15. Le standard CD audio
16. Structure des disques CD-R et CD-RW
17. Le sillon de guidage
18. L'enregistrement des données sur le disque

### **Le disque DVD**

19. Le marché des DVD
20. La densité des informations sur le disque
21. Le disque DVD préenregistré
22. Le suivi de piste par asservissement de phase
23. Exemple de circuit pour lecteur CD-DVD
24. Les disques DVD enregistrables
25. Le DVD-R(W)
26. Le DVD-RAM
27. Le DVD+R(W)
28. Les différents standards de DVD
29. Le Blu-Ray : successeur du DVD ?
30. Les caractéristiques principales du Blu-Ray



## 1-Le disque CD préenregistré

Le CD (Compact Disc) est un disque optique de 12 cm de diamètre et de 1.2 mm d'épaisseur permettant de stocker des informations numériques : 650 Moits de données informatiques ou 74 mn de données audio :

- le CD Audio a été lancé par Sony et Philips en 1982 afin de constituer un support audio compact de haute qualité permettant un accès direct aux pistes numériques
- en 1984, les spécifications du Compact Disc ont été étendues (avec l'édition du *Yellow Book*) afin de lui permettre de stocker des données numériques sous la forme du CDROM ou CDR

Figure 1.  
La piste en spirale  
du CD.

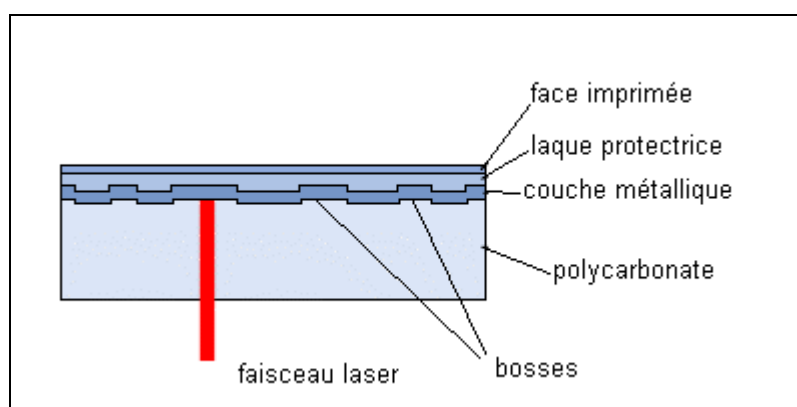


Les données sont inscrites sur une piste en spirale qui fait près de 5 km de long, du centre vers l'extérieur et compte 22188 tours.

Les CDA et CDROM sont constitués de 4 couches :

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

Figure 2.  
La constitution d'un  
CD-ROM.



Les bosses du support en polycarbonate apparaissent pour le faisceau laser comme des cuvettes :

- on appelle creux (en anglais pit) ou cuvette le fond de l'alvéole
- on nomme plat (en anglais land) les espaces entre les alvéoles

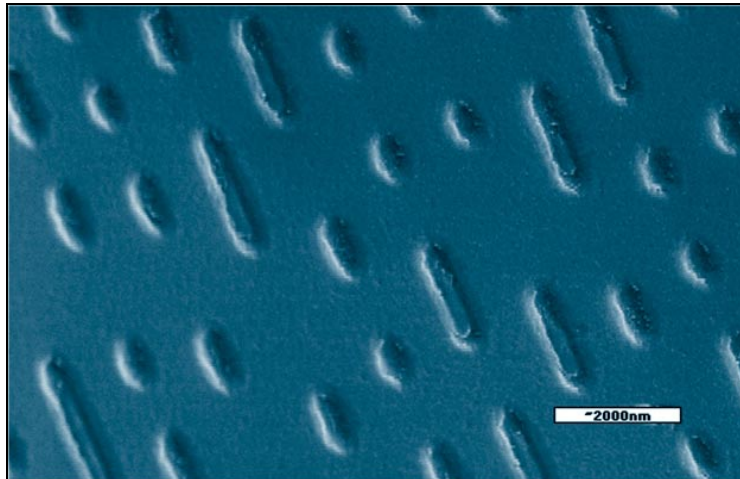


## 2-Le stockage des données sur le CD

Les creux sont alignés le long de la piste :

- ils ont une profondeur de  $0,12\text{ }\mu\text{m}$  et une largeur de  $0,6\text{ }\mu\text{m}$
- leur longueur varie entre  $0,84$  et  $3,3\text{ }\mu\text{m}$
- le pas de la piste en spirale est de  $1,6\text{ }\mu\text{m}$

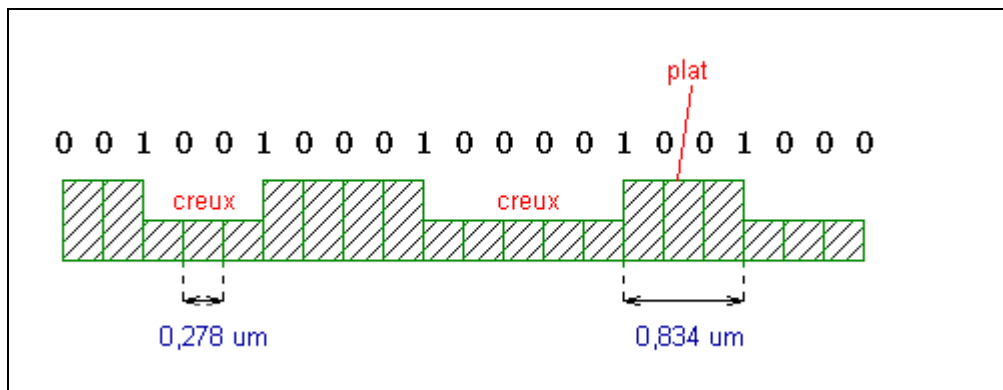
Figure 3.  
Les creux sur la  
surface du CD-  
ROM.



On pourrait penser que les creux correspondent à des « 1 » ou des « 0 ». La réalité est un peu plus complexe et les données binaires sont inscrites sur le disque de la manière suivante :

- la taille d'un bit sur le CD est normalisée et correspond à la distance de  $0,278\text{ }\mu\text{m}$
- les « 1 » sont inscrits sous forme d'une transition (bord de cuvette)
- les « 0 » sont inscrits sous forme d'une zone plate (fond de cuvette ou plat)

Figure 4.  
La correspondance  
entre les creux et  
les données.



Pour permettre aux circuits de suivi de piste et de récupération d'horloge de fonctionner, ces cuvettes ne doivent pas être trop longues ou absentes.

Ceci est obtenu par codage EFM (Eight-to-Fourteen Modulation) des données binaires :

- à chaque bloc de données de 8 bits, le codage EFM fait correspondre un bloc de 14 bits
- ce bloc de 14 bits a au moins deux bits à 0 entre deux bits consécutifs à 1, c'est à dire que le creux dure au moins 3 bits soit  $0,834\text{ }\mu\text{m}$
- ce bloc de 14 bits ne peut avoir plus de 10 bits consécutifs à zéro entre deux bits à 1, c'est-à-dire que le creux ne peut pas dépasser 11 bits soit  $3,06\text{ }\mu\text{m}$
- un bloc 000 ou 001 ou 010 ou 100 est intercalé entre 2 blocs de 14 bits pour éviter les chaînes de « 0 » trop longues suites à la concaténation

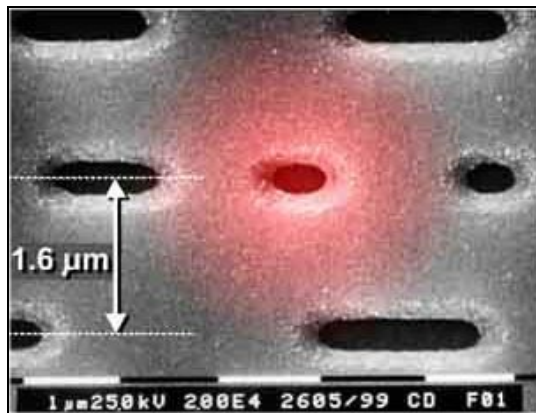
**Remarque :** à cause de ce transcodage le nombre de bits inscrits en réalité sur le disque est bien plus important que les 650 Mbits utiles.



### 3-Le principe de la lecture des données

La lecture du CD se fait à l'aide d'un spot laser infra-rouge ( $\lambda = 780\text{nm}$ ) focalisé par un système de lentilles qui arrive au niveau de la surface embossée avec un diamètre de l'ordre de  $1.6\mu\text{m}$ .

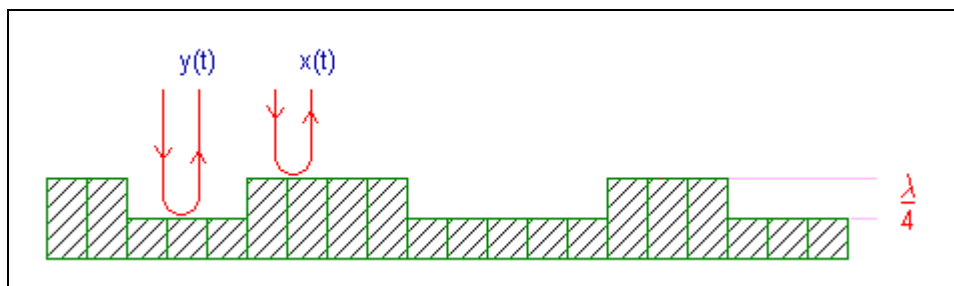
Figure 5.  
La tache d'impact  
du spot laser.



Le faisceau laser se réfléchit sur la surface métallisée, aussi bien sur le plat qu'au fond des creux :

- la lumière réfléchi sur le plat est une onde électromagnétique d'expression  $x(t) = X\cos(\omega t)$
- la lumière réfléchi au fond du creux parcourt une distance supplémentaire égale à une demi longueur d'onde et est donc déphasée d'une demi période :  $y(t) = Y\cos(\omega t + \pi) = -Y\cos(\omega t)$

Figure 6.  
Les 2 cas de  
réflexion sur le  
disque.

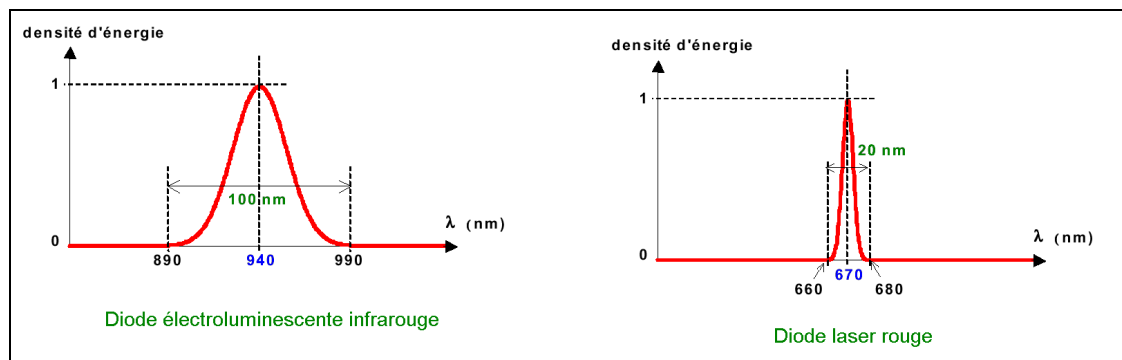


Lors de la lecture, deux cas peuvent se présenter :

- le spot tombe presque entièrement sur un plat, le signal réfléchi  $r(t) = x(t)$  a une amplitude maximale et le coefficient de réflexion est voisin de 90%
- une partie du spot tombe sur un creux, le signal réfléchi est la superposition de 2 signaux, il s'écrit  $r(t) = x(t) + y(t) = (X - Y)\cos(\omega t)$ , il a une amplitude plus faible et le coefficient de réflexion est compris entre 0,4 et 0,7.

Pour que ce dispositif fonctionne, il est impératif que la lumière soit monochromatique, c'est à dire ne contienne qu'une seule longueur d'onde.

Figure 7.  
Spectres d'émission  
des diodes LED et  
laser.



C'est la raison pour laquelle il n'est possible d'utiliser la lumière d'une diode électroluminescente ordinaire dans ces applications.

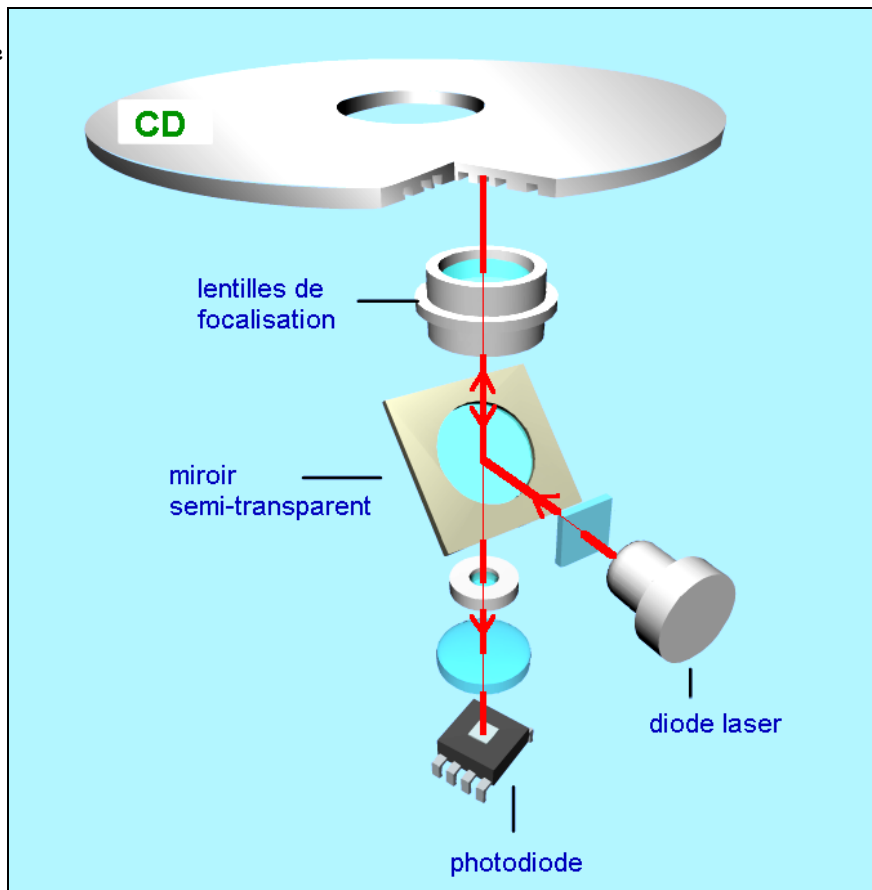


## 4-Structure du système optique de lecture

La grande majorité des systèmes de lecture a la structure simplifiée suivante :

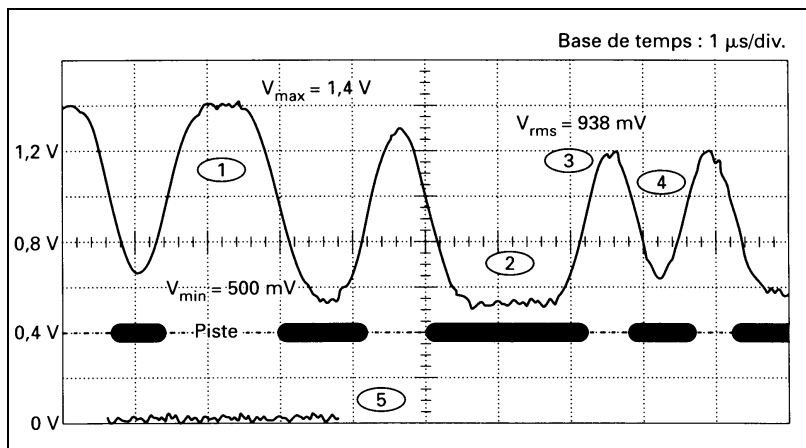
- une diode laser crée un faisceau fin de lumière monochromatique de longueur d'onde adaptée à la profondeur standardisée des creux
- le faisceau lumineux est envoyé vers le disque par une lame semi-transparente, puis focalisé
- le rayon réfléchi dont l'amplitude dépend des informations stockées sur le disque est focalisé sur la photodiode qui transforme son intensité en signal électrique

Figure 8.  
Schéma du système  
optique.



La lumière réfléchie d'amplitude variable est mesurée à l'aide d'une photodiode :

Figure 9.  
Le signal électrique  
en sortie du  
détecteur optique.



Ce signal doit être traité par un circuit à gain contrôlé et remis en forme avant de pouvoir récupérer les données binaires correspondant aux creux inscrits sur le disque.



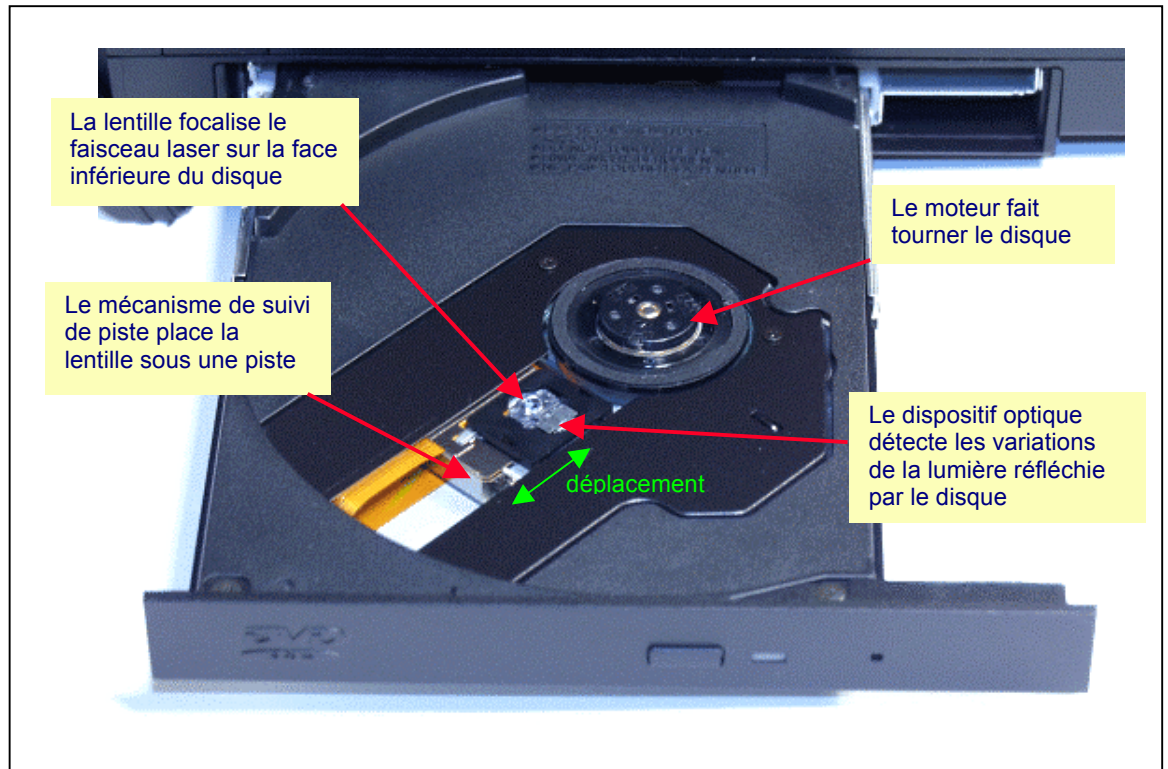


## 5-La mécanique de lecture

Un dispositif de lecture (et d'enregistrement) de données sur un disque optique numérique comporte les éléments suivants :

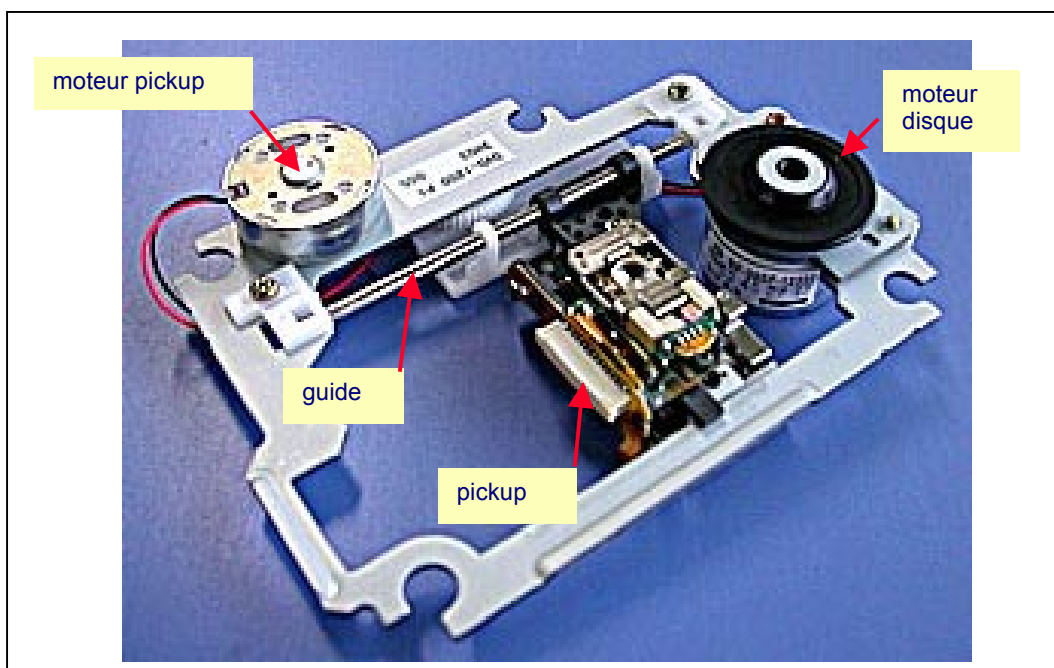
- un moteur asservi entraîne le disque à la vitesse correspondant au standard utilisé
- un chariot portant la source laser et le photo détecteur se déplace suivant un rayon du disque
- ce déplacement est asservi en position pour permettre la lecture des données le long du sillon

Figure 10.  
Le tiroir du lecteur  
CD.



Le chariot ou pickup est entraîné par un moteur et son mouvement est rectiligne grâce à un guide :

Figure 11.  
La mécanique  
complète du lecteur  
CD.



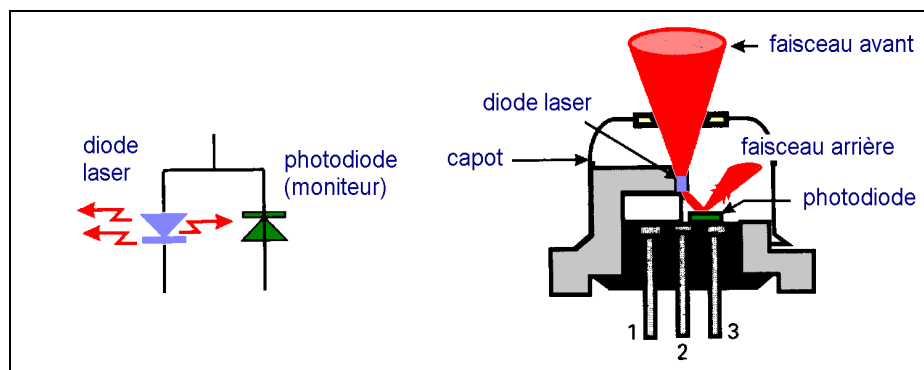


## 6-La diode laser

Le disque est éclairé par une diode laser à semi-conducteur à arséniure de gallium réalisé autour d'une jonction P-N polarisée en direct et constituant une cavité résonante.

- dans les années 80, les diodes laser à faible coût disponibles sont les lasers infra-rouge, ce qui justifie ce choix pour les lecteurs CD audio
- depuis, les progrès technologiques ont permis de produire des diodes laser émettant dans le rouge (DVD) et récemment dans le bleu (Blu-Ray)
- la puissance lumineuse dépend du courant de polarisation et de la température et est régulée grâce à une photodiode incorporée au boîtier
- une puissance optique de quelques mW est suffisante pour la lecture des CDROM et DVD, mais la gravure des CD-RW et des DVD nécessite une puissance beaucoup plus importante
- la puissance augmente encore si on veut graver les disques rapidement, ce qui a conduit à la fabrication de diodes fournissant des impulsions lumineuses de 250 mW (graveurs 48X)

Figure 12.  
Structure de la diode laser.



**Exemple :** caractéristiques de la diode laser Sony SLD239 pouvant fournir jusqu'à 200 mW pour un courant consommé de l'ordre de 200 mA. (diode utilisée dans les graveurs 32X)

Figure 13.  
Caractéristiques de la diode laser.

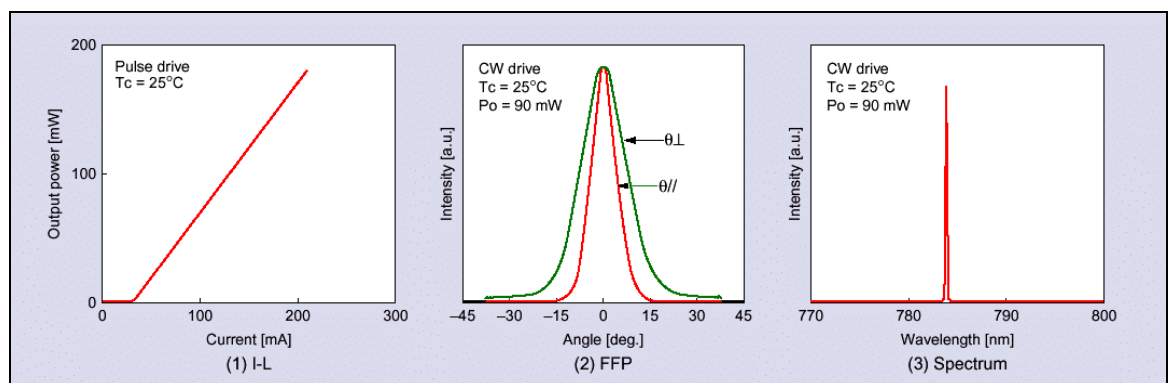
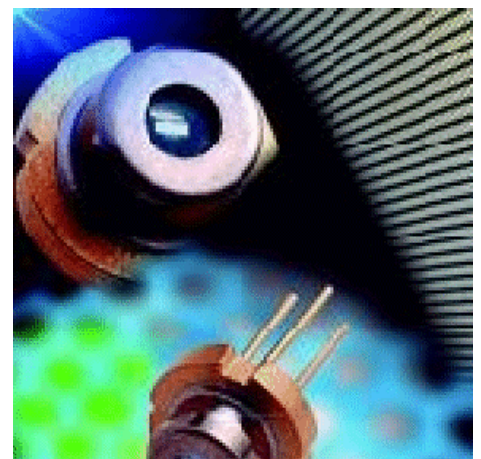


Figure 14.  
Valeurs typiques.

Item		Symbol	Typical value	Unit
Threshold current		$I_{th}$	30	mA
Operating current		$I_{op}$	120	
Operating voltage		$V_{op}$	2	V
Wavelength		$\lambda_p$	784	nm
Radiation angle	Parallel	$\theta_{//}$	8.3	deg.
	Perpendicular	$\theta_{\perp}$	16.0	
Differential efficiency		$\eta_D$	1.0	mW/mA

Conditions:  $T_c = 25^\circ\text{C}$   
 $P_o = 90 \text{ mW @CW}$







## 7-L'optique à 3 faisceaux

Dans un dispositif de stockage optique, un certain nombre d'asservissements permettent au spot laser de suivre correctement la piste :

- l'asservissement de **focus** assure le bon positionnement de la lentille de focalisation par rapport au disque, ceci pour que les photodiodes reçoivent un maximum de quantité de lumière réfléchie et que le spot ait une taille minimale
- l'asservissement de **tracking** permet de corriger les petits écarts du spot par rapport à la piste. Le disque n'est pas toujours centré, la spirale pas toujours régulière, ce qui impose l'utilisation d'un asservissement précis de la position radiale de la lentille.
- l'asservissement de **position du chariot** complète le tracking en déplaçant le bloc optique le long d'un rayon pour permettre le parcours complet de la piste en spirale

La technique la plus utilisée est le système à 3 faisceaux qui utilise un réseau diffracteur pour séparer le faisceau initial en trois faisceaux. On obtient ainsi deux spots latéraux de part et d'autre de la piste qui sont réfléchis sur deux photodiodes (E et F).

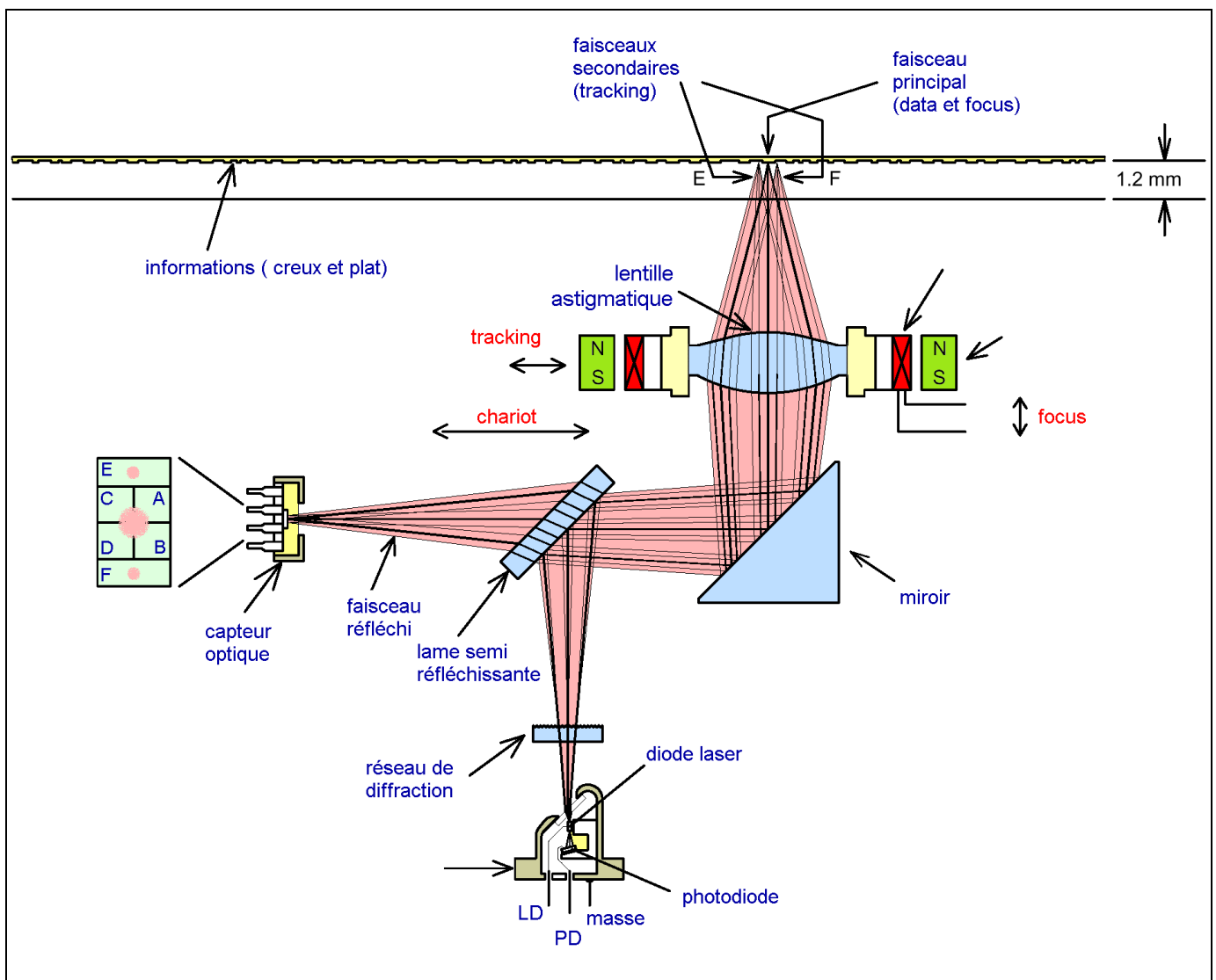


Figure 15. Le système optique à 3 faisceaux

Ces 3 faisceaux arrivent sur un capteur optique équipé de 6 zones sensibles qui permet de détecter les erreurs de position (zones E et F), les erreurs de focus (zones A, B, C et D) et de lire les données (zones A, B, C et D).



## 8-Exemple de capteur optique SONY

Figure 16.  
Un exemple de  
capteur optique.

### Description

CXA2586M is a PDIC (photodetector IC) developed as a photodetector for the optical pickup of CD-ROM/DVD-ROM.

The photodiode and circuit blocks operate at high speed. (Typ. 100MHz)

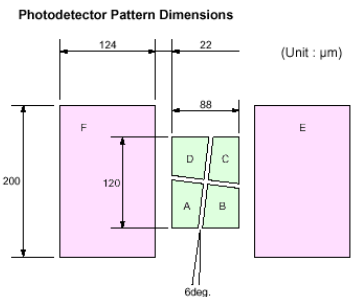
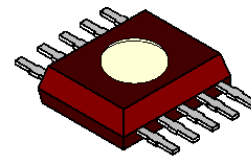
- Focus servo : astigmatic method
- Tracking servo (CD) : three-spot method
- Tracking servo (DVD) : differential phase detection method

### Features

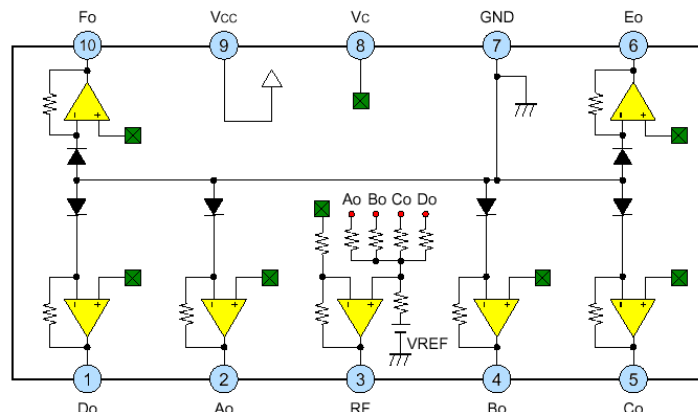
- High-speed I-V amplifier
- High-speed photodiode
- Adding amplifier (addition of A to D)
- Compact transparent molded package (SOP)

**Applications** Optical pickup for CD-ROM/DVD-ROM

**Structure** Bipolar silicon monolithic IC



Block Diagram  
and Pin Configuration



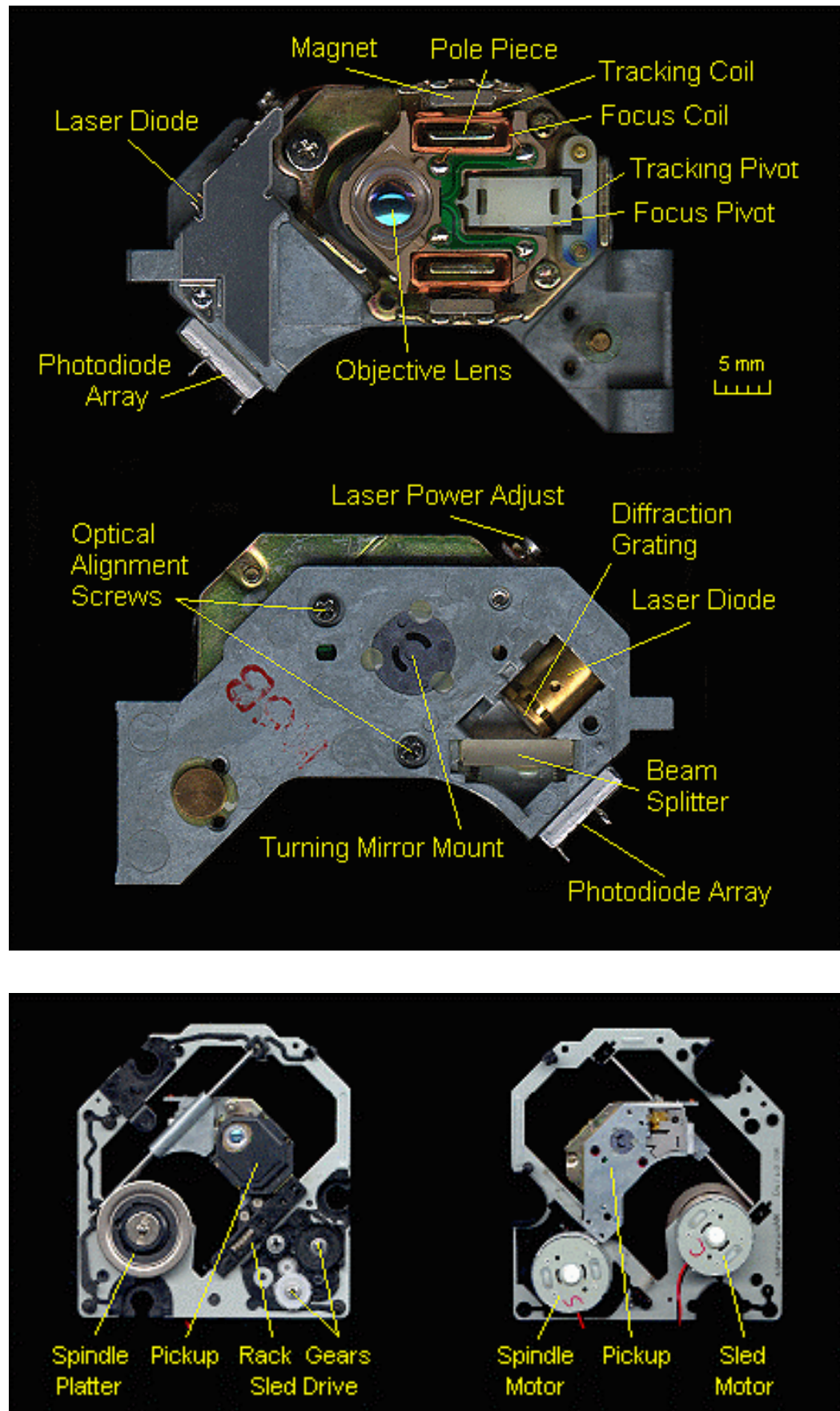
### Electrical and Optical Characteristics

( $V_{cc}=5.0\text{ V}$ ,  $V_c=2.5\text{ V}$ ,  $T_a=25^\circ\text{C}$ )

Item	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Current consumption	$I_{cc}$	In the dark	—	15	20	mA
Output voltage (A to D)	$V_o$	$\lambda=650\text{ nm}$ , $780\text{ nm}$ , $P_o=10\text{ }\mu\text{W}$	180	246	312	mV
Output voltage (E, F)	$V_o$	$\lambda=650\text{ nm}$ , $780\text{ nm}$ , $P_o=10\text{ }\mu\text{W}$	312	447	581	mV
Output voltage (RF)	$V_o$	$\lambda=650\text{ nm}$ , $780\text{ nm}$ , $P_o=10\text{ }\mu\text{W}$	302	432	561	mV
Output voltage ratio (E, F/A to D)	$V_{OR}$	$\lambda=650\text{ nm}$ , $780\text{ nm}$ , $P_o=10\text{ }\mu\text{W}$	1.71	1.81	1.90	—
Output voltage ratio (RF/A to D)	$V_{OR}$	$\lambda=650\text{ nm}$ , $780\text{ nm}$ , $P_o=10\text{ }\mu\text{W}$	1.67	1.76	1.84	—
Maximum output voltage (A to D)	$V_o$	$\lambda=650\text{ nm}$ , $780\text{ nm}$ , $P_o=100\text{ }\mu\text{W}$	3.8	4.0	—	V
Maximum output voltage (E, F)	$V_o$	$\lambda=650\text{ nm}$ , $780\text{ nm}$ , $P_o=100\text{ }\mu\text{W}$	3.8	4.0	—	V
Maximum output voltage (RF)	$V_o$	$\lambda=650\text{ nm}$ , $780\text{ nm}$ , $P_o=100\text{ }\mu\text{W}$	3.8	4.0	—	V
Frequency response (A to D)	$f_c$	$\lambda=650\text{ nm}$ , $780\text{ nm}$ $P_o=10\text{ }\mu\text{W}_{DC}$ , $4\text{ }\mu\text{W}_{p-p}$ 100 kHz reference, -3 dB	70	100	—	MHz
Frequency response (E, F)	$f_c$	$\lambda=650\text{ nm}$ , $780\text{ nm}$ $P_o=10\text{ }\mu\text{W}_{DC}$ , $4\text{ }\mu\text{W}_{p-p}$ 100 kHz reference, -3 dB	1	5	—	MHz
Frequency response (RF)	$f_c$	$\lambda=650\text{ nm}$ , $780\text{ nm}$ $P_o=10\text{ }\mu\text{W}_{DC}$ , $4\text{ }\mu\text{W}_{p-p}$ 100 kHz reference, -3 dB	80	105	—	MHz

## 9-Exemple de bloc optique

Figure 17.  
Structure du  
pick-up Sony  
KSS361A.

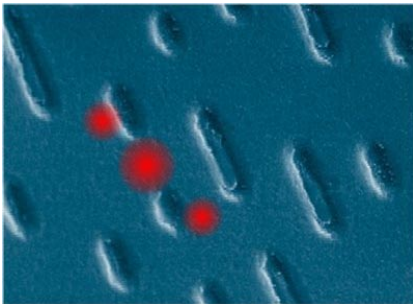
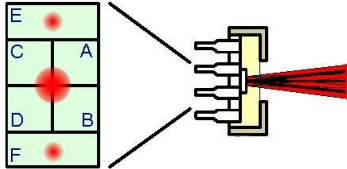




## 10-Le fonctionnement du système à 3 faisceaux

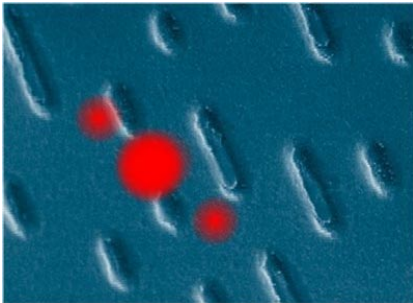
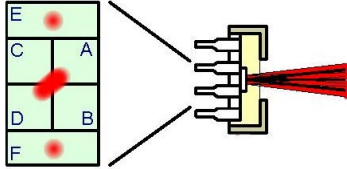


en **fonctionnement normal** :

Sur le disque	Sur le capteur optique
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>le faisceau principal est bien focalisé sur la piste et de taille minimale</li> <li>les faisceaux secondaires tombent symétriquement de part et d'autre de la piste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>le spot principal est circulaire et éclaire uniformément les 4 zones A, B, C et D</li> <li>les spots secondaires ont la même intensité sur les zones E et F</li> </ul>

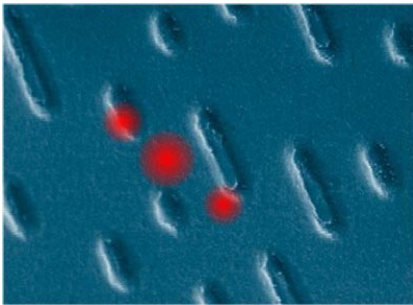
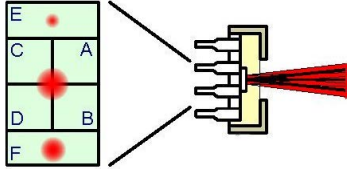


pour détecter **erreur de focus**, l'utilisation d'une lentille astigmatique permet de déformer le faisceau reçu par le capteur optique si la mise au point n'est pas bonne :

Sur le disque	Sur le capteur optique
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>la lentille est trop près ( trop loin) du disque, le spot principal est trop large</li> <li>les faisceaux secondaires tombent symétriquement de part et d'autre de la piste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>le spot principal est allongé et éclaire davantage les zones A et D que B et C</li> <li>les spots secondaires ont la même intensité sur les zones E et F</li> </ul>



avec une **erreur de tracking** :

Sur le disque	Sur le capteur optique
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>le spot principal tombe à côté de la piste</li> <li>un des faisceaux secondaires tombe sur la piste, l'autre sur le plat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>le spot principal est circulaire</li> <li>le spot secondaire qui tombe sur la piste est atténué par rapport à l'autre spot</li> </ul>

L'exploitation des signaux issus des 6 zones sensibles A, B, C et D permet au contrôleur d'élaborer les commandes nécessaires aux asservissements de focus, de tracking et de déplacement du chariot.



## 11-L'asservissement de focalisation

Grâce à l'utilisation d'une lentille astigmatique, tout défaut de focalisation se traduit par une déformation du spot sur la surface du capteur optique :

- le signal d'erreur est élaboré à partir des intensités mesurées par les 4 surfaces A, B, C et D
- dès que ce signal n'est plus nul, l'actuateur est alimenté et fait monter ou descendre la lentille
- le déplacement s'opère jusqu'à ce que le signal d'erreur revienne à zéro

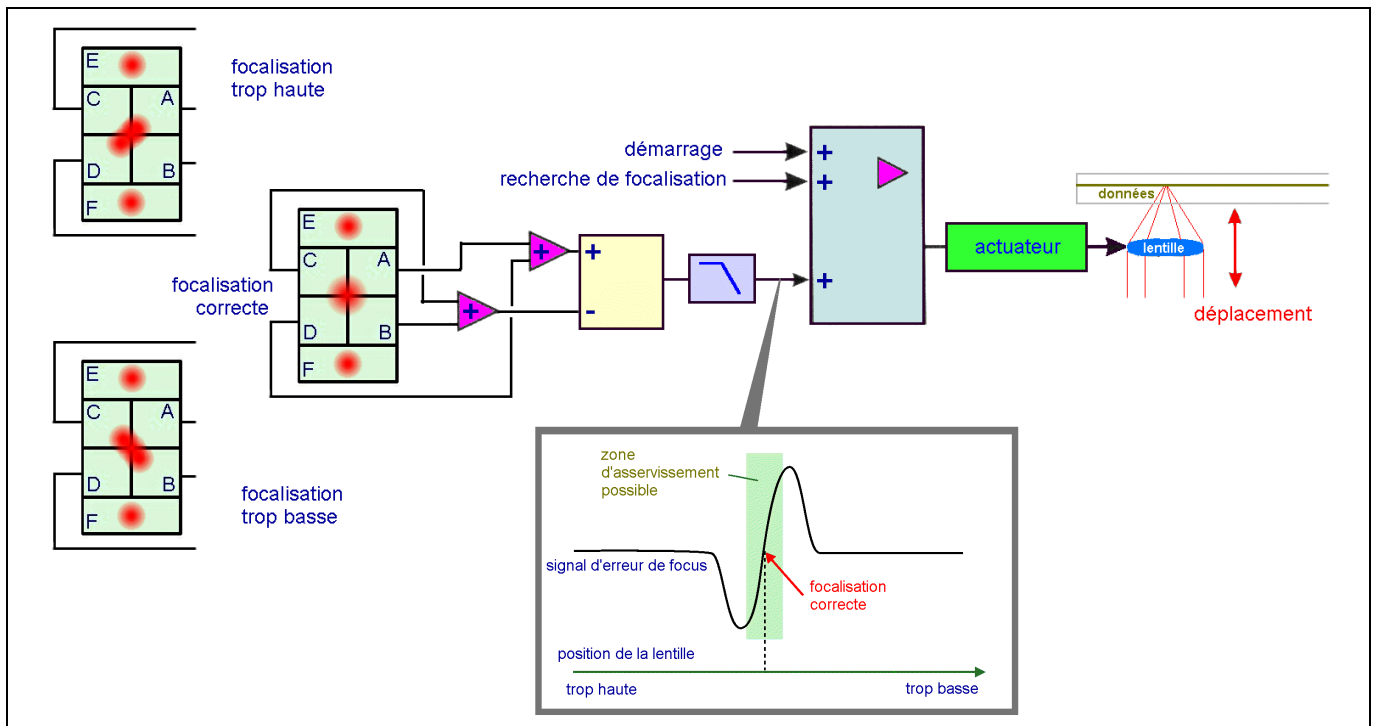
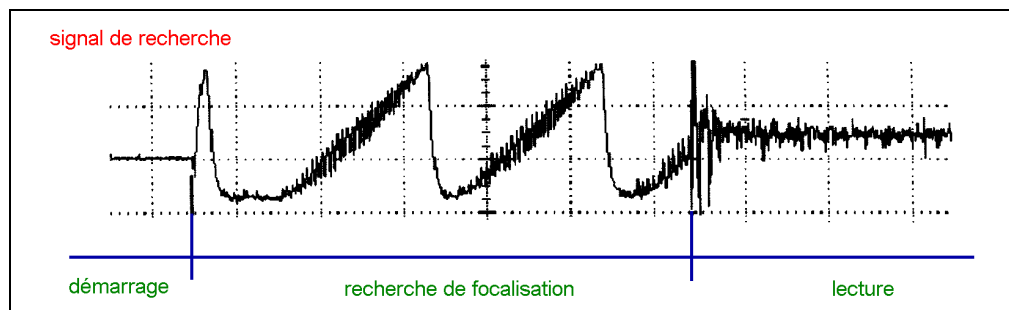


Figure 18. Principe de l'asservissement de focus.

Au démarrage de la lecture ou de l'enregistrement, il faut lancer une recherche de focalisation :

- le microcontrôleur chargé de la gestion élabore une tension en dent de scie
- cette tension est appliquée sur une entrée auxiliaire de la boucle d'asservissement
- dès que la focalisation est obtenue, la tension est mémorisée et la boucle fonctionne

Figure 19.  
Le signal de  
recherche de  
focalisation.



Le déplacement de la lentille est assuré par une simple bobine se déplaçant dans le champ magnétique créé par un aimant permanent.





## 12-L'asservissement de suivi de piste

Sur le disque, la piste lue est encadrée par deux spots correspondant aux faisceaux secondaires créés par le réseau de diffraction :

- ces deux spots sont affectés de la même façon par les creux sur lesquels ils empiètent
- tout écart de trajectoire fait passer l'un des spot sur le plat : l'intensité réfléchie augmente
- tout écart de trajectoire fait passer l'autre spot sur les creux : l'intensité réfléchie diminue

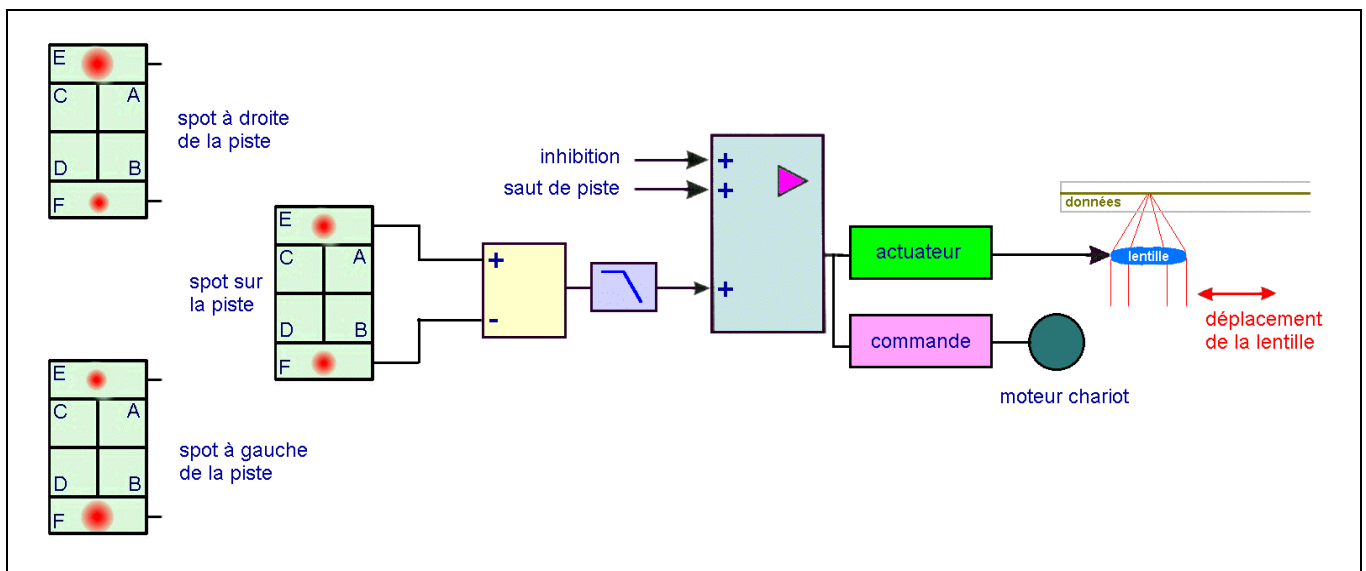
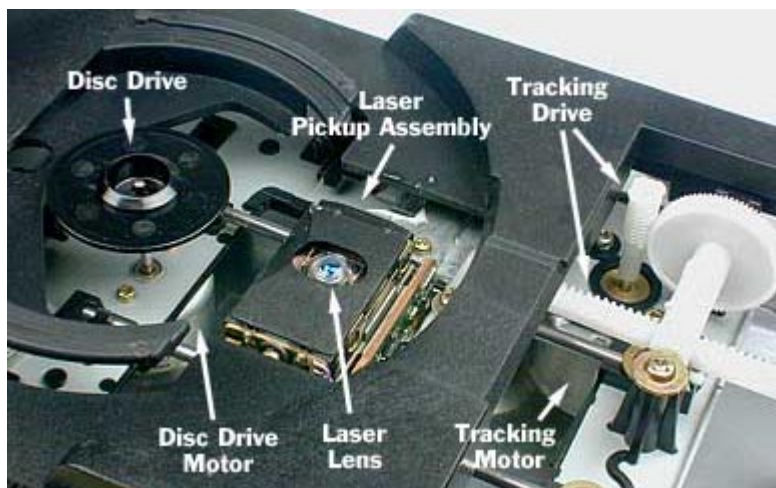


Figure 20. Principe de l'asservissement de tracking.

Le signal d'erreur est élaboré par soustraction des signaux produits par les capteurs E et F et commande l'actuateur de tracking qui déplace la lentille latéralement, ainsi que le moteur qui commande le déplacement du chariot.

Figure 21.  
Vue du pickup.



L'actuateur permet à lui seul de suivre moins d'une minute de piste, le moteur chariot est donc sollicité un court instant toutes les 30s à 1mn.

**Remarque :** lorsqu'un saut de plage est ordonné par l'utilisateur, le signal d'erreur devient maximum à chaque fois que la lentille passe devant une piste. Le processeur utilise cette information pour compter le nombre de pistes sautées. C'est grâce à cette information qu'il peut rapidement accéder à un nouveau morceau



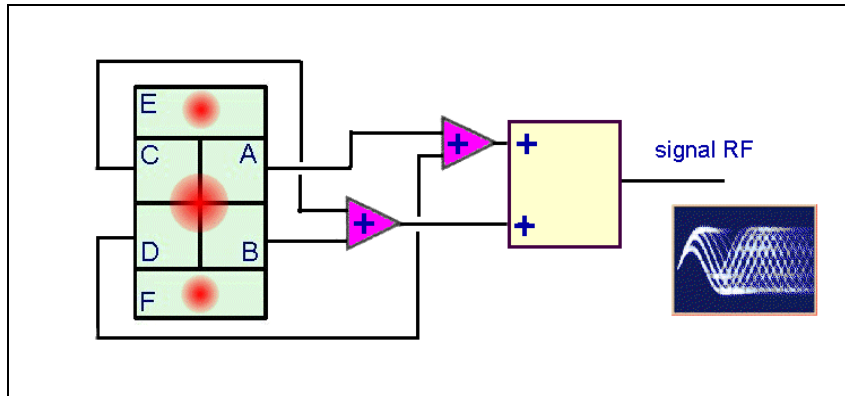


### 13-Les circuits de lecture

A la lecture d'un CD, les variations de l'intensité du faisceau réfléchi sont mesurées par les 4 surfaces sensibles A, B, C et D et transformées en variations de tension : c'est le signal HF ou RF.

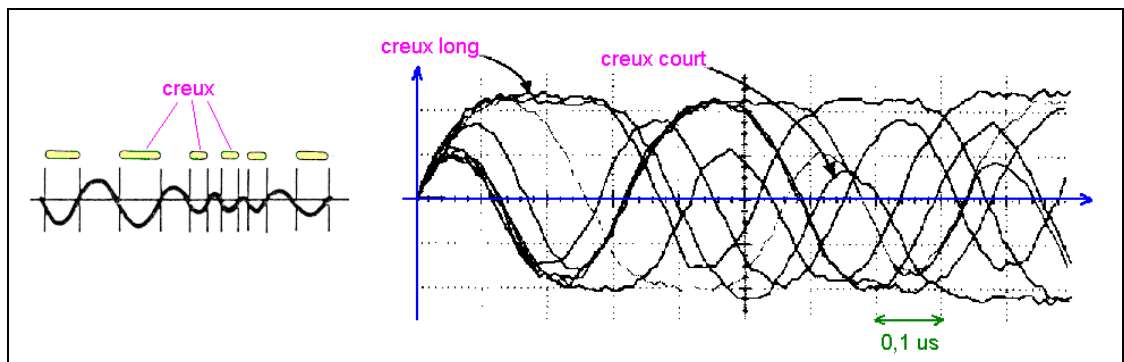
En lecture d'un CD audio, la fréquence du signal RF est comprise entre 196 et 720 kHz, et cette fréquence augmente évidemment avec la vitesse de lecture ( 34,5 MHz en 48X).

Figure 22.  
Schéma du circuit  
de lecture.



L'oscillogramme du signal RF montre que son amplitude est variable et dépend de la taille des creux.

Figure 23.  
Allure du signal RF.



Il est donc nécessaire de corriger ce signal par un circuit appelé MFT ( motional function transfert) qui permet d'avoir un signal dont l'amplitude est indépendante du contenu de la piste.

A partir du signal RF, une boucle à verrouillage de phase permet la régénération de l'horloge et la récupération de la fréquence des bits.

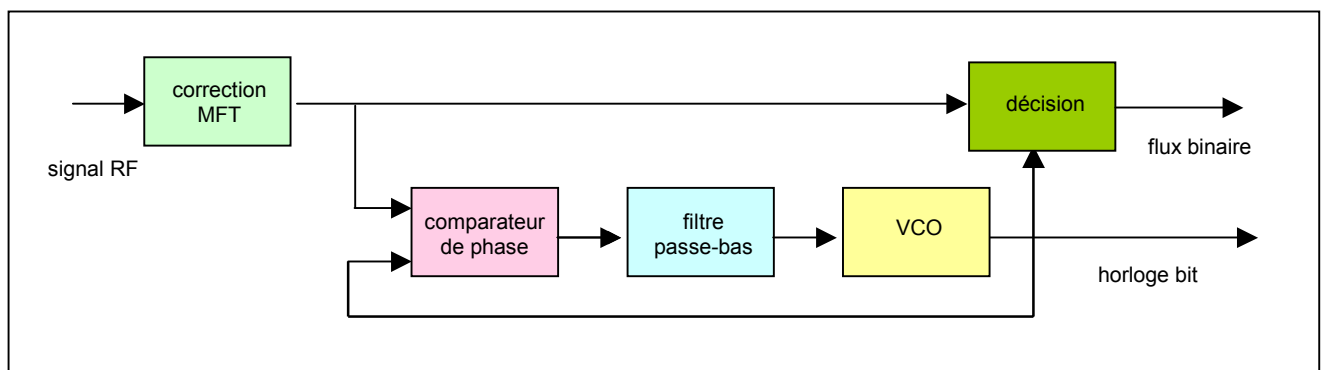


Figure 24. La récupération de l'horloge.

Une fonction de décision permet ensuite de déterminer la valeur à attribuer à chaque bit du flux binaire correspondant au signal de lecture.



## 14-L'asservissement de vitesse

Cet asservissement régule la vitesse de rotation du disque pour assurer un débit correct des informations à la lecture :

Au démarrage de la lecture d'un disque :

- le chemin optique s'établit ( allumage laser, focalisation ...) et la rotation du disque est lancée
- la vitesse de rotation part de zéro et augmente progressivement
- l'asservissement de suivi de piste se met en place
- le signal de lecture RF apparaît et l'horloge bit est générée

L'horloge bit est comparée à une fréquence de référence fournie par un oscillateur à quartz, et tout écart agit sur la tension de commande du moteur à courant continu qui entraîne le disque.

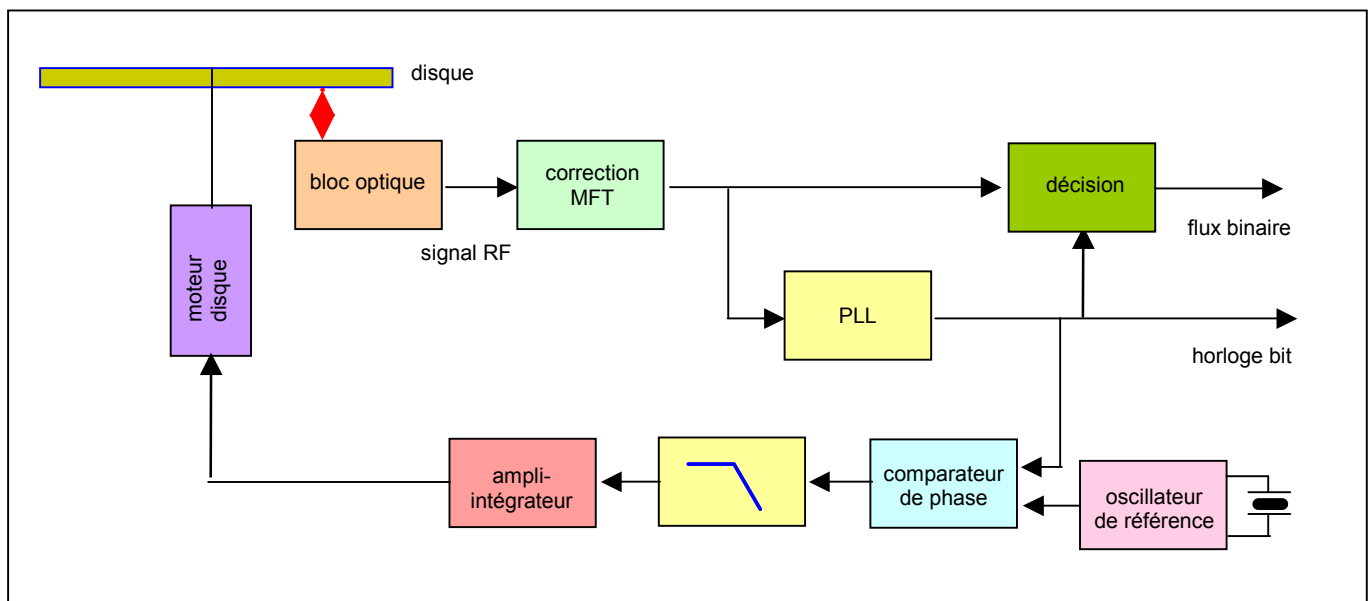


Figure 25. Le principe de l'asservissement de vitesse.

L'asservissement de vitesse du moteur d'entraînement du disque est donc en réalité une boucle à verrouillage de phase un peu particulière, l'ensemble (moteur, bloc optique, circuit de récupération d'horloge) constituant le VCO de la PLL.

A cause de l'inertie des parties tournantes, cet asservissement est relativement lent. Les inévitables fluctuations de la vitesse sont compensées par la mise en mémoire tampon des données lues et relecture à débit fixe.

### Remarques :

- ce mode de fonctionnement est bien adapté à la lecture des CD audio et s'appelle **mode CLV** (Constant Linear Velocity)
- il permet d'avoir un taux de transfert de 150 ko/s constant à la lecture en faisant varier la vitesse de rotation du moteur
- la vitesse de rotation du moteur passe de 500 trs/mn environ en début de piste (intérieur du disque) à 200 trs/mn en fin de piste (extérieur du disque)
- les lecteurs-graveurs actuels travaillent à des vitesses jusqu'à 48X supérieures à la vitesse de lecture d'un CD audio
- il en résulte des vitesses de rotation très importantes, et les variations de régime du moteur produisent des vibrations et accélèrent l'usure
- c'est pourquoi les lecteurs actuels ( au delà de 12X) travaillent à vitesse de rotation constante soit en **mode CAV** (Constant Angular Velocity)
- les dispositifs les plus récents combinent les deux techniques avec le mode Z-CLV (Zoned Constant Linear Velocity) et augmentent par paliers la vitesse de rotation en fonction de la position sur le disque



## 15-Le standard CD audio

Les normes ont été fixées par Philips dans le **red book** :

<b>DISQUE</b>	
Durée d'exécution:	74 minutes, 33 secondes maximum
Sens de rotation:	Sens des aiguilles d'une montre vue de la surface de lecture
Vitesse de rotation	1,2 – 1,4 m/sec (vitesse linéaire constante)
Largeur de la piste:	1.6 $\mu\text{m}$
Diamètre:	120 mm
Epaisseur:	1,2 mm
Diamètre du trou central	15 mm
Zone d'enregistrement:	46 mm - 117 mm
Région du signal:	50 mm - 116 mm
Support:	Tout support avec un indice de réfraction de 1.55
Longueur minimale du créneau:	0,833 $\mu\text{m}$ (1,2 m/sec) à 0,972 $\mu\text{m}$ (1,4 m/sec)
Longueur maximale du créneau:	3,05 $\mu\text{m}$ (1,2 m/sec) à 3,56 $\mu\text{m}$ (1,4 m/sec)
Profondeur du créneau:	~ 0,12 $\mu\text{m}$
Largeur du créneau:	~ 0,6 $\mu\text{m}$
<b>SYSTEME OPTIQUE</b>	
Longueur d'onde standard:	780 nm (7,800 Å)
Profondeur de focale:	$\pm 2 \mu\text{m}$
<b>FORMAT DU SIGNAL</b>	
Nombre de canaux:	2 canaux (enregistrement sur 4 canaux possible)
Quantification:	16-bit linéaire
Fréquence d'échantillonnage:	44,1 kHz
Rendement binaire du canal:	4,3218 Mb/sec
Rendement des données:	2,0338 Mb/sec
Rapport données/canal:	8:17
Code correcteur d'erreurs:	Cross Interleaved Reed-Solomon Code
Code d'enregistrement:	Eight-to-Fourteen Modulation (EFM)



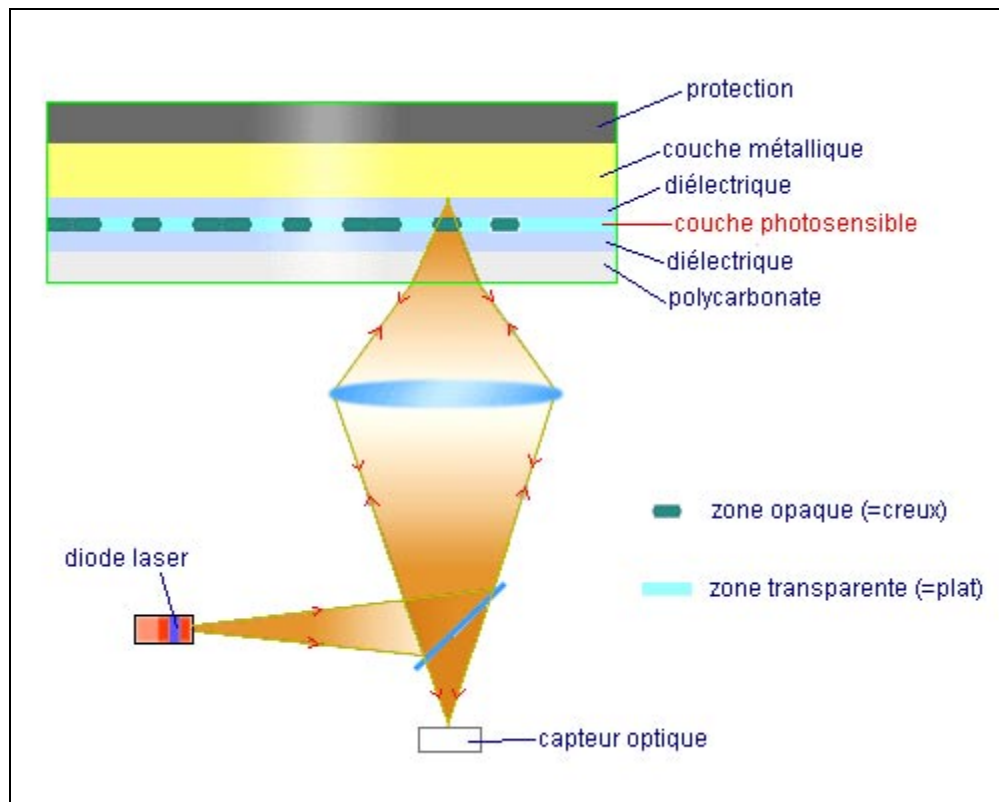
## 16-Structure des disques CD-R et CD-RW

Sur les CD enregistrables les données ne sont plus stockées sous formes de creux mais enregistrées dans une couche de matériau photosensible :

- si le matériau est transparent, le faisceau laser se réfléchit sur la surface métallique pratiquement sans atténuation, le capteur reçoit une intensité maximale
- si le matériau est opaque, le faisceau laser y est atténué par 2 passages, le capteur reçoit une intensité plus faible

L'intensité reçue est variable, non par interférences destructives comme pour le CD audio, mais par variation de transmittance de la couche photosensible.

Figure 26.  
Constitution d'un  
disque inscriptible.



- un CD-R utilise comme matériau photosensible la **cyanine** (bleu-cyan) ou la **phthalocyanine** (à peu près incolore), composants organiques dont les propriétés optiques sont modifiées de façon irréversible par l'impulsion laser (coefficient de réflexion 0,7 et 0,4)
- un disque CD-RW réinscriptible utilise un matériau à changement de phase optique. Ce matériau est un **composé polycristallin** d'argent, d'indium, d'antimoine et de tellure, pris entre deux couches de matériau diélectrique destinées à évacuer l'excès de chaleur lié à l'impulsion laser au moment de l'enregistrement. Ce composé peut, selon la température à laquelle il est chauffé, devenir transparent ou opaque (coefficient de réflexion 0,25 et 0,15).

**Remarque :** les différentes couleurs des disques enregistrables proviennent du choix de la combinaison matériau réfléchissant/matériau organique.



Pour une bonne réflexion, le matériau organique est déposé par-dessus une couche réfléchissante d'argent ou d'or à 24 carats.. Ainsi un disque utilisant une couche réfléchissante en or et une couche organique en cyanine aura une couleur or côté étiquette et verte côté pistes.



## 17-Le sillon de guidage

Sur un disque préenregistré (CD audio par exemple), la spirale formée par la succession des creux permet au laser de suivre la piste.

Pour permettre au faisceau laser de se positionner et de décrire une spirale lors de l'enregistrement d'un disque enregistrable (CD-R et CD-RW), le fabricant grave un **sillon** (pregroove) dans le substrat :

- le sillon a une largeur de  $0,6\ \mu\text{m}$  et une hauteur de  $\lambda/4$  soit  $0,12\ \mu\text{m}$
- les deux spots secondaires tombent sur les deux bords du sillon, ce qui permet à l'asservissement de position de fonctionner comme pour un disque préenregistré

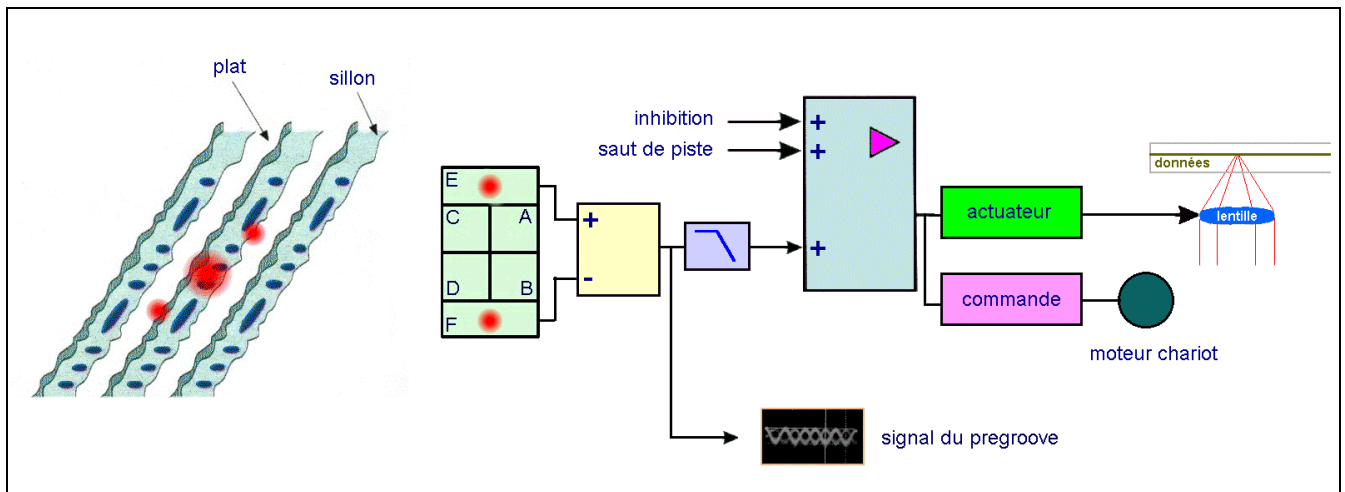


Figure 27. Le sillon de guidage du laser.

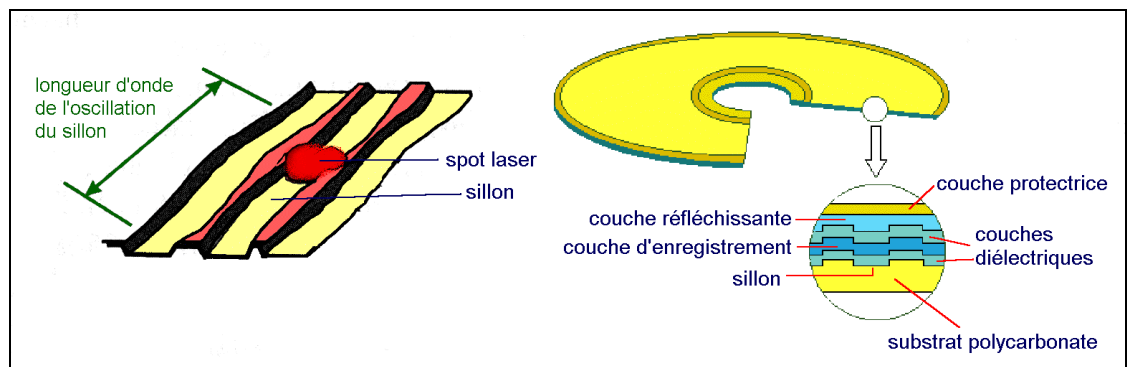
Pour asservir la vitesse de rotation du disque, le sillon oscille autour de sa position moyenne avec une amplitude de 30 nm et une longueur d'onde de 60  $\mu\text{m}$ .

Cette ondulation de position se retrouve sous forme électrique dans le signal d'erreur de l'asservissement de position et peut donc être exploitée.

Pour un CD audio par exemple :

- la vitesse de rotation se règle pour qu'une période d'oscillation du sillon soit lue en  $T = 45,35\ \mu\text{s}$
- la vitesse de rotation résultante du disque est de  $v = x/t = 1,32\ \text{m/s}$
- la fréquence de l'oscillation apparaissant dans le signal d'erreur vaut alors  $f = 1/T = 22,05\ \text{kHz}$

Figure 28.  
Le disque  
inscriptible vu en  
coupe.



En réalité, la longueur d'onde des oscillations n'est pas tout à fait constante :

- la variation de longueur d'onde se traduit par une modulation de fréquence du 22,05 kHz
- la démodulation permet de récupérer des informations inscrites par le fabriquant dans le sillon
- la principale information est la durée restante ( fonction ATIP : absolute time in pregroove)



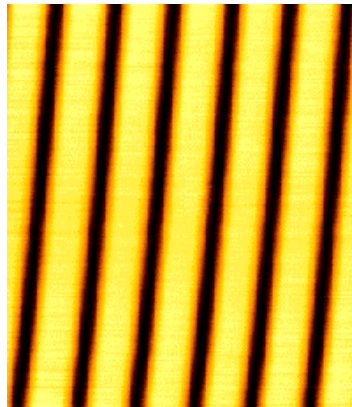
## 18-L'enregistrement de données sur le disque



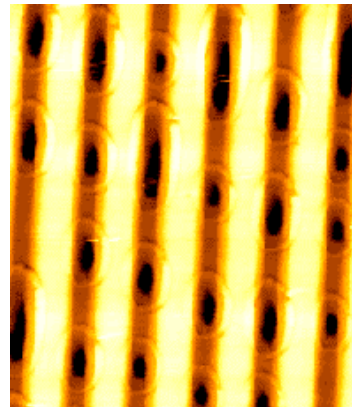
sur un CD-R, les données sont inscrites par élévation de température (burning) :

- l'impulsion laser chauffe le matériau organique initialement transparent au-delà de sa température critique
- il devient alors opaque de manière irréversible : on a créé l'équivalent d'un creux ou « pit »
- la puissance du laser est de 11 mW et porte le matériau photosensible à environ 250 °C
- entre deux inscriptions, le laser n'est pas éteint mais maintenu à 4 mW pour éviter les problèmes d'inertie thermique

Figure 29.  
Disque vierge et  
disque enregistré.



Disque vierge



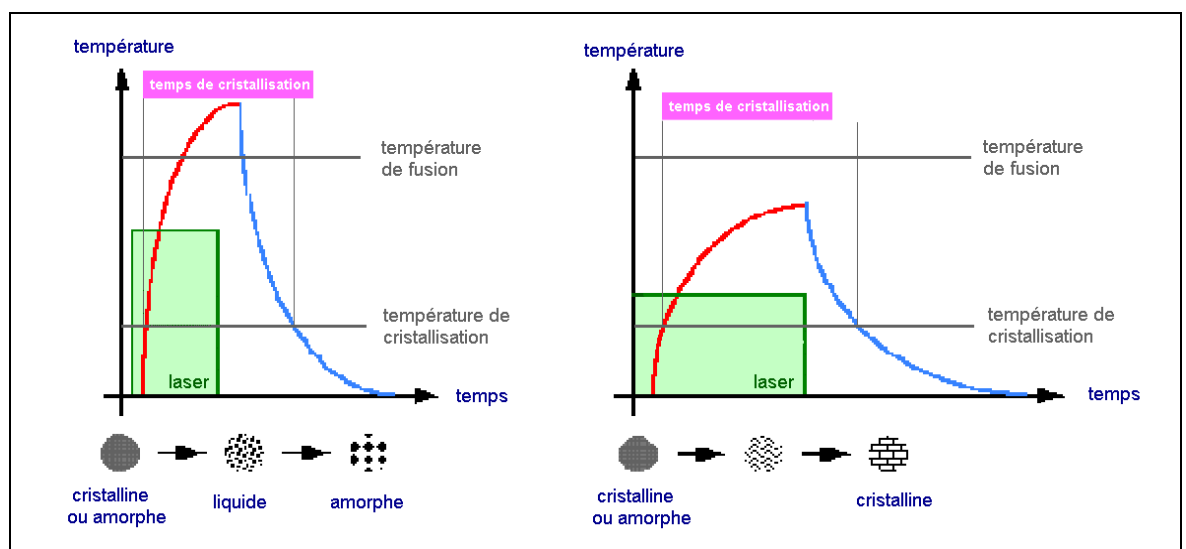
Disque enregistré



pour le CD-RW, le changement d'état du matériau photosensible est réversible :

- dans son état original ( disque vierge), la couche d'enregistrement a une structure polycristalline transparente
- une impulsion laser de niveau élevé ( de l'ordre de 14 mW) appelé aussi niveau d'écriture, chauffe le matériau (500 à 700 degrés) pour le rendre liquide et, après refroidissement, non-cristallin ou amorphe (et donc absorbant) : on crée un creux
- une impulsion laser de niveau faible ( de l'ordre de 5 mW) appelé niveau d'effacement, chauffe légèrement (200 degrés) le matériau et le met, après refroidissement, dans l'état cristallin ( et donc transparent) : on supprime un creux

Figure 30.  
Ecriture et  
effacement d'une  
donnée.



Ce type de disque réfléchit moins de lumière qu'un CD-R et ne peut donc être lu que par des lecteurs « Multiread »





## 19-Le marché du DVD

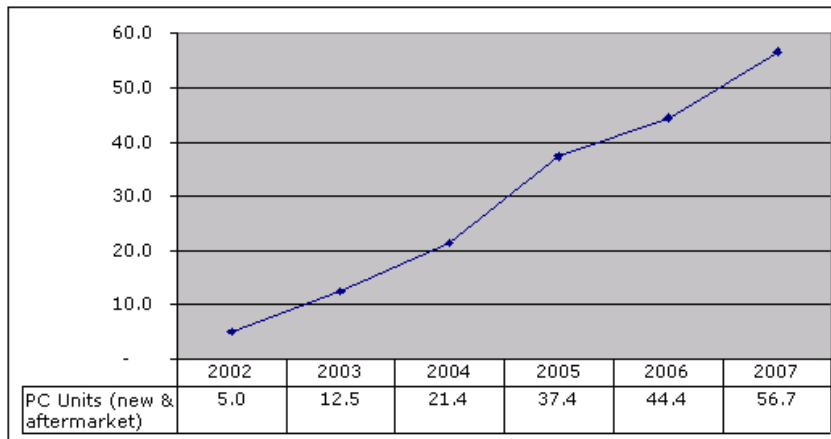
Le développement du DVD a été le résultat d'un consensus entre les acteurs de l'industrie informatique et cinématographique.

Ce support de stockage optique offre une capacité nettement supérieure au CD et permet :

- le stockage d'une quantité de données informatiques beaucoup plus grand
- le stockage de films avec une qualité de vision et de son nettement supérieure au VHS

Ce standard en forte croissance remplacera progressivement le CD comme support de stockage standard sur les PC.

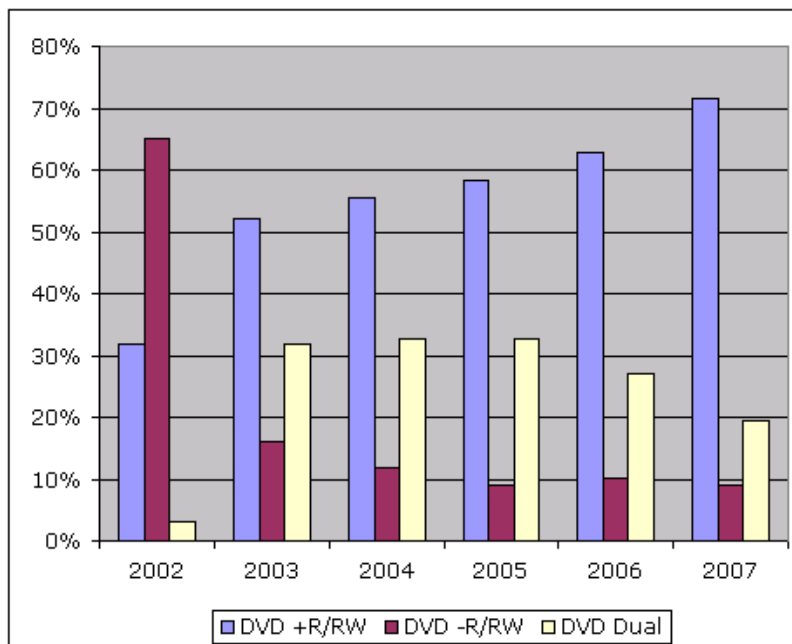
**Figure 31.**  
Marché des PC  
équipés de DVD en  
millions d'unités  
(source Digital  
Tech Consulting).



Malheureusement, en 2003, trois standards coexistent au niveau des DVD réenregistrables :

- le DVD-RW historiquement le premier, pouvant être lu sur un lecteur de salon
- le DVD+RW apparu en 1996, pouvant être lu sur un lecteur de salon
- le DVD-RAM, nécessitant un lecteur-graveur spécifique

**Figure 32.**  
Répartition des  
standards (source  
Digital Tech  
Consulting).



Pour éviter de choisir, plusieurs constructeurs de graveurs dont Sony proposent des équipements compatibles avec les 2 formats (dual).

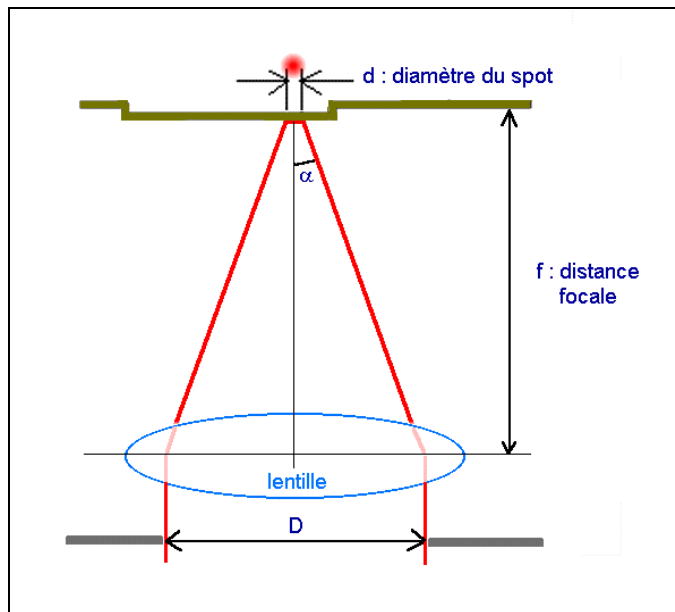
Les prévisions semblent annoncer un succès du standard DVD+RW, à moins qu'un nouveau standard comme le Blu-Ray ne viennent compliquer un peu plus la situation.



## 20-La densité des informations sur le disque

La quantité de données numériques qu'on peut inscrire sur un disque dépend principalement de la taille du spot.

Figure 33.  
Focalisation du  
faisceau laser.



- ouverture numérique :  
(Numerical Aperture)

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

- diamètre du spot :

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

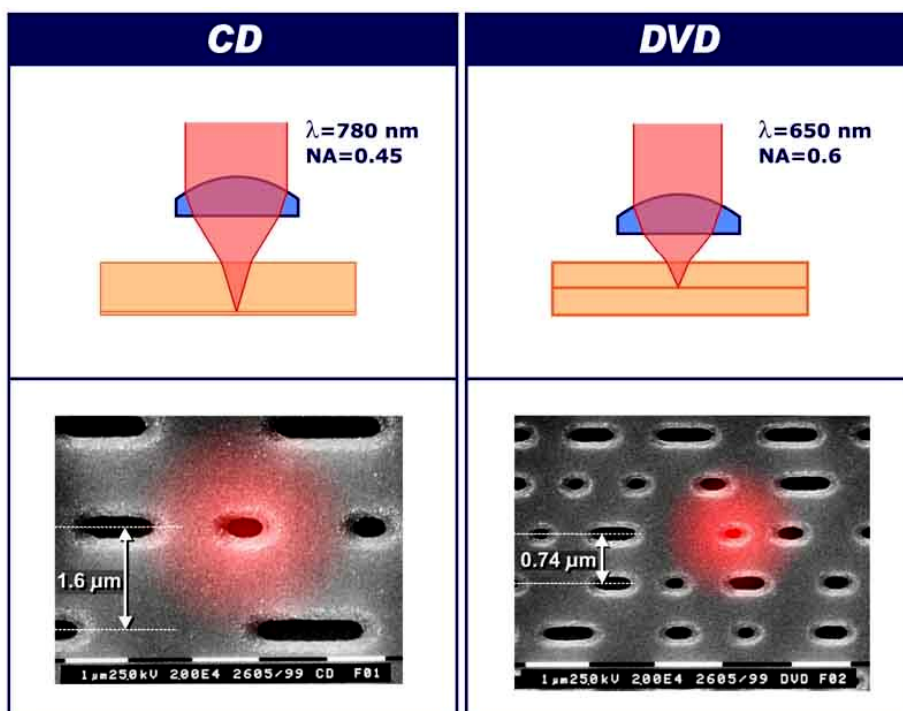
A cause des phénomènes de diffraction, ce spot n'est jamais un point mais est caractérisé par son diamètre  $d$ .

**Exemple :** pour un lecteur CD audio ou CDROM,  $\lambda = 0,78 \mu\text{m}$ ,  $NA = 0,45$  et  $d = 2,1 \mu\text{m}$

Pour augmenter la densité des informations sur le disque, il faut diminuer la taille du spot :

- en diminuant la longueur d'onde du laser ( IR pour le CD audio et CDROM, rouge pour le DVD, bleu pour le Bluray à venir)
- en augmentant l'ouverture numérique de la lentille, c'est-à-dire en diminuant sa distance focale

Figure 34.  
Comparaison de la  
taille du spot.





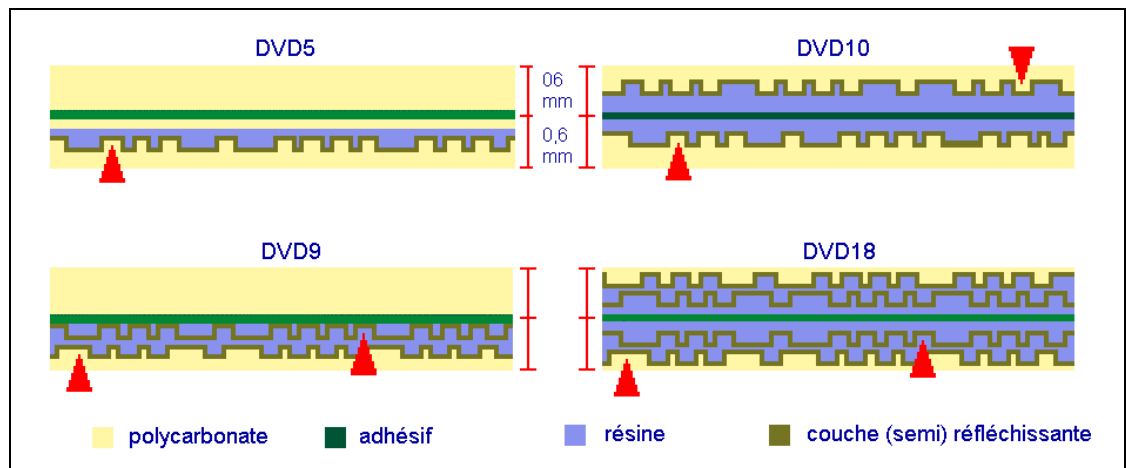
## 21-Le disque DVD préenregistré

Le standard DVD (Digital versatile Disk) a été finalisé en 1995 par les deux groupes concurrents de multinationales Sony/Philips et Toshiba/Time Warner.

Les formats DVD et CD préenregistrés partagent la même technique de stockage optique par creux, avec quelques différences :

- l'utilisation d'un laser émettant dans le rouge ( $\lambda=0,65 \mu\text{m}$ ) et une ouverture numérique plus grande permet de réduire la taille du spot et donc des creux
- pour la même raison, les pistes ont pu être rapprochées, et la longueur du sillon est passée de 5 km pour un CD à plus de 11 km
- la possibilité d'inscrire jusqu'à 4 couches de données dans l'épaisseur du disque permet d'atteindre une capacité de 17 Go

Figure 35.  
Les DVD  
multicouches.



L'utilisation d'une première couche métallique semi-réfléchissante permet la lecture d'une seconde couche située en-dessous, moyennant un nouveau réglage de la focalisation :

- DVD5 : configuration standard pour le DVD, capacité maximum de stockage de 4,7 Go ce qui correspond à 7 fois la capacité d'un CD-R
- DVD10 : cette configuration permet un stockage de 9,4 Go. La moitié des informations se trouvent sur la seconde face, ce qui nécessite de retourner le disque (peu utilisé)
- DVD9 : aussi appelé « RSDL » (reverse spiral dual layer). Cette configuration permet un total de 8,5 Go sur une seule face en utilisant une deuxième couche augmentant la capacité de 3,8 Go par rapport à la configuration standard.
- DVD18 : c'est la capacité maximum d'un DVD-R soit 17 Go (peu utilisé)

Propriétés	CD	DVD
Capacité de mémoire	650 Mo	4,7 Go (monocouche, monoface) à 17 Go (multicouche, multifaces)
Pas des pistes	1,6 micromètre	0,74 micromètre
Dimension minimum des cuvettes	0,834 micromètre	0,4 micromètre
Dimension maximale des cuvettes	3,058 micromètres	2,128 micromètres
Vitesse linéaire de référence	1,2 m/s (CLV)	4,0 m/s (CLV)
Longueur d'onde de la diode laser	780 nm	635/650 nm
Ouverture Numérique de l'objectif	0,45	0,6
Taux de transfert des données	176,4 Ko/s	environ de 4,69 Mo/s
Taux de transfert des données	176,4 Ko/s	1,385 Mo/s



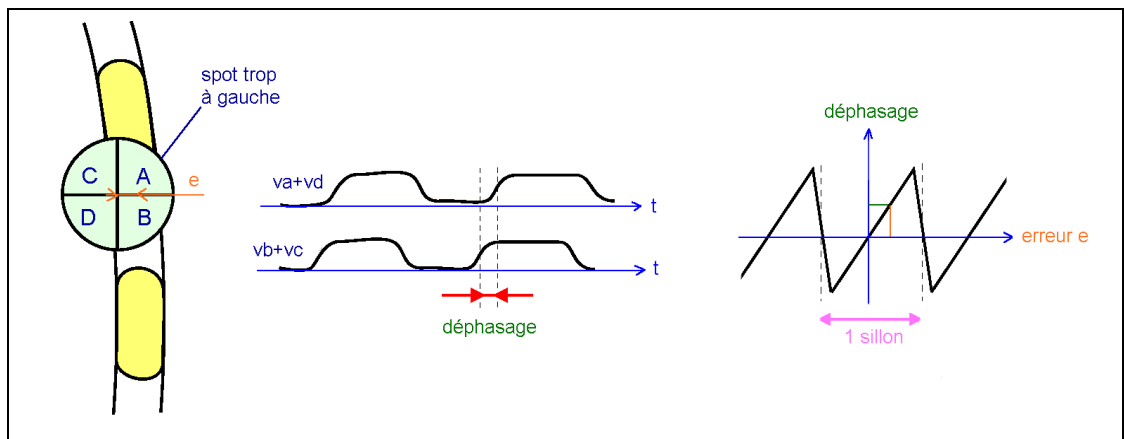
## 22-Le suivi de piste par asservissement de phase

Pour la lecture des DVD-ROM, l'asservissement de position n'utilise en général pas la technique du faisceau triple, mais une technique de détection de phase donnant de meilleurs résultats.

Un seul faisceau est suffisant pour ce type d'asservissement :

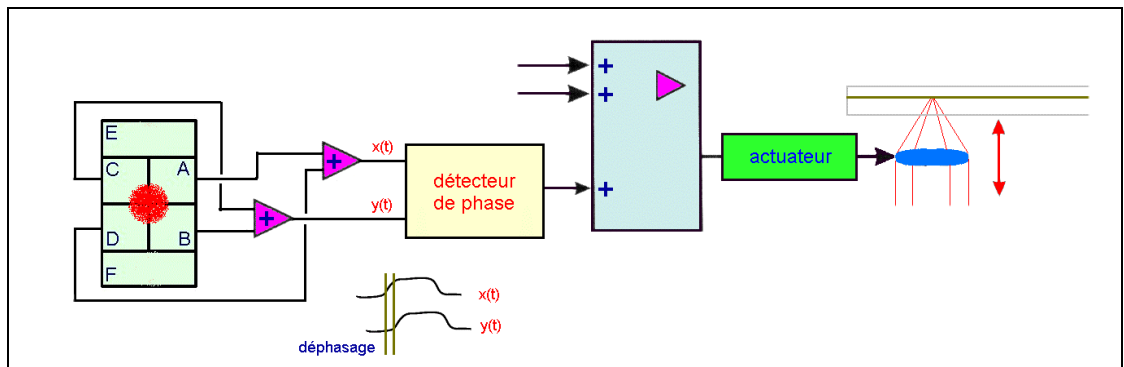
- le faisceau laser tombe sur les 4 zones du détecteur optique
- deux additionneurs produisent les signaux « somme » :  $x(t) = v_a + v_d$  et  $y(t) = v_b + v_c$
- si le spot tombe sur des cuvettes en étant centré, les signaux  $x(t)$  et  $y(t)$  varient en phase
- si le spot est décentré, le profil des flans de la cuvette produit un déphasage entre  $x(t)$  et  $y(t)$
- le déphasage est proportionnel à l'écart de position sur une assez grande plage

Figure 36.  
Principe du suivi  
par asservissement  
de phase.



Un circuit détecteur de phase transforme ce déphasage en une tension qui est l'image de l'erreur de tracking du système de positionnement du chariot.

Figure 37.  
L'électronique de  
l'asservissement de  
phase.



### Remarques :

- cette technique ne fonctionne qu'en présence de cuvettes, elle ne peut donc pas être utilisée pour les DVD enregistrables
- le suivi de piste pour les DVD enregistrables utilise la technique du triple faisceau, comme les CD-ROM et CD enregistrables

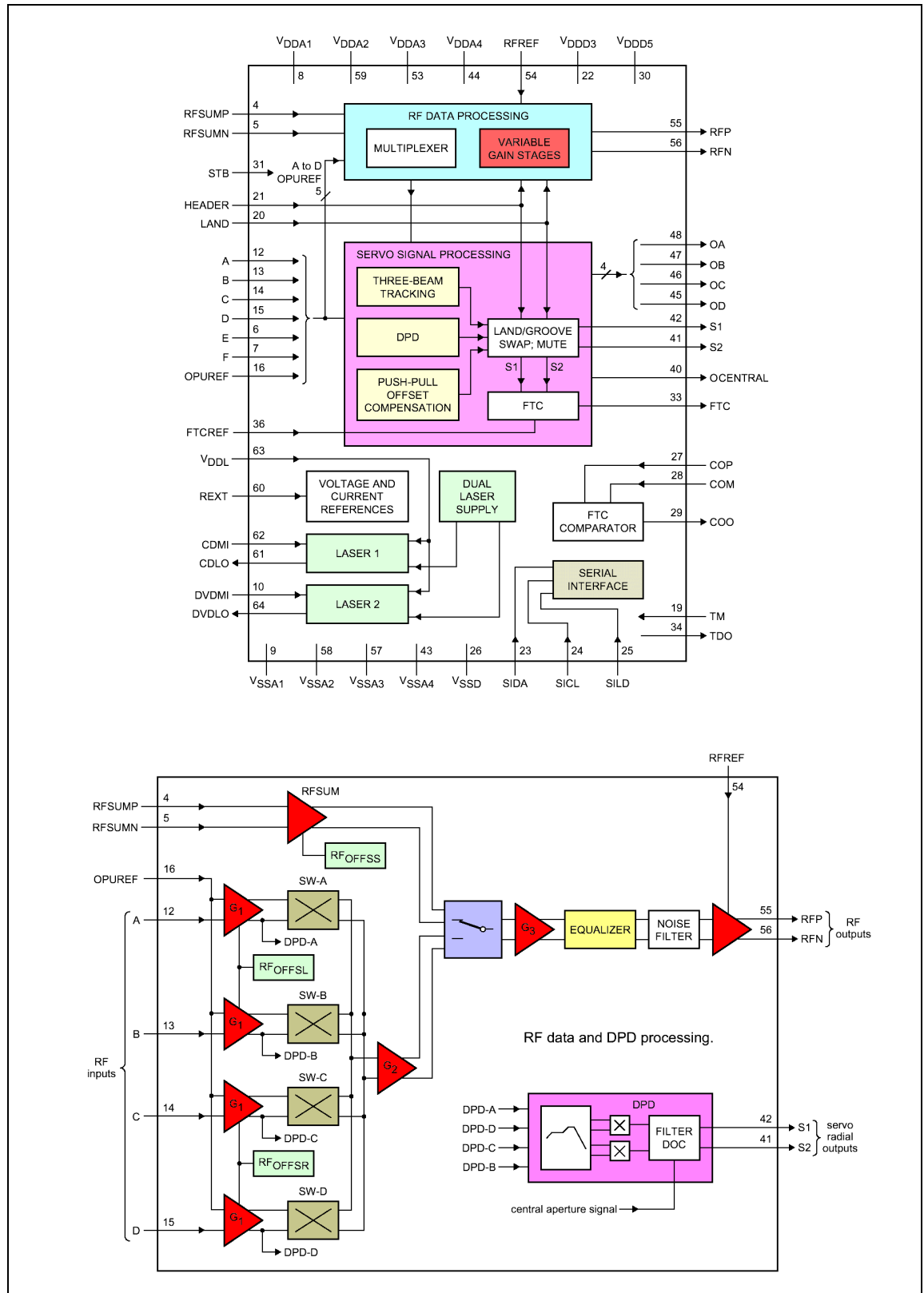


## 23-Exemple de circuit pour lecteur CD-DVD

Le circuit **TZA1033HL** de Philips est un processeur pour lecteur CD et DVD. assurant les fonctions :

- de traitement et d'amplification du signal analogique RF
- d'asservissements de focus et de tracking (à 3 faisceaux, de phase ou push-pull)
- de régulation en puissance des 2 diodes laser (CD et DVD)

**Figure 38.**  
Processeur de  
signal pour lecteur  
DVD.



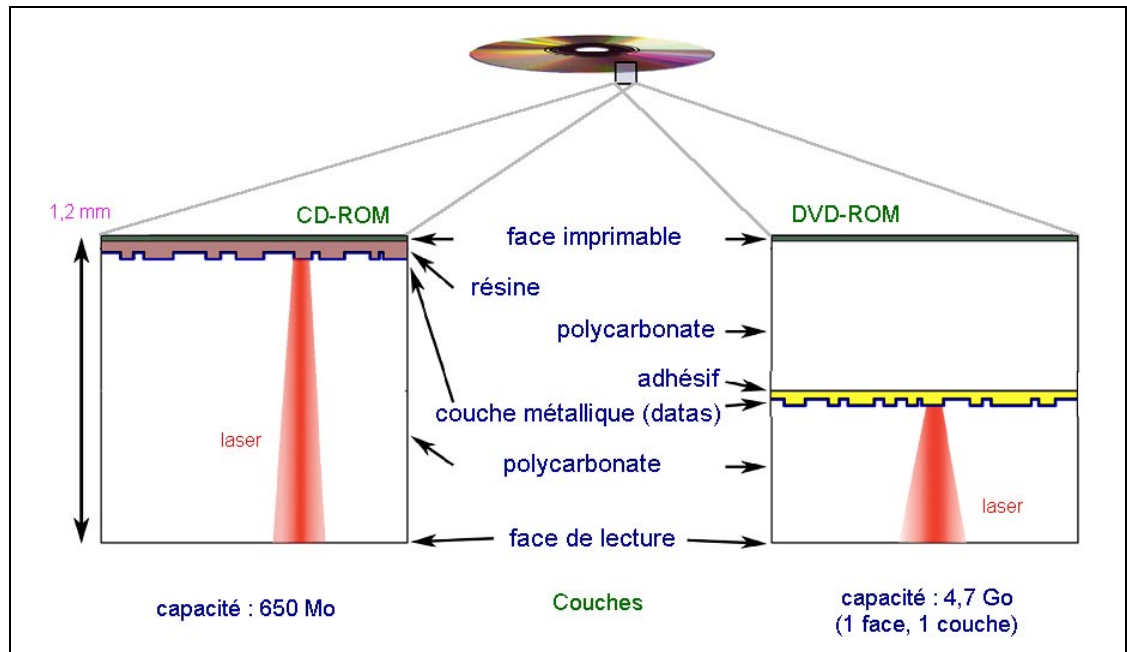


## 24-Les disques DVD enregistrables

La technologie des disques DVD enregistrables est très proche de celle des CD :

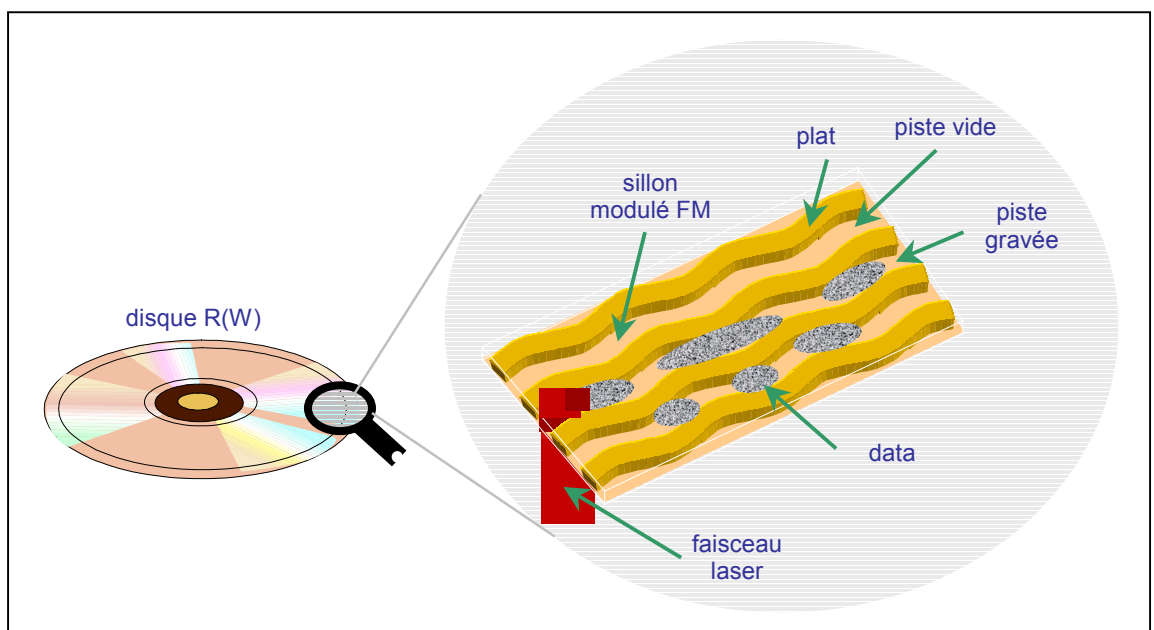
- les DVD±R utilisent une couche photosensible dont l'opacité change de façon irréversible sous l'effet thermique de l'impulsion laser
- les DVD±RW utilisent une couche photosensible à changement de phase (structure cristalline / structure amorphe) réversible
- le laser travaille à  $\lambda = 0,65 \mu\text{m}$  avec une ouverture numérique plus importante que pour le CD, il a donc fallu rapprocher la couche des données de la lentille

Figure 39.  
Les différences  
entre CD et DVD.



- pour guider le laser à la gravure, la technique du sillon préenregistré a aussi été retenue. A ce niveau, la standardisation n'a pas (encore?) été faite, ce qui donne lieu à 3 versions différentes incompatibles : le DVD-R(W), le DVD+R(W) et le DVD-RAM

Figure 40.  
Vue du DVD  
enregistrable.



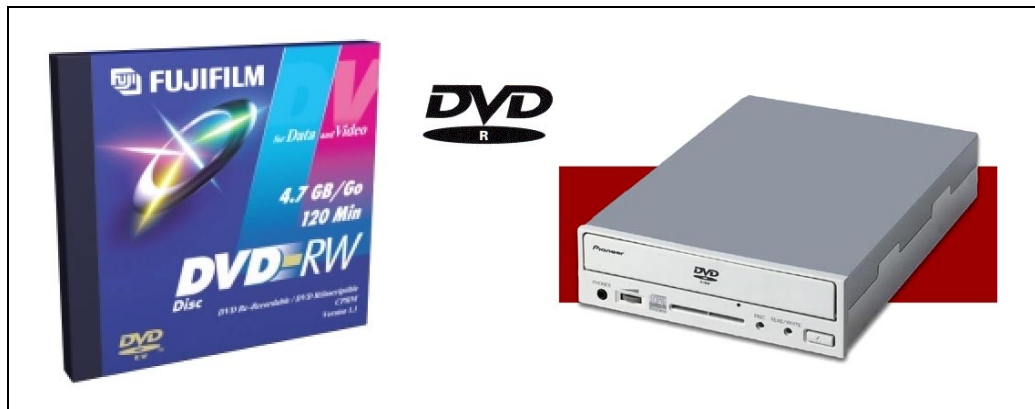




## 25-Le DVD-R(W)

Le premier DVD-R apparut sur le marché en 1997 avec une capacité de 3,95 Go, mais une rapide évolution porta ses limites à 4,7 Go par face et par couche.

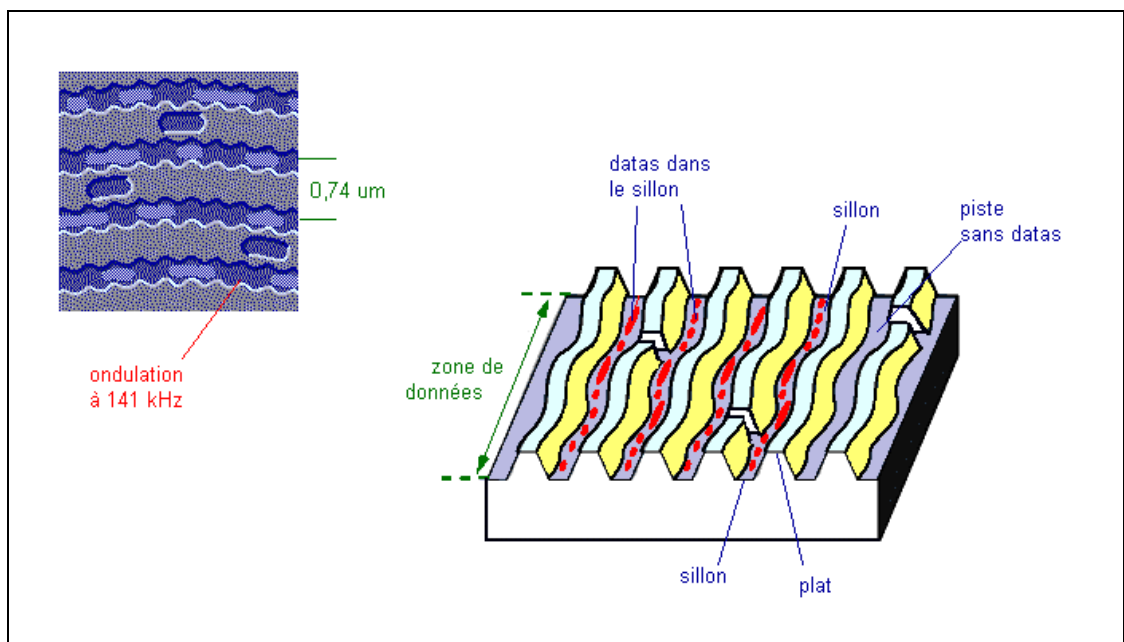
Figure 41.  
Support et  
graveur.



Les principales caractéristiques du **DVD-R(W)** sont les suivantes :

- un DVD-R(W) enregistré est compatible avec un DVD-ROM et peut donc être lu sur la plupart des lecteurs de salon
- comme pour un CD-R(W), le laser est guidé par un sillon (groove) gravé sur le disque
- ce sillon oscille et produit, si la vitesse de rotation du disque est correcte, un signal à 141 kHz
- pour permettre l'enregistrement en plusieurs fois, le repérage sur le disque est obtenu par des creux (prepits) inscrits sur les plats
- les prepits repèrent les secteurs sur le disque, la gravure de donnée s'accompagnant de l'enregistrement de « linking sectors »
- ces prepits n'ont pas d'incidence sur la lecture des données
- l'enregistrement se fait à vitesse linéaire constante CLV
- les disques DVD-RW sont réinscriptibles 1000 fois

Figure 42.  
La surface du  
DVD-R(W).



Ce standard a été développé par le précurseur, Pioneer, qui a été rejoint par d'autres grands constructeurs comme Apple pour constituer le Forum DVD qui régit la marque DVD et les différents points techniques.



## 26-Le DVD-RAM

Le deuxième standard, le DV-RAM arriva sur le marché en 1998, soit un an plus tard.

Ce format a été développé à l'origine pour contenir des données informatiques, ce qui justifie l'utilisation d'une enveloppe protectrice, mais qui le rend incompatible avec les lecteurs-graveurs usuels.

Ce format n'est donc utilisé que pour des applications de stockages de données professionnelles et dans certains caméscopes.

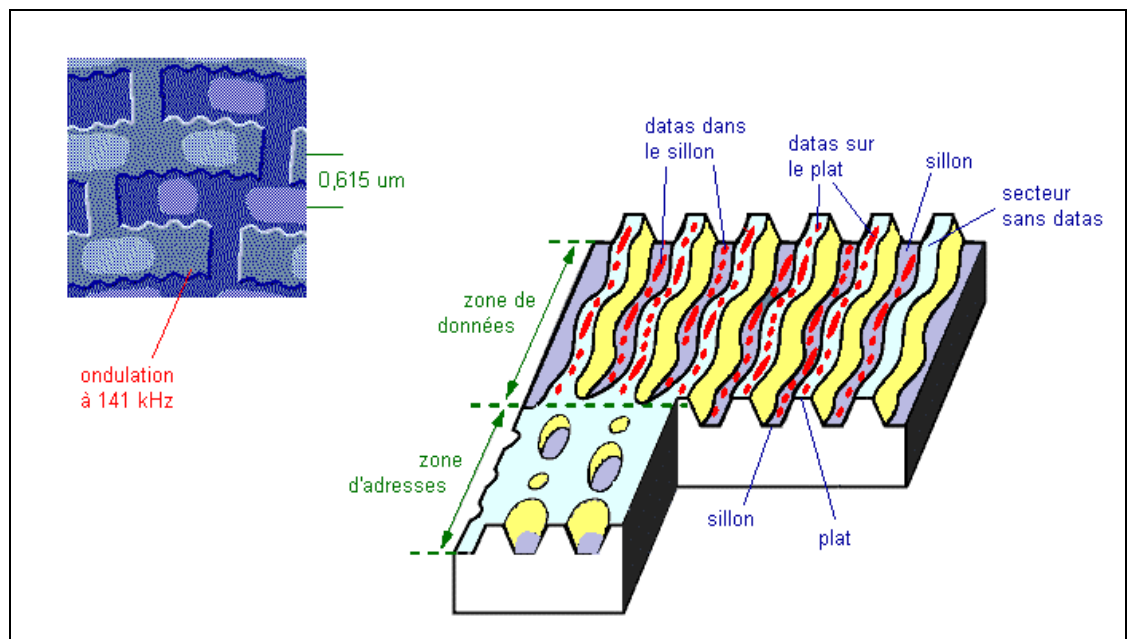
Figure 43.  
Support et  
graveur.



Les principales caractéristiques du DVD-RAM sont les suivantes :

- un DVD-RAM n'est pas compatible avec un DVD-ROM et nécessite un lecteur-graveur spécifique
- comme pour un CD-R(W), le laser est guidé par un sillon (groove) gravé sur le disque
- ce sillon oscille et produit, si la vitesse de rotation du disque est correcte, un signal à 141 kHz
- la surface du disque est divisée en secteurs de 2500 octets précédés par des bits d'adresse inscrits sur les plats
- le disque est réinscriptible 100 000 fois
- l'enregistrement se fait à vitesse constante pour un secteur, avec une vitesse qui varie selon la position du secteur (Zoned CLV)

Figure 44.  
La surface du  
DVD-RAM.





## 27-Le DVD+R(W)

Le troisième et dernier standard est le **DVD+R(W)**, soutenu par un consortium d'une dizaine de constructeurs : HP, Philips, Ricoh, Sony, Verbatim, Yamaha, etc...

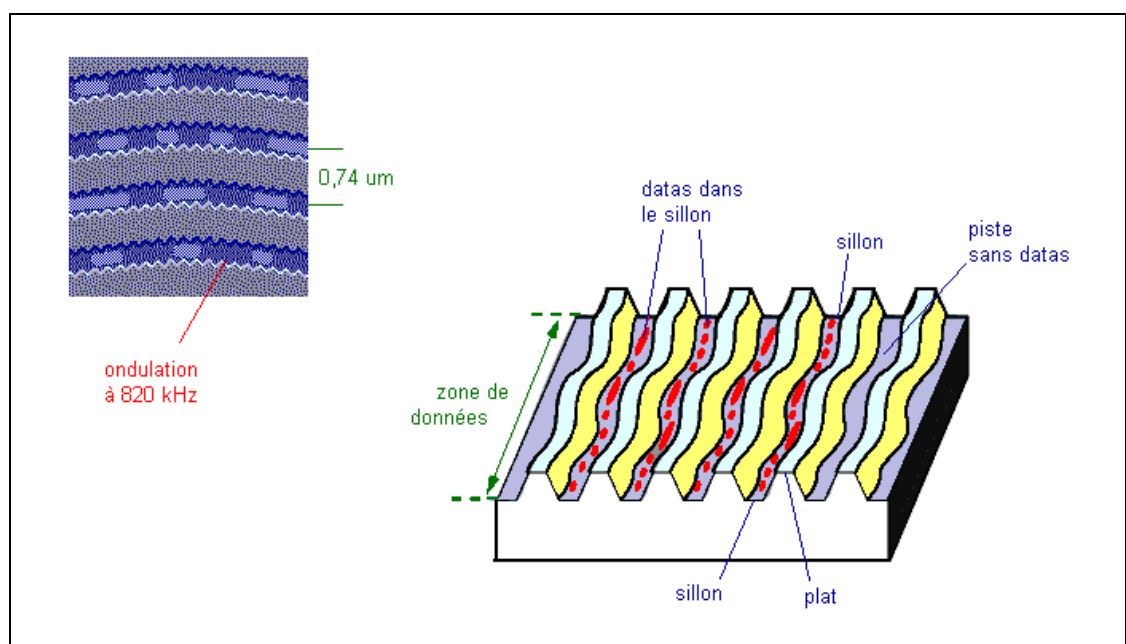
Figure 45.  
Support et  
graveur.



Les principales caractéristiques du **DVD+R(W)** sont les suivantes :

- un DVD+R(W) enregistré est compatible avec un DVD-ROM et peut donc être lu sur la plupart des lecteurs de salon
- comme pour un CD-R(W), le laser est guidé par un sillon (groove) gravé sur le disque
- ce sillon oscille et produit, si la vitesse de rotation du disque est correcte, un signal à 820 kHz
- le repérage sur le disque est obtenu par une adresse inscrite en modulation de phase sur le signal de 820 kHz (ADIP : Adress In Pregroove)
- la précision de l'adressage permet d'écrire des blocs de données de taille variable sans perte de place (lossless linking)
- le formatage se fait juste avant la gravure et peut être réalisé en arrière plan alors que le DVD-R(W) nécessite un formatage préalable à son utilisation
- l'enregistrement se fait à vitesse linéaire constance CLV, le fonctionnement en vitesse de rotation constante CAV étant possible pour un accès rapide aux données
- les disques DVD+RW sont réinscriptibles 1000 fois

Figure 46.  
La surface du  
DVD+R(W).





## 28-Les différents standards de DVD

Le tableau suivant résume les principales différences entre les différents standards :

	DVD-ROM	DVD-RAM	DVD-R	DVD-RW	DVD+R	DVD+RW
<b>Supporté par</b>		DVD Forum			DVD+RW Alliance	
<b>Leaders</b>		Apple, Hitachi, Nec, Panasonic, Pioneer, Samsung, Sharp			Dell, HP, Microsoft, Mitsubishi, Philips, Ricoh, Sony, Thomson, Yamaha	
<b>Longueur d'onde laser</b>	650nm	650nm	650nm (General Use) 635nm (Authoring)		650nm	
<b>Réfectivité</b>	45-85% SC 18-30% DC	15-25%	45-85%	18-30%	45-85%	18-30%
<b>Forme des piste de données</b>		Sillon+plat modulé FM + pré-pit	Sillon modulé FM + pré-pit		Sillon modulé en phase	
<b>Espacement des pistes</b>	0.74μ	0.615μ	0.74μ		0.74μ	
<b>Mount Rainier</b>		Non	Non	Non	Oui	
<b>Defect Management</b>		Oui (sur le disque)	Non	UDF	Non	Oui (par le lecteur)
<b>Lossless Linking</b>		Non	Non, juste Lossy Linking (perte du lien: 2Ko)		Oui (précision du lien: 1μ)	
<b>Technologies d'écriture</b>		ZCLV	CLV		CLV & CAV	
<b>Vitesse d'écriture maxi</b>	1385Ko/s	2X	2X	1X	2.4X	2.4X
<b>Réécritures</b>		100 000	NA	1 000	NA	1 000
<b>Formatage en arrière-plan</b>		Non	NA	Non	NA	Oui



**Mount Rainier** est un standard développé par Microsoft permettant de se servir d'un média (CD ou DVD) comme d'une disquette en s'affranchissant des logiciels de gravure. Implémenté dans les graveurs de CD et de DVD, il devrait autoriser une réelle interopérabilité entre les machines.

Ses autres avantages sont : formatage du disque en tâche de fond (géré par le graveur, donc pas d'implication de l'ordinateur), disque disponible dès l'insertion (même si le formatage se déroule déjà), éjection du disque avant que le formatage soit fini possible.



le **Defect Management** permet de gérer les rayures, les empreintes de doigts etc ... grâce à la présence de code de correction d'erreur et de données redondantes. Cette technologie est largement supérieure à celle utilisée pour les CD.

Dans le même registre, le **DVD+RW** supporte aussi un adressage précis des informations durant l'enregistrement, ce qui permet au graveur lors de chocs de pouvoir retourner à la position exacte où les données étaient écrites, puisqu'il peut lire ces informations durant l'enregistrement.



grâce au **Lossless Linking**, le graveur peut entre autres : stopper la gravure à un endroit donné et la reprendre plus tard, remplacer des secteurs individuels sur le disque à un endroit précis.

Des parties de l'enregistrement peuvent être remplacées, sans les effacer au préalable ni procéder à un effacement complet du disque, tout en gardant un disque totalement compatible et lisible dans un lecteur de salon.



## 29-Le Blu-Ray : successeur du DVD ?

Les besoins sans cesse croissants de capacité de stockage ont conduit au développement d'un nouveau standard appelé Blu-Ray.

Ce standard fait appel à une diode laser bleue mise au point en 1996 par Shuji Nakamura, physicien travaillant dans la société Nichia Chemical Industries, basée à Tokushima (Japon).

Figure 47.  
Le laser bleu.



L'utilisation d'une diode bleue permet de diminuer la taille du spot et donc d'augmenter la densité des données sur le disque :

- la diode laser bleue travaille à une longueur d'onde de  $\lambda = 0,405 \mu\text{m}$
- l'ouverture numérique de la lentille est de  $\text{NA} = 0,85$
- le diamètre de spot laser de  $d = 1,22 \cdot \lambda / \text{NA} = 0,58 \mu\text{m}$

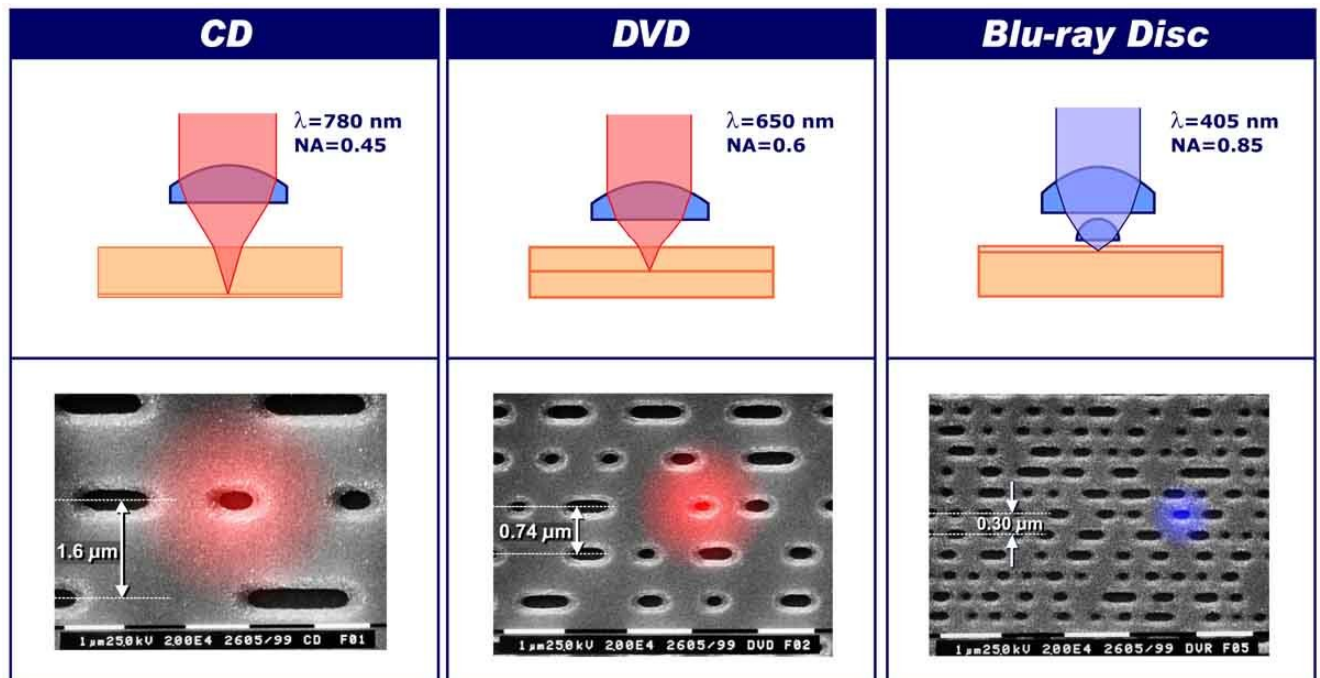


Figure 48. Tailles comparées des 3 spots.

La diminution de la taille du spot permet d'inscrire sur une couche 5X plus de données que sur un DVD.

Développé par un consortium de 9 grandes compagnies ( Sony, Thomson Multimédia, Philips, Pioneer, Matsushita, Sharp, Hitachi, LG Electronics, Samsung ) ce disque optique de conception nouvelle a été présenté le 19 février 2002 à Tokyo.



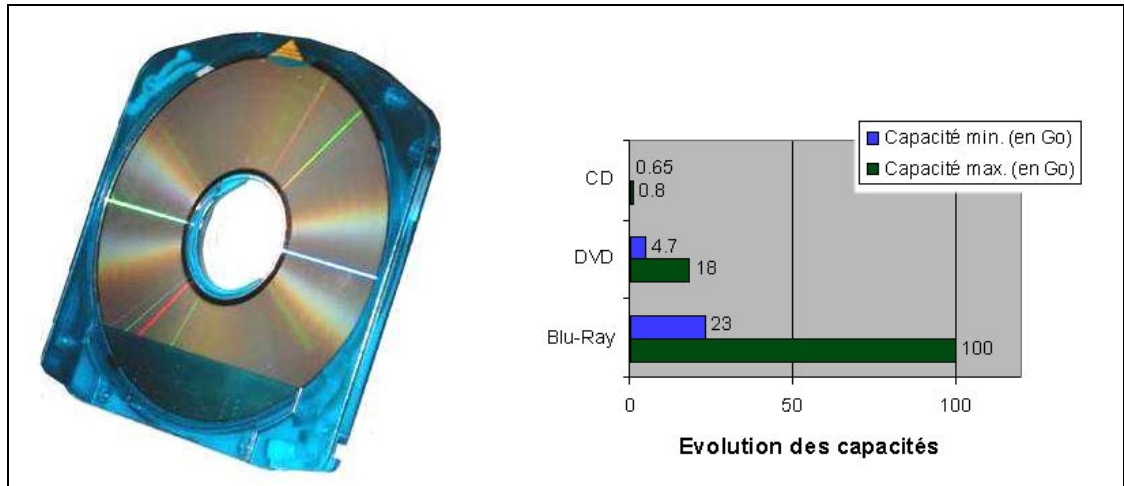


### 30-Les caractéristiques principales du Blu-Ray

A cause de l'ouverture numérique importante, les données doivent être placées très près de la surface du disque, ce qui le rend très sensible aux rayures.

C'est la raison pour laquelle le disque Blu-Ray est placé dans un étui protecteur.

Figure 49.  
Support et capacité  
du Blu-Ray.



Le graphe montre l'évolution des capacités des systèmes de stockage sur disque optique :

- les CD ont des capacités allant de 0,65Go à 0,8Go
- les DVD peuvent stocker 4,7Go sur une seule couche et peuvent contenir jusqu'à 4 couches
- les disques Blu-Ray peuvent stocker jusqu'à 27Go sur une seule couche, et peuvent donc atteindre 100Gb sur 4 couches

Actuellement, les DVD comportant 4 couches sont plutôt rares, et il n'existe pas encore de DVD-R de 18Go. Dans un premier temps, les disques Blu-Ray se contenteront vraisemblablement de capacités allant de 23 à 50Go, pour voir arriver dans quelques mois ou années, des disques de 100Go.



Lecteur-graveur informatique BF-101



Lecteur-graveur Sony de salon

Figure 50. Exemples de lecteurs-graveurs Blu-Ray.

A l'heure qu'il est, seul Sony a annoncé un graveur Blu-Ray informatique, le BF-101, qui devait sortir en été 2003 au Japon.

Par contre, de nombreux modèles de lecteurs-enregistreurs de salon sont déjà disponibles sur le marché japonais.