

Les principaux supports d'enregistrement et de diffusion



Table des matières

1. Les supports magnétiques.....	1
1.1. Les bandes	1
1.2. Les disques durs	3
2. Les supports magnéto-optiques	15
2.1. Les disques magnéto-optiques.....	15
2.2. Le mini Disc	15
3. Les disques optiques.....	26
3.1. Le CD (Compact disque).....	26
3.2. LE SACD	33
3.3. Le DVD	34
3.4. DVD-R ou DVD+R ?.....	40
3.5. Vers un remplacement du DVD ? – Le Blu-Ray: marketing ou réalité?.....	41
4. Le XD-Cam (Sony)	43
5. Les mémoires « Flash ».....	45
5.1. Présentation	45
5.2. Constitution	45
5.3. Les principaux formats de cartes mémoires	45
6. Comparatifs de quelques supports.....	54

Comme nous l'avons vu dans le cours intitulé « Les signaux analogiques » (T_1), la majorité des enregistrements vidéo se fait au moyen de bandes magnétiques ayant des propriétés spécifiques qu'il convient de prendre en compte et que nous passerons en revue dans le 1^{er} chapitre. Nous passerons donc en revue, dans un premier temps, les principaux supports utilisant cette technologie, aussi bien audio que vidéo.

Les bandes magnétiques étant d'une manière générale en perte de vitesse, nous verrons dans un second temps tous les autres supports, soit dérivés de la technologie des bandes magnétiques, soit utilisant des technologies totalement différentes.

1. Les supports magnétiques

1.1. Les bandes

1.1.1. Principaux formats analogiques utilisés en vidéo Broadcast

Une série d'évolutions technologiques ont été à la base du développement des divers formats actuels. Des magnétoscopes enregistrant directement en composites, les constructeurs sont passés progressivement à des enregistrements séparant la luminance Y de la chrominance C pour arriver à des enregistrements effectués directement en composantes (Y et D_r/D_b).

En 1986, c'est le début du numérique avec le format D1 4.2.2 8 bits 3/4 de pouce. C'était un format utilisable uniquement en studio rapidement le D2 et le D3 arrivent mais ils sont en composite. Le D5 de Panasonic est en 4.2.2 10 bits en 4/3 ou 8 bits en 16/9ème. Tous ces formats sont sans compression. Un magnétoscope numérique est 16 fois plus puissant (D'un point de vue consommation électrique,...) qu'un magnétoscope analogique. Le premier magnétoscope numérique date de 1986, son poids était de 125Kg pour 1250 Watts !

On trouve ensuite les formats principaux suivants :

- Betacam Digital : 4.2.2, 10 bits, taux de compression 2/1.
- DV, DVcam, DVCpro : 4.2.0 ou 4.1.1, 8 bits, taux 5/1.
- Bétacam SX : 4.2.2, 8 bits, compression MPEG2, taux d'environ 10/1.
- DVCpro 50 : 4.2.2, 8 bits, taux 3,3.

Nous pourrons consulter à profit le tableau final du chapitre consacré à « la vidéo numérique ».

L'ensemble des formats utilisés en vidéo Broadcast sera l'objet d'un cours spécifique vu dans le temps consacré aux magnétoscopes.

1.1.2. Le DAT



1.1.2.1. Présentation

Le Standard DAT (digital audio tape), créé en 1987, est un format d'enregistrement numérique qui offre 3 heures de son 100 % numérique sur une cassette deux fois plus petite qu'une cassette classique, au même format que le CD (44,1 kHz pour la fréquence d'échantillonnage et pas de quantification de 16 bits linéaire). C'est le seul standard d'enregistrement n'utilisant pas de compression de données comme le font la cassette DCC ou le Minidisc, ce qui signifie que l'intégralité du signal est restitué (la copie d'un CD est un clone de l'original). La qualité de ce format est telle que les studios d'enregistrement professionnels l'ont très vite adopté et en ont fait le standard d'enregistrement numérique. De plus, le DAT offre un confort d'utilisation infiniment supérieur à celui d'une platine cassette analogique. Ainsi, l'indexation de la bande et un rembobinage extrêmement rapide (environ 50 secondes pour une cassette de 120 min) facilite grandement le repérage et l'accès en tout endroit de la bande DAT. La pureté du son a maintenant deux ambassadeurs : le lecteur CD et la platine DAT.

1.1.2.1.1. Le système de la tête rotative

L'enregistrement sur platine DAT est réalisé en diagonale, comme dans le cas de l'enregistrement vidéo, sur la bande par une tête rotative. Ce système permet d'enregistrer une haute densité d'informations en minimisant le risque d'erreurs.

1.1.2.1.2. Les fréquences d'échantillonnage

Le format DAT fonctionne avec 3 fréquences d'échantillonnage : 48 kHz, 44,1 kHz et 32 kHz en 16 bits ce qui, dans le cas du 48 kHz, permet d'obtenir une qualité d'enregistrement supérieure au CD. Il existe aussi sur la plupart des machines un mode LP (« long play »), qui permet de doubler la durée d'enregistrement (on peut donc enregistrer plus de 6 heures sur une cassette 180 minutes). Ce mode utilise une fréquence d'échantillonnage de 32 kHz en 12 bits stéréo. Sur de rares machines (Pioneer, Onkyo), il existe un mode HS qui utilise du 96 kHz en 16 bits dans ce cas la bande va 2 fois plus vite que la normale (une cassette de 2 heures n'enregistre alors qu'une heure de musique), pour pouvoir gérer le doublement du nombre d'informations ou à traiter.

1.1.2.1.3. Les tailles de cassette



La cassette DAT est 2 fois plus petite qu'une cassette traditionnelle et utilise une bande métal. Les cassettes sont disponibles pour des durées allant de 15 min à 180 minutes. De nombreuses marques fabriquent ces cassettes comme Sony, TDK, Maxell, Fuji, BASF, Ampex, Denon ou bien JVC.

1.1.2.1.4. Les différents modes DAT

Différents modes d'utilisation sont possibles avec les cassettes DAT. Le mode le plus courant d'utilisation est le mode standard, et ce sont les spécifications de ce dernier qu'il sera bon de retenir.

Signification des différents modes :

Mode I : Mode standard

Mode II : Compatible avec la diffusion par satellite mode A

Mode III : Mode longue durée

Mode IV : Mode 4 canaux

Mode V et VI : Modes cassettes préenregistrées

Mode	I	II	III	IV	V	VI
Nb de canaux	2	2	2	4	2	2
Fréquence d'échantillonnage (kHz)	48	32	32	32	44,1	
Résolution bits	16 linéaire	16 linéaire	12 non linéaire	12 non linéaire	16 linéaire	
Débit ko/s	273.1	273.1	136.5	273.1	273.1	
Rot. tambour t/mn	2000	2000	1000	2000	2000	2000
Largeur de piste μm	13,591	13,591	13,591	13,591	13,591	20,41
Couche magnétique	métal	métal	métal	métal	métal	oxyde

1.2. Les disques durs

1.2.1. Le rôle du disque dur

Le disque dur est l'organe du PC servant à conserver les données de manière permanente, contrairement à la mémoire vive, qui s'efface à chaque redémarrage de l'ordinateur. C'est la raison pour laquelle on parle parfois de *mémoire de masse* pour désigner les disques durs.

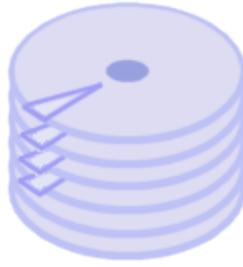
1.2.1.1. Constitution

Un disque dur est constitué non pas d'un seul disque, mais de plusieurs disques rigides en métal, en verre ou en céramiques empilés les uns après les autres à une très faible distance les uns des autres.

Ils tournent très rapidement autour d'un axe (à plusieurs milliers de tours par minute actuellement) dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

Il existe sur les disques durs des millions de bits, stockés très proches les uns des autres sur une fine couche magnétique de quelques microns d'épaisseur, elle-même recouverte d'un film protecteur.

La lecture et l'écriture se font grâce à des têtes (en anglais head) situées de part et d'autre de chacun des plateaux (un des disques composant le disque dur). Ces têtes sont des électroaimants qui se baissent et se soulèvent (elles ne sont qu'à quelques microns de la surface, séparées par une couche d'air provoquée par la rotation des disques qui crée un vent d'environ 250km/h) pour pouvoir lire l'information ou l'écrire. De plus ces têtes peuvent balayer latéralement la surface du disque pour pouvoir accéder à toute la surface...



Cependant, les têtes sont liées entre-elles et seulement une seule tête peut lire ou écrire à un moment donné. On parle donc de *cylindre* pour désigner l'ensemble des données stockées verticalement sur la totalité des disques.

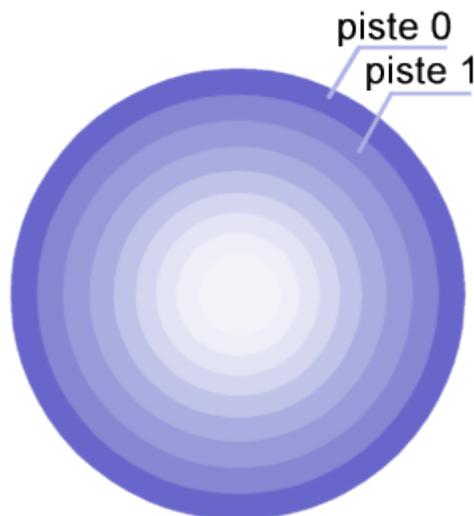
L'ensemble de cette mécanique de précision est contenu dans un boîtier totalement hermétique, car la moindre particule peut détériorer l'état de surface du disque. Vous pouvez donc voir sur un disque des opercules permettant l'étanchéité, et la mention "Warranty void if removed" qui signifie littéralement "la garantie expire si retiré" car seul les constructeurs de disques durs se réservent le droit de les ouvrir (dans des salles blanches: exemptes de particules).

1.2.1.2. Principe de fonctionnement

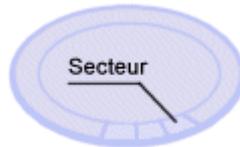
Les têtes de lecture/écriture sont dites "inductives", car leur fonctionnement est basé sur ce principe. C'est notamment le cas lors de l'écriture, les têtes, en créant des champs d'orientation variable, viennent polariser la surface du disque en une très petite zone. Cette zone, lors du passage en lecture, créera des changements de polarité magnétique induisant un courant dans la tête. Nous percevons donc bien qu'à la source, c'est une *variation analogique d'aimantation* qui sera ensuite transformé en langage numérique binaire par un convertisseur de type CAN compréhensible par l'ordinateur...

1.2.1.3. Un peu de vocabulaire...

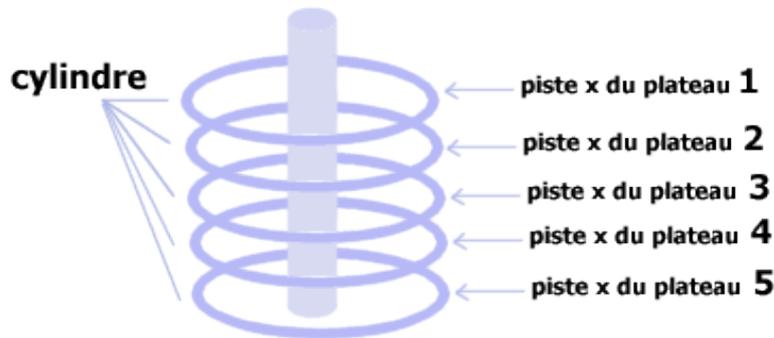
Les têtes commencent à inscrire des données à la périphérie du disque (piste 0), puis avancent vers le centre. Les données sont organisées en cercles concentriques appelés "*pistes*", créées par le formatage.



Les pistes sont séparées en quartiers (entre deux rayons) que l'on appelle *secteurs*, c'est la zone dans laquelle on peut stocker les données (512 octets en général).



On appelle *cylindre* l'ensemble des données situées sur des pistes de même numéro, mais situées sur des plateaux différents (c'est-à-dire à la verticale les unes des autres). Le nom vient de la forme géométrique prise par cet ensemble de piste.



On appelle *cluster* la zone minimale que peut occuper un fichier sur le disque. En effet le système d'exploitation exploite des blocs qui sont en fait plusieurs secteurs (entre 1 et 16 secteurs). Un fichier, même minuscule, devra donc occuper plusieurs secteurs (un cluster).

L'interface SCSI est une interface qui permet la prise en charge d'un nombre important d'unités (disques durs, Cd-rom, Graveur, scanner, ...), c'est-à-dire plus d'une dizaine simultanément. Elle est beaucoup utilisée pour sa stabilité notamment au niveau du taux de transfert. En effet, c'est un adaptateur SCSI (carte adaptatrice sur un emplacement PCI ou ISA ou bien directement intégré sur la carte mère pour les configurations haut de gamme) qui se charge de la gestion et du transfert des données avec un microprocesseur dédié. Le microprocesseur central est alors relégué de ses activités concernant le flux de données, il ne communique qu'avec la carte SCSI.

Ainsi chaque contrôleur SCSI a ses propres caractéristiques (fréquence, ...), le BIOS n'a donc aucune influence sur les performances de l'interface SCSI étant donné qu'elle possède elle-même son propre BIOS. Il est toutefois possible d'optimiser cette interface en faisant évoluer le BIOS de la carte SCSI.

1.2.1.4. Historique

La grande saga des disques durs		
Année	Avancée technologique	Description
1956	Premier disque dur	Le RAMAC d'IBM est introduit. Il a une capacité d'environ 5 Mo, stockés sur 50 disques de 61 cm de diamètre. Sa densité surfacique est de 2 000 bits par pouce carré, et son taux de transfert de 8,8 Ko/s.
1962	Premières têtes sur coussin d'air	Le modèle 1301 d'IBM abaisse l'altitude des têtes à 6,35 µm. Il dispose d'une capacité de 28 Mo avec deux fois moins de têtes que le RAMAC, et tant sa densité surfacique que son taux de transfert sont accrus d'environ 1 000%.
1965	Premier disque dur amovible	Le modèle 2310 d'IBM est le premier disque dur avec un sous-ensemble disque amovible. De nombreux utilisateurs de PC pensent que le concept de disque amovible est récent, alors qu'il était populaire dans les années 60 et 70!
1966	Premières têtes en ferrite (oxyde de fer principalement)	Le modèle 2314 d'IBM est le premier modèle à faire usage de têtes en ferrite, le premier type de têtes qui seront utilisées plus tard dans les disques durs de PC.
1973	Premier disque de conception moderne	Le modèle 3340 d'IBM, surnommé "Winchester", est introduit. Avec une capacité totale de 60 Mo, il ouvre la voie à de nombreuses technologies clés qui en font le véritable ancêtre des disques durs modernes.
1979	Premières têtes Thin Film (couches minces)	Le modèle 3370 d'IBM est le premier disque dur avec des têtes Thin Film, qui deviendront le standard de l'industrie pendant plusieurs années.
1979	Premier disque au format 8"	Le modèle 3310 d'IBM est le premier disque dur avec des plateaux de 8" de diamètre, nettement plus petits que ceux de 14" qui ont été le standard pendant une décennie.
1980	Premier disque au format 5,25"	Le Seagate ST-506 est le premier disque dur au format 5,25" utilisé dans les PC de la première heure.
1983	Premier disque au format 3,5"	Rodime introduit le RO352, le premier disque dur à adopter le format de 3,5", qui allait devenir l'un des plus importants standards de l'industrie.
1985	Premier disque dur sous forme de carte d'extension	Quantum introduit le <i>Hardcard</i> , un disque dur de 10,5 Mo monté sur une carte d'extension ISA pour les PC qui étaient fabriqués à l'origine sans disque dur. Ce produit lança véritablement Quantum.
1986	Premier disque de 3,5" muni de bobines électromagnétiques	Conner Peripherals introduit le CP340, le premier disque dur à utiliser des bobines électromagnétiques pour actionner les actuateurs des bras supportant les têtes.
1988	Premier disque de 3,5" bas-profil	Conner Peripherals introduit le CP3022, qui est le premier disque dur à adopter la hauteur réduite de 1" appelée aujourd'hui "bas-profil", et qui est le standard pour les disques de 3,5" modernes.
1988	Premier disque au format 2,5"	PrairieTek introduit un disque dur utilisant des plateaux de 2,5" de diamètre. Cette dimension allait devenir plus tard un standard pour les ordinateurs portables.
1990	Premier disque à utiliser des têtes magnéto-résistives et le décodage des données PRML	Le modèle 681 d'IBM, alias Redwing, un disque dur de 857 Mo, est le premier à utiliser des têtes magnéto-résistives et le décodage des données PRML.
1991	Premiers disques à membrane fine	Le disque pour mainframes d'IBM "Pacifica" est le premier à remplacer le média à Oxyde de métal par un média à membrane fine sur la surface des plateaux.
1991	Premier disque au format 1,8"	Le 1820 d'Integral Peripherals est le premier disque dur avec des plateaux de 1,8", qui seront utilisés plus tards sur les disques au format PC-Card.
1992	Premier disque au format 1,3""	Le C3013A de Hewlett Packard est le premier disque dur au format 1,3".
1997	Introduction des têtes GMR par IBM (Giant Magneto-resistive)	Alternance de deux couches de matériaux magnétique avec une couche non magnétique: têtes quatre fois plus sensibles, car les deux couches magnétiques augmentent artificiellement la magnétorésistance de la tête.

1.2.1.5. **Caractéristiques du disque dur**

- Le *taux de transfert* est la quantité de données qui peuvent être lues ou écrites sur le disque en un temps donné. Il s'exprime aujourd'hui en Mégaoctets par seconde,
- Le *temps de latence* (aussi appelé « délai rotationnel ») représente le temps écoulé entre le moment où le disque trouve la piste et le moment où il trouve les données,
- Le *temps d'accès* est le temps que met la tête pour aller d'une piste à la piste suivante (elle doit être la plus petite possible),
- Le *temps d'accès moyen* est le temps que met le disque entre le moment où il a reçu l'ordre de fournir des données et le moment où il les fournit réellement,
- La *densité radiale* est le nombre de pistes par pouce (tpi: Track per Inch),
- La *densité linéaire* est le nombre de bits par pouce sur une piste donnée (bpi: Bit per Inch),
- La *densité surfacique* est le rapport de la densité linéaire sur la densité radiale (s'exprime en bit par pouces carré)

1.2.2. **Le formatage**

1.2.2.6. **Différents types de formatage**

Avant de vouloir comprendre ce qu'est le formatage, il est essentiel de connaître le fonctionnement d'un disque dur. Beaucoup de personne ne distingue pas le formatage *de bas niveau* (appelé aussi *formatage physique*) et le formatage *de haut niveau* (appelé aussi *formatage logique*).

1.2.2.7. **Le formatage physique**

1.2.2.7.1. **Utilité**

Les disques durs, aussi petits soient-ils, contiennent des millions de bits et donc d'octets. Il faut donc organiser les données afin de pouvoir localiser les informations. C'est tout le but du formatage. La surface de chaque cylindre, originalement uniforme est divisée lors du formatage (par « divisée », on entend que les particules à la surface du disque sont magnétisées bien sûr...) en petites parcelles qui pourront plus facilement être repérées.

Le *formatage physique* consiste à ainsi organiser la surface de chaque plateau, en polarisant grâce aux têtes d'écriture des zones du disque.

Nous avons vu dans le paragraphe précédent que les pistes sont numérotées en partant de 0, les têtes polarisant concentriquement la surface des plateaux. Lorsque l'on passe d'une piste à une autre, lors de l'enregistrement, la tête laisse un "trou" (appelé « gap » en anglais) et ce, à chaque modification de la tête de lecture. Chaque piste est elle-même organisée en secteurs (numérotés en commençant à partir de 1) séparé entre eux par des gaps. Chacun de ces secteurs commence par une zone réservée aux informations du système appelée préfixe et se termine par une zone appelée suffixe

Le formatage de bas niveau a donc pour but de préparer la surface du disque à accueillir des données (il ne dépend donc pas du système d'exploitation) et permet grâce à des tests effectués par le constructeur de marquer les secteurs défectueux.

Généralement, à l'achat, il est inutile de formater le disque dur, cette opération ayant déjà été réalisée par le constructeur.

1.2.2.7.2. **Le contrôle d'erreur**

Pendant le formatage, des tests de contrôle (algorithme permettant de tester la validité des secteurs grâce à des *sommes de contrôle*) sont effectués et à chaque fois qu'un secteur est considéré comme défectueux, la somme de contrôle, correspondant à la fonction « invalide », est inscrite dans le préfixe, il ne pourra alors plus être utilisé par la suite, on dit qu'il est *marqué défectueux*.

Lorsque le disque lit des données, il envoie une valeur qui dépend du contenu du paquet envoyé, et qui est initialement stockée avec ceux-ci. Le système calcule cette valeur en fonction des données

reçues, puis la compare avec celle qui était stockée avec les données. Si ces deux valeurs sont différentes, les données ne sont pas valides, il y a probablement un problème de surface du disque.

Le contrôle de redondance cyclique (CRC: en anglais cyclic redundancy check), est basé sur le même principe pour contrôler l'intégrité d'un fichier.

Les utilitaires d'analyse tel que *scandisk* ou *chkdsk* opèrent autrement:

Ils inscrivent des données sur les secteurs à priori marqués valides, puis les relisent et les comparent. Si ceux-ci sont similaires, l'utilitaire passe au secteur suivant, dans le cas contraire ils marquent le secteur défectueux.

1.2.2.8. Le formatage de haut niveau

Le formatage logique s'effectue après le formatage de bas niveau. Il crée un **système de fichiers** sur le disque, qui va permettre à un système d'exploitation (DOS, Windows 95, Linux, OS/2, Windows NT, ...) d'utiliser l'espace disque pour stocker et utiliser des fichiers.

Les systèmes d'exploitation utilisent des systèmes de fichiers différents, ainsi le type de formatage logique dépend du système d'exploitation que vous installez. Ainsi, si vous formatez votre disque en un seul système de fichiers, cela limite naturellement le nombre et le type de systèmes d'exploitation que vous installez (en effet vous ne pourrez installer que des systèmes d'exploitation utilisant le même système de fichiers).

Heureusement, il y a une solution à ce problème qui consiste à créer **des partitions**. Chacune des partitions peut effectivement avoir son propre système de fichiers, vous pouvez par conséquent installer des systèmes d'exploitation de natures diverses.

Lorsque vous formatez votre disque dur à l'aide de la commande « format » sous DOS, si vous omettez le commutateur "/s", votre ordinateur risque de ne pas pouvoir démarrer votre système d'exploitation.

1.2.2.9. Les systèmes de fichier

1.2.2.9.1. Définition

On appelle FAT le système de fichiers utilisés par les systèmes d'exploitation DOS (DOS et Windows 95 ainsi que Windows NT et OS/2 qui la supportent).

Système d'exploitation	Système de fichiers associé
DOS	FAT16
Windows 95	FAT16 - FAT32 (pour la version OSR2)
Windows NT	NTFS
OS/2	HPFS
Linux	Linux Ext2, Linux Ext3

Le système de fichiers **FAT** est caractérisé par l'utilisation d'une table d'allocation de fichiers et de *clusters* (ou blocs) (Voir paragraphe précédent).

Les clusters sont les plus petites unités de stockage du système de fichier FAT.

1.2.2.9.2. Historique

Le premier système de fichier ayant été utilisé sur un système d'exploitation Microsoft est le système **FAT**, qui utilise une table d'allocation de fichiers (en anglais **FAT**, *File Allocation Table*). La table d'allocation de fichiers est en fait un index qui liste le contenu du disque, afin d'enregistrer l'emplacement des fichiers sur celui-ci. Etant donné que les blocs qui constituent un fichier ne sont pas toujours stockés de manière contiguë sur le disque (c'est ce que l'on appelle la *fragmentation*), la table d'allocation permet de conserver la structure du fichier en créant des liens vers les blocs constitutifs du fichier. Le système FAT est un système 16 bits permettant de décrire un fichier par un nom d'une longueur de 8 caractères et une extension qui en comporte 3. On appelle ainsi ce système FAT16.

Pour améliorer ce point, la version originale de Windows 95 (employant le système FAT16) a été dotée d'une prise en charge améliorée de la FAT, il s'agit du système VFAT (*Virtual FAT*). La VFAT est un système 32 bits permettant d'enregistrer un fichier avec un nom de 255 caractères de long. Les programmeurs ont toutefois dû veiller à la compatibilité ascendante, de telle façon à pouvoir accéder à ces fichiers à partir d'environnements 16 bits (DOS). La solution a donc été d'affecter un nom pour chaque système. C'est la raison pour laquelle il est possible d'utiliser des noms longs sous Windows 95, tout en pouvant y accéder sous DOS.

1.2.2.9.3. Définition

Le système de fichiers FAT est un système 16 bits, cela signifie qu'il ne peut pas adresser les clusters sur plus de 16 bits. Le nombre maximum de clusters repérables avec le système FAT est ainsi de 2^{16} , soit 65536 clusters. Or, étant donné qu'un cluster est constitué d'un nombre fixé (4, 8, 16, 32, ...) de secteurs de 512 octets contigus, la taille maximale d'une partition FAT se trouve en multipliant le nombre de clusters par la taille d'un cluster. Avec des clusters d'une taille 32Ko, la taille maximale d'une partition FAT est donc de 2Go.

D'autre part, un fichier ne peut occuper qu'un nombre entier de clusters, c'est-à-dire que si un fichier occupe plusieurs clusters, le dernier sera occupé en partie, et la place inoccupée restante est autant de place perdue. Par conséquent plus la taille d'un cluster est réduite, moins il y a de gaspillage de place. On estime qu'un fichier gaspille en moyenne la moitié d'un cluster, cela signifie que sur une partition de 2Go, 6Ko seront perdus par fichier...

1.2.2.9.4. La table d'allocation de fichiers

La FAT (File Allocation Table: table d'allocation des fichiers) est le coeur du système de fichiers. Elle est localisée dans le secteur 2 du cylindre 0 à la tête 1 (Elle est dupliquée dans un autre secteur par des mesures de précautions en cas d'accident). Dans cette table sont enregistrés les numéros des clusters utilisés, et où sont situés les fichiers dans les clusters.

1.2.2.9.5. Cas des disques de taille importante

Le système de fichiers FAT supporte des disques ou des partitions d'une taille allant jusqu'à 2 GB, mais autorise au maximum 65 536 clusters. Ainsi, quelle que soit la taille de la partition ou du disque, il doit y avoir suffisamment de secteurs par cluster pour que tout l'espace disque puisse être contenu dans ces 65 525 clusters. Ainsi, plus la taille du disque (ou de la partition) est importante, plus le nombre de secteurs par cluster doit être important.

1.2.2.9.6. Informations stockées

Le système de fichier FAT utilise un répertoire racine (représenté sur les systèmes d'exploitations qui utilisent ce type de systèmes de fichiers par le signe C:\), qui doit être situé à un endroit spécifique du disque dur. Ce répertoire racine stocke les informations sur les sous-répertoires et fichiers qu'il contient. Pour un fichier, il stockera donc :

- le nom de fichier
- la taille du fichier
- la date et l'heure de la dernière modification du fichier
- les attributs du fichier
- le numéro du cluster auquel le fichier commence

1.2.2.10. Le système de fichier FAT32

Bien que la VFAT soit astucieuse, elle ne permet pas de remédier aux limitations de la FAT16. Ainsi, un nouveau système de fichiers (et non une meilleure prise en charge de la FAT telle que VFAT) est apparu avec Windows 95 OSR2. Ce système de fichiers, appelé FAT32 utilise des valeurs 32 bits pour les entrées de la FAT. En réalité, seuls 28 bits sont utilisés, 4 bits étant réservés.

Avec l'apparition du système de fichiers FAT32, le nombre maximal de clusters par partition est passé de 65 535 à 268 435 456 (228). La FAT32 autorise donc des partitions d'une taille beaucoup plus élevée (jusqu'à 2 téraoctets). Puisqu'une partition FAT32 peut contenir beaucoup plus de clusters qu'une partition FAT16, il est possible de réduire de façon significative la taille des clusters et de limiter par la même occasion le gaspillage d'espace disque. A titre d'exemple, pour une partition de 2Go, il est possible d'utiliser des clusters de 4Ko avec le système FAT32 (au lieu de 32Ko en FAT16), ce qui diminue l'espace gaspillé par un facteur 8.

En contrepartie la FAT32 n'est pas compatible avec les versions de Windows antérieures à la version OEM Service Release 2. Un système démarrant avec une version précédente ne verra tout simplement pas ce type de partition.

Autre remarque, les utilitaires de gestion de disque fonctionnant en 16 bits tels que d'anciennes versions de Norton Utilities ne pourront plus fonctionner correctement. En termes de performances, l'utilisation d'un système FAT32 au détriment du système FAT16 apporte en pratique un léger gain en performances de l'ordre de 5%.

1.2.3. Cas particulier du système de fichiers NTFS

Le système de fichiers NTFS (*New Technology File System*) utilise un système basé sur une structure appelée « table de fichiers maître », ou MFT (*Master File Table*), permettant de contenir des informations détaillées sur les fichiers. Ce système permet ainsi l'utilisation de noms longs, mais, contrairement au système FAT32, il est sensible à la casse, c'est-à-dire qu'il est capable de différencier des noms en majuscules de noms en minuscules.

Pour ce qui est des performances, l'accès aux fichiers sur une partition NTFS est plus rapide que sur une partition de type FAT car il utilise un arbre binaire performant pour localiser les fichiers. La limite théorique de la taille d'une partition est de 16 exaoctets (17 milliards de To), mais la limite physique d'un disque est de 2To.

C'est au niveau de la sécurité que NTFS prend toute son importance, car il permet de définir des attributs pour chaque fichier. La version 5 de ce système de fichiers (en standard sous Windows 2000 alias NT 5) amène encore de nouvelles fonctionnalités parmi lesquelles des performances accrues, des quotas de disque par volume définis pour chaque utilisateur. NTFS v.5 devrait aussi apporter la possibilité d'administration à distance...

1.2.4. La fragmentation

1.2.4.1. Définition

Lorsque vous enregistrez un fichier sur le disque (celui-ci étant vide à la base), toutes les informations concernant ce fichier sont écrites les unes à la suite des autres. Lorsque vous enregistrez un deuxième fichier, celui-ci va s'enregistrer à la suite du premier et ainsi de suite.

Cependant, lorsque un fichier est effacé, ceci génère un espace vide sur le disque. Or, les fichiers suivants vont combler les "trous", et vont donc être éparpillés en portions de fichiers sur le disque. Cela est d'autant plus vrai que le disque dur a une grosse capacité et possède une grande quantité de fichiers.

Ainsi, lorsque le système accède à un fichier, la tête du disque va devoir parcourir l'ensemble des endroits où les morceaux du fichier sont enregistrés pour pouvoir lire celui-ci. Cela se traduit donc par une baisse de performances....

1.2.4.2. La défragmentation

La copie, le déplacement et la suppression des fichiers sont inévitables, car le système écrit constamment des fichiers temporaires (Inscription sur la base de registres...). Il est donc indispensable de recourir à un outil de défragmentation, c'est-à-dire un logiciel capable de réorganiser les fichiers sur le disque dur de telles façons que les "parcelles" de fichiers soient stockées de manière contiguë afin de former des fichiers plus "compact"!

Il est ainsi recommandé d'utiliser régulièrement (une fois par mois environ) un utilitaire de défragmentation, qui va réorganiser les données stockées sur le disque.

1.2.4.3. Utilisation des outils de défragmentation

L'outil de défragmentation utilise des algorithmes afin de réordonner au mieux les fichiers sur le disque. Les morceaux de fichiers éparpillés sur le disque sont déplacés tour à tour dans l'espace disque disponible (non utilisé par des fichiers) de manière temporaire, puis replacés à un endroit adéquat. Cette défragmentation se fait ainsi d'autant plus facilement que l'espace disque disponible est important.

D'autre part, si les données sont changées lors de la défragmentation, l'outil doit recalculer la manière de déplacer les fichiers afin de tenir compte de ces nouveaux changements. Il est donc indispensable de fermer toutes les applications ouvertes afin de commencer la défragmentation. Or le système d'exploitation possède des processus fonctionnant en arrière-plan et accédant au disque dur (notamment lorsque la quantité de mémoire vive présente sur le système n'est pas suffisante, car le système crée des fichiers d'échange).

Ainsi, il est fortement recommandé pour les ordinateurs fonctionnant sous Windows, de le redémarrer en mode sans échec, c'est-à-dire un mode dans lequel les éléments de configuration minimaux sont chargés. Pour redémarrer l'ordinateur en mode sans échec, il suffit d'appuyer sur la touche F5 juste après l'écran de démarrage de l'ordinateur (comptage de la mémoire vive et détection des disques) et juste avant le message Démarrage de Windows.

Il est possible également de l'utiliser après avoir diminué fortement le nombre d'applications actives.

1.2.5. La technologie RAID

La technologie **RAID** (acronyme de *Redundant Array of Inexpensive Disks*, parfois *Redundant Array of Independent Disks*, traduisez Ensemble redondant de disques indépendants) permet de constituer une unité de stockage à partir de plusieurs disques durs. L'unité ainsi créée (appelée *grappe*) a donc une **grande tolérance aux pannes** (haute disponibilité), ou bien une **plus grande capacité/vitesse d'écriture**. La répartition des données sur plusieurs disques durs permet donc d'en augmenter la sécurité et de fiabiliser les services associés.

Cette technologie a été mise au point en 1987 par trois chercheurs (Patterson, Gibson et Katz) à l'Université de Californie (Berkeley). Depuis 1992 c'est le *RAID Advisory Board* qui gère ces

spécifications. Elle consiste à constituer un disque de grosse capacité (donc coûteux) à l'aide de plus petits disques peu onéreux (c'est-à-dire dont le *MTBF*, *Mean Time Between Failure*, soit le temps moyen entre deux pannes est faible).

Les disques assemblés selon la technologie RAID peuvent être utilisés de différentes façons, appelées Niveaux RAID. L'université de Californie en a défini 5, auxquels ont été ajoutés les niveaux 0 et 6. Chacun d'entre eux décrit la manière selon laquelle les données sont réparties sur les disques:

- **Niveau 0**: appelé striping,
- **Niveau 1**: appelé mirroring, shadowing ou duplexing,
- **Niveau 2**: appelé striping with parity (obsolète)
- **Niveau 3**: appelé disk array with bit-interleaved data,
- **Niveau 4**: appelé disk array with block-interleaved data
- **Niveau 5**: appelé disk array with block-interleaved distributed parity
- **Niveau 6**: appelé disk array with block-interleaved distributed parity

Chacun de ces niveaux constitue un mode d'utilisation de la grappe, en fonction:

- des performances
- du coût
- des accès disques

1.2.5.4. Niveau 0

Le niveau RAID-0, appelé *striping* (traduisez entrelacement ou agrégat par bande, parfois injustement appelé stripping) consiste à stocker les données en les répartissant sur l'ensemble des disques de la grappe. De cette façon, il n'y a pas de redondance, on ne peut donc pas parler de tolérance aux pannes. En effet en cas de défaillance de l'un des disques, l'intégralité des données réparties sur les disques sera perdue.

Toutefois, étant donné que chaque disque de la grappe a son propre contrôleur, cela constitue une solution offrant une vitesse de transfert élevée.

Le RAID 0 consiste ainsi en la juxtaposition logique (agrégation) de plusieurs disques durs physiques. En mode RAID-0 les données sont écrites par "bandes" (en anglais stripes). Un exemple possible pourrait être :

Disque 1	Disque 2	Disque 3
Bande 1	Bande 2	Bande 3
Bande 4	Bande 5	Bande 6
Bande 7	Bande 8	Bande 9

On parle de **facteur d'entrelacement** pour caractériser la taille relative des fragments (bandes) stockés sur chaque unité physique. Le débit de transfert moyen dépend de ce facteur (plus petite est chaque bande, meilleur est le débit).

Si un des éléments de la grappe est plus grand que les autres, le système de remplissage par bande se trouvera bloqué lorsque le plus petit des disques sera rempli. La taille finale est ainsi égale **au double de la capacité du plus petit des deux disques**. Un exemple peut être :

- deux disques de 20 Go donneront un disque logique de 40 Go.
- un disque de 10 Go utilisé conjointement avec un disque de 27 Go permettra d'obtenir un disque logique de 20 Go (17 Go du second disque seront alors inutilisés).

Une remarque tombant sous le sens :

Il est recommandé d'utiliser des disques de même taille pour faire du RAID-0 car dans le cas contraire le disque de plus grande capacité ne sera pas pleinement exploité.

1.2.5.5. Niveau 1

Le niveau 1 a pour but de *dupliquer l'information à stocker sur plusieurs disques*, on parle donc de **mirroring**, ou **shadowing** pour désigner ce procédé.

Disque 1	Disque 2	Disque 3
Bande 1	Bande 1	Bande 1
Bande 2	Bande 2	Bande 2
Bande 3	Bande 3	Bande 3

On obtient ainsi une plus **grande sécurité des données**, car si l'un des disques tombe en panne, les données sont sauvegardées sur l'autre. D'autre part, **la lecture peut être beaucoup plus rapide** lorsque les trois disques sont en fonctionnement. Enfin, étant donné que chaque disque possède son propre contrôleur, **le serveur peut continuer à fonctionner même lorsque l'un des disques tombe en panne**, au même titre qu'un camion pourra continuer à rouler si un de ses pneus crève, s'il en a plusieurs sur chaque essieu...

En contrepartie la **technologie RAID1 est très onéreuse** étant donné que seule la moitié de la capacité de stockage n'est effectivement utilisée.

1.2.5.6. Niveau 2

Le **niveau RAID-2 est désormais obsolète**, car il propose *un contrôle d'erreur par code de Hamming (codes ECC - Error Correction Code)*, or ce dernier est **désormais directement intégré dans les contrôleurs de disques durs**.

Cette technologie consiste à stocker les données selon le même principe qu'avec le RAID-0 mais en écrivant sur une unité distincte les bits de contrôle ECC (généralement 3 disques ECC sont utilisés pour 4 disques de données).

La technologie RAID 2 offre de **piètres performances** mais un **niveau de sécurité élevé**.

1.2.5.7. Niveau 3

Le niveau 3 propose de stocker les données sous forme d'octets sur chaque disque et de dédier un des disques au stockage d'un bit de parité.

Disque 1	Disque 2	Disque 3	Disque 4
Octet 1	Octet 2	Octet 3	Parité 1+2+3
Octet 4	Octet 5	Octet 6	Parité 4+5+6
Octet 7	Octet 8	Octet 9	Parité 7+8+9

De cette manière, si l'un des disques *venait à défaillir*, il serait possible de **reconstituer l'information à partir des autres disques**. Après "reconstitution" le *contenu du disque défaillant est de nouveau intègre*. Par contre, **si deux disques venaient à tomber en panne simultanément**, il serait **alors impossible** de remédier à la **perte** de données.

1.2.5.8. Niveau 4

Le *niveau 4 est très proche du niveau 3*. La **différence se trouve au niveau de la parité**, qui est faite sur un **secteur** (appelé bloc) et **non au niveau du bit**, et qui est stockée sur un disque dédié. Dans un langage plus précis, la valeur du facteur d'entrelacement est différente par rapport au RAID 3.

Disque 1	Disque 2	Disque 3	Disque 4
Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Parité 1+2+3
Bloc 4	Bloc 5	Bloc 6	Parité 4+5+6
Bloc 7	Bloc 8	Bloc 9	Parité 7+8+9

Ainsi, pour lire un nombre de blocs réduits, le système **n'a pas à accéder à de multiples lecteurs physiques**, mais **uniquement à ceux sur lesquels les données sont effectivement stockées**. En contrepartie, le **disque hébergeant les données de contrôle** doit avoir un **temps d'accès égal à la somme des temps d'accès des autres disques** pour ne pas limiter les performances de l'ensemble.

1.2.5.9. Niveau 5

Le niveau 5 est similaire au niveau 4, c'est-à-dire que la parité est calculée au niveau d'un secteur, mais répartie sur l'ensemble des disques de la grappe.

Disque 1	Disque 2	Disque 3	Disque 4
Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Parité 1+2+3
Bloc 4	Parité 4+5+6	Bloc 5	Bloc 6
Parité 7+8+9	Bloc 7	Bloc 8	Bloc 9

De cette façon, RAID 5 **améliore grandement l'accès aux données** (aussi bien en lecture qu'en écriture) car *l'accès aux bits de parités est réparti sur les différents disques de la grappe.*

Le mode RAID-5 permet d'obtenir des **performances très proches de celles obtenues en RAID-0**, tout en **assurant une tolérance aux pannes élevées**, c'est la raison pour laquelle c'est un des modes RAID **les plus intéressants en termes de performance et** de fiabilité.

Une remarque importante :

L'espace disque utile sur une grappe de n disques étant égal à n-1 disques, il est intéressant d'avoir un grand nombre de disques pour "rentabiliser" le RAID-5.

1.2.5.10. Niveau 6

Le niveau 6 a été ajouté aux niveaux définis par Berkeley. Il définit l'utilisation de **2 fonctions de parité**, et donc leur **stockage sur deux disques dédiés**. Ce niveau permet ainsi d'assurer la redondance en cas d'avarie simultanée de deux disques. Cela signifie qu'il faut **au moins 4 disques pour mettre en oeuvre un système RAID-6**.

1.2.5.11. Comparaison

Les solutions RAID généralement retenues sont le RAID de niveau 1 et le RAID de niveau 5.

Le choix d'une solution RAID est lié à trois critères :

- **la sécurité** : RAID 1 et 5 offrent tous les deux un niveau de sécurité élevé, toutefois la méthode de reconstruction des disques varie entre les deux solutions. En cas de panne du système, RAID 5 reconstruit le disque manquant à partir des informations stockées sur les autres disques, tandis que RAID 1 opère une copie disque à disque.
- **Les performances** : RAID 1 offre de meilleures performances que RAID 5 en lecture, mais souffre lors d'importantes opérations d'écriture.
- **Le coût** : le coût est directement lié à la capacité de stockage devant être mise en oeuvre pour avoir une certaine capacité effective. La solution RAID 5 offre un volume utile représentant 80 à 90% du volume alloué (le reste servant évidemment au contrôle d'erreur). La solution RAID 1 n'offre par contre qu'un volume disponible représentant 50 % du volume total (étant donné que les informations sont dupliquées).

1.2.5.12. Mise en place d'une solution RAID

Il existe plusieurs façons différentes de mettre en place une solution RAID sur un serveur :

- **de façon logicielle** : il s'agit généralement d'un driver au niveau du système d'exploitation capable de créer un seul volume logique avec plusieurs disques (SCSI ou IDE).
- de façon matérielle :
 - avec des **matériels DASD (Direct Access Storage Device)** : il s'agit d'unités de stockage externes pourvues d'une alimentation propre. De plus ces matériels sont dotés de connecteurs permettant l'échange de disques à chaud (on dit généralement que ce type de disque est hot swappable). Ce matériel gère lui-même ses disques, si bien qu'il est reconnu comme un disque SCSI standard.
 - **avec des contrôleurs de disques RAID** : il s'agit de cartes s'enfichant dans des slots PCI ou ISA et permettant de contrôler plusieurs disques durs.

2. Les supports magnéto-optiques

2.1. Les disques magnéto-optiques

Autre technologie, autres performances, les disques magnéto-optiques (DMO ou MOD en anglais) pourrait être également une possibilité d'avenir pour le stockage de la vidéo numérique. Pour l'heure, ce n'est pas encore le cas, compte tenu des capacités encore insuffisantes (650 Mo par face pour les disques de 3,5" — 1,3 Go par face pour les modèles de 5,25" mais jusqu'à 16 Go pour les cartouches double face de 30 cm de diamètre, avec des débits pour les modèles les plus récents compris entre 20 à 40 Mb/s) mais c'est une voie prometteuse.

Ces disques sont censés pouvoir supporter plus de 10 000 cycles d'enregistrement, ils sont robustes, offrent une longue durée de vie, sont économiques (coût par octet moins cher qu'avec un disque dur) mais leurs défauts actuels (la lenteur de la mécanique, la sensibilité à la poussière, le coût d'entretien supérieur à celui des bandes, l'utilisation d'une face du disque seulement...) limitent leur emploi dans le domaine de la vidéo numérique.

2.2. Le mini Disc

2.2.1. Introduction et présentation

Créé en 1992 par Sony, le MiniDisc offre tous les avantages du disque optique et apporte tout un ensemble d'innovations. De la cassette, il garde la capacité d'enregistrement, la portabilité, la résistance aux chocs. Du disque compact, il hérite du son numérique, de l'accès rapide et direct aux plages,...C'est un disque enregistrable et effaçable autant de fois que vous le désirez.

Ce support a été conçu avant tout pour être facile à emporter avec soi. Sans être très fragile, ce petit disque optique a tout de même besoin d'une protection contre les rayures. Ses concepteurs l'ont installé dans une minuscule cartouche, qui va supporter les étiquettes d'identification et le mettre à l'abri. Une fenêtre s'ouvre dans cette cassette lorsque vous l'introduisez dans une platine MiniDisc et dévoile une partie de la surface pour rendre possible la lecture ou l'écriture. Cette conception est intelligente, simplifiant la cinématique du mécanisme de lecture.



2.2.2. Dimensions

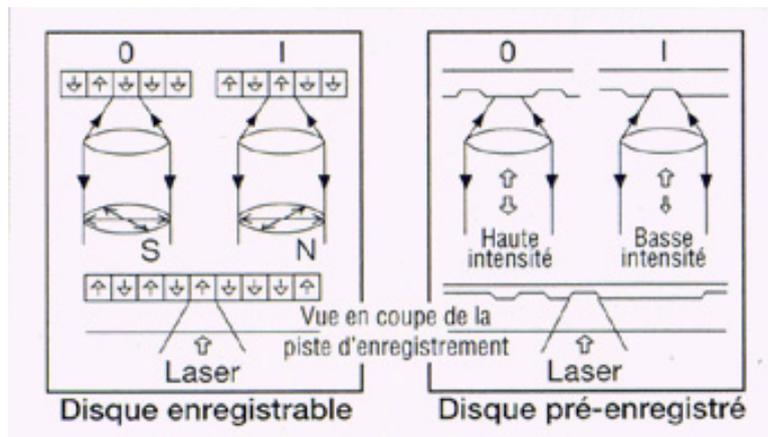
Enfermé dans une sorte de petite cassette en plastique de dimensions réduites (68 x 72 x 5 mm), le disque, d'un diamètre de 64 mm, est totalement protégé. Une caractéristique que l'on peut considérer comme essentielle par rapport au CD-Audio, moins commode à utiliser dans certaines situations nomades.

Plus petit, plus facile à manipuler et beaucoup plus résistant aux agressions diverses, le MiniDisc offre en dehors de ses capacités d'enregistrement, beaucoup d'avantages :

- La *durée de lecture* (ou d'enregistrement) du MiniDisc atteint 74 minutes, et même 80 mn depuis quelque temps, comme pour le disque compact de 12 cm, cela pour une utilisation à capacité normale.
- Des *améliorations très récentes* étendent la durée de musique que l'on peut inscrire, avec des compressions plus sévères, aboutissant au format LP2 qui double la durée d'enregistrement ou LP4, qui la quadruple. Le maximum de durée possible devient alors de l'ordre de plus de cinq heures sur un seul MD, en acceptant un compromis sur la qualité musicale du résultat.

2.2.3. Deux types de MD

Deux types de MD existent :



- Les MD **pré-enregistrés** sont pressés industriellement, à la façon d'un CD, seule la modulation numérique diffère de ce dernier puisqu'une compression de données a réduit l'encombrement de l'écriture binaire. Ils présentent une surface métallisée, réfléchissante, partant le long d'une piste des micros cuvettes qui diffractent la lumière lorsque le laser les rencontre.
- Les MD **enregistrables** sont recouverts d'une couche sensible à un *champ magnétique* lorsqu'elle est portée à une certaine température. Les molécules, qui étaient en désordre sur cette surface sensible, s'orientent sous l'action d'une aimantation lorsqu'elle atteint une certaine température. Elles s'orientent suivant une direction privilégiée et réagissent à une lumière polarisée, qui se trouve *réfléchie*, alors que sur la couche amorphe désordonnée elle est *diffractée*. Le phénomène est *réversible par chauffage* et une nouvelle écriture peut alors remplacer la première, à moins que l'on ne préfère un effacement.

2.2.3.1. Le MiniDisc Enregistrable ou Blank

C'est un support magnétique dont le but est de *stocker des données* exclusivement **audios**. Le MiniDisc enregistrable contient des données ADIP : *ADress In Pregroove* qui permettent de lire à vitesse constante (CLV : Constant Linear Velocity).

L'unité élémentaire sur un MiniDisc, au sens de la gestion d'espace sur le disque, est le **cluster**, comme dans le cas des disques durs. Il représente environ 2 secondes de signal stéréo ou 4 secondes mono. Chaque cluster se voit assigné à une adresse qui lui est propre et unique. La structure du MiniDisc Audio est divisée en plusieurs zones :

-  Partie Magnétique
-  Partie Optique

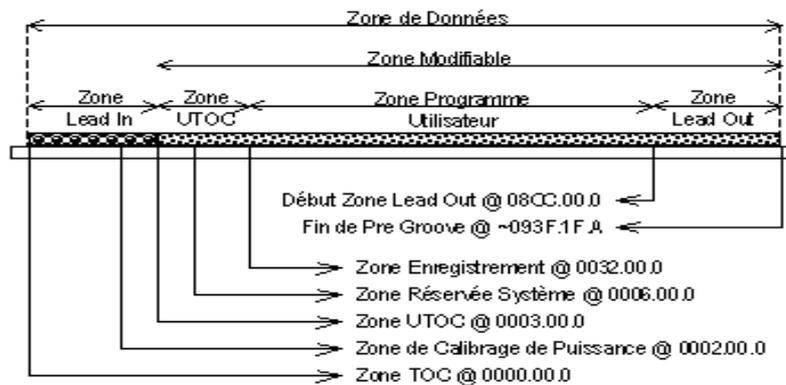


Schéma de la structure d'un MD Audio

Chaque symbole de type @ xxxx. xx. x représente une adresse précise de @ cluster. secteur. soundgroup. On peut constater que le MiniDisc contient une partie optique et une partie magnétique, structure caractéristique du MiniDisc dont la technologie permet de lire les deux formats. *Seule* la partie *magnétique* peut être *enregistrée* et *modifiée* un grand nombre de fois (environ un million de fois selon Sony). Le schéma ci-dessus présente plusieurs zones :

- ❑ **Zone Lead In** : A l'adresse @ 0000.00.0, c'est l'*Amorce d'Entrée*. Elle est présente dans la partie **optique** du MiniDisc et comporte la TOC (Table Of Contents) ou Table des Matières, c'est-à-dire les informations fondamentales du disque (type de MiniDisc, adresses des différentes zones,...); elle possède également une zone spécifique de calibrage de la puissance des faisceaux (@ 0002.00.0).
- ❑ **Zone UTOC** : UTOC signifie User Table Of Contents ou Table des Matières Utilisateur. Présente dans la partie magnétique du disque à l'adresse @ 0003.00.0, c'est elle que l'on sollicite lorsqu'on vient de terminer un enregistrement ou une édition quelconque des pages. La UTOC donne les informations d'adressage des pages au lecteur et renseigne l'utilisateur sur la durée du disque, des morceaux, les titres des pages (plus de 1700 caractères peuvent être stockés, répartis sur 255 pages), le temps de l'espace vierge restant, etc. A l'adresse @ 0006.00.0, la zone Réserve Système est le lieu de stockage d'informations propres au système Mini disc.
- ❑ **Zone Programme Utilisateur** : Toujours dans la partie magnétique, cette zone est le siège des données audionumériques qui sont enregistrées; elle s'étend du cluster @ 0032.00.0 au cluster @ 08CC.00.0, soit 2202 clusters (calcul hexadécimal). Petit rappel, 1 cluster = 2,0416 secondes en stéréo.

Donc, $2202 \times 2,0416 = 4496$ secondes soit $4496 / 60 \approx 74$ mn 55 secondes, c'est bien cela !

- ❑ **Zone Lead Out** : Ou Amorce de Fin. Située @ 08CC.00.0, elle annonce la fin du disque et donc de la partie magnétique. Le Pregroove est encore présent dans cette zone, c'est pourquoi il est possible d'allonger la durée du disque par de petites astuces. La véritable fin du disque se situe au bout du Pregroove, soit aux environs du cluster @ 093F.1F.A.

2.2.4. Des informations compressées

Beaucoup plus petit mais avec une durée de lecture comparable à celle du CD, le MD ne fait pas de miracles. Il utilise en fait ce qui devient de plus en plus la panacée de l'électronique numérique moderne : la *compression de données*.

Dans tous les domaines où l'on utilise de l'information numérique, on s'est aperçu que cette information, lorsqu'elle était stockée de façon "brute", contenait beaucoup d'éléments inutiles ou redondants. Des recherches ont permis de mettre au point des techniques afin de ne conserver que l'information réellement utile. Dans le domaine du son numérique, elles sont essentiellement basées sur les *caractéristiques de l'audition humaine*, en particulier, le *seuil d'audition en fonction de la fréquence* et les *effets de masque*. Le principe général de la compression est que tout ce qui est inaudible (en dessous du seuil d'audition ou masqué par un autre son), n'a pas besoin d'être codé.

Sony a mis au point un codage basé sur les mêmes principes, portant le nom de **ATRAC** (*Adaptive Transform Acoustic Coding*). Ce système divise par cinq le débit initial d'informations numériques. La simple élimination des éléments inutiles lors d'une écriture numérique, sans toucher au contenu du signal lui-même, par des arrangements logiciels qui réduisent l'encombrement des données répétitives, ne suffit pas. Il a fallu ici ajouter des procédés d'élimination des sons qui ne sont pas perçus par l'audition :

- *L'effet de masque*, par exemple, rend imperceptible un son faible, tel qu'une conversation murmurée, si un brouhaha général la recouvre. Le système ATRAC *supprime dans ce cas l'information qui serait de toute façon perdue*. La plage totale de fréquences est divisée en bandes, chacune d'elles est traitée séparément par un système de calcul qui réduit le message sonore à ce qu'il contient d'essentiel. Signalons au passage que le procédé MP3 travaille sur le même principe, avec des différences portant sur le nombre de bandes traitées et sur la profondeur de la réduction d'encombrement.
- Le codage (en enregistrement) et le décodage (en lecture) prennent place naturellement entre les étapes conventionnelles de conversion analogique/numérique ou numérique/analogique, et le support. Par exemple, en sortie du *décodeur ATRAC*, on dispose d'un signal numérique classique, avec une fréquence d'échantillonnage de 44,1 kHz et une quantification sur 16 bits. La compatibilité avec les équipements numériques actuels semble donc parfaitement assurée...

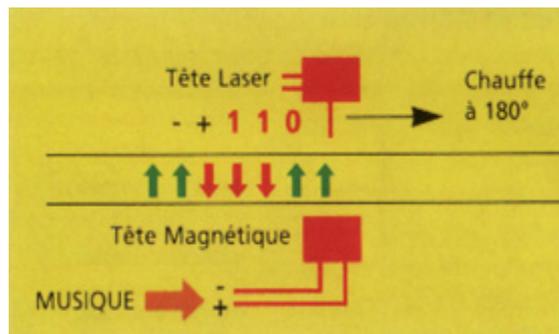
2.2.5. Principe de l'enregistrement

La lecture de ce support est classique. On utilise un disque magnéto-optique où l'orientation magnétique d'une couche de matériau particulier affecte la polarisation d'un faisceau laser (*effet Kerr*) pour différencier les "0" et "1" d'un signal numérique.

Les difficultés deviennent plus ardues quand il s'agit non plus de lire mais d'enregistrer le disque. Diverses méthodes sont possibles, mais nécessitaient jusqu'à présent des systèmes complexes et des champs magnétiques puissants. L'effacement et l'enregistrement du disque exigent, *soit* deux **systèmes différents**, *soit* deux *cycles successifs*, rendant le **processus complexe et difficile** à mettre en œuvre.

Le premier apport de Sony a été le développement d'un nouveau matériau magnétique au *Terbium* qui présente l'avantage d'offrir une *coercivité* de 80 œersteds seulement, soit le tiers de celle des disques magnéto-optiques traditionnels. De ce fait, un champ magnétique beaucoup plus faible est suffisant pour l'enregistrement, diminuant les difficultés.

Par ailleurs, une nouvelle tête magnétique, particulièrement efficace et assurant un changement de polarité en 100 nanosecondes seulement a été mise au point.



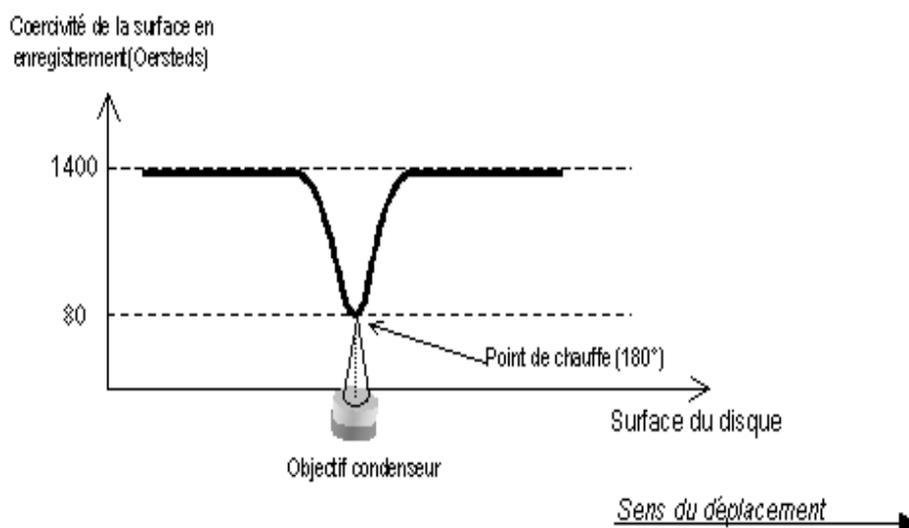
Ces deux éléments réunis ont rendu possible la mise au point d'appareils portables pouvant fonctionner sur batterie. Leur *mise en œuvre est très particulière*, puisque le concepteur *a positionné le laser d'un côté du disque et la tête magnétique de l'autre*, De ce fait l'effacement et l'enregistrement **s'effectuent simultanément** ; le laser amène le matériau magnétique au dessus du point de Curie (Voir paragraphe suivant consacré à la modulation MFM) et la tête magnétique peut alors modifier **durablement** sa polarité lorsque le spot du laser se déplace vers un nouveau point, entraînant le refroidissement de la surface magnétique.

2.2.6. La modulation MFM

Afin d'inscrire les données sur le disque, le MiniDisc utilise la technologie des supports magnéto-optiques: la Modulation à Champ Magnétique (ou Magnetic Field Modulation). Ce principe d'enregistrement concerne bien entendu les MiniDisc enregistrables; les MiniDisc préenregistrés étant de technologie identique au CD, il n'est pas possible d'y enregistrer des données.

2.2.6.1. L'enregistrement

Le système MFM consiste à chauffer la surface du disque enregistrable avec le laser à une température d'environ 180°, appelé **point de Curie**, puis à lui appliquer un *champ coercitif de 80 Oersted (6,4 kA/m)* modulé par les données audionumériques (la coercivité représentant le champ magnétique nécessaire pour annuler une induction rémanente, voir cours de T1 sur « les signaux analogiques »). La coercivité devient faible au niveau du point de chauffe sur le disque, ce qui permet *d'inverser plus facilement* l'induction rémanente en **apportant moins d'énergie** par rapport à celle qui serait **nécessaire sans la chauffe**.

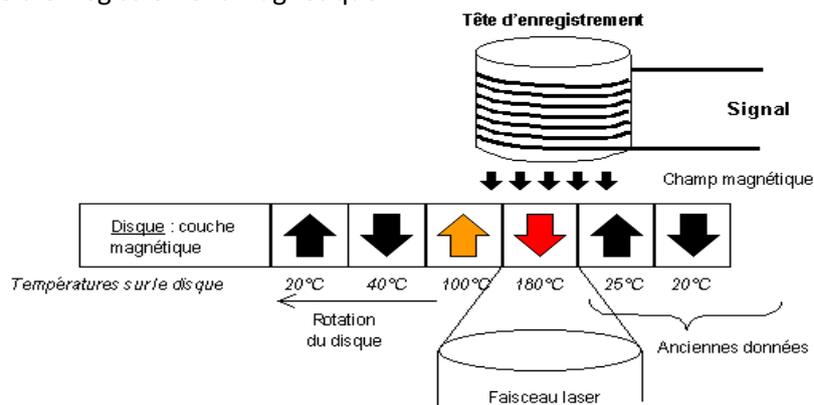


La magnétisation de la surface du disque est réalisée en 100 nanosecondes, elle est donc très rapide et permet d'enregistrer avec une densité importante de l'ordre de 0,6 μm / bit. Le système n'efface pas les données préalablement inscrites; en effet, le champ coercitif est suffisamment

puissant et rapide pour magnétiser à nouveau la nouvelle donnée sur la couche magnétique, très sensible au moindre champ magnétique car chauffée par le laser.

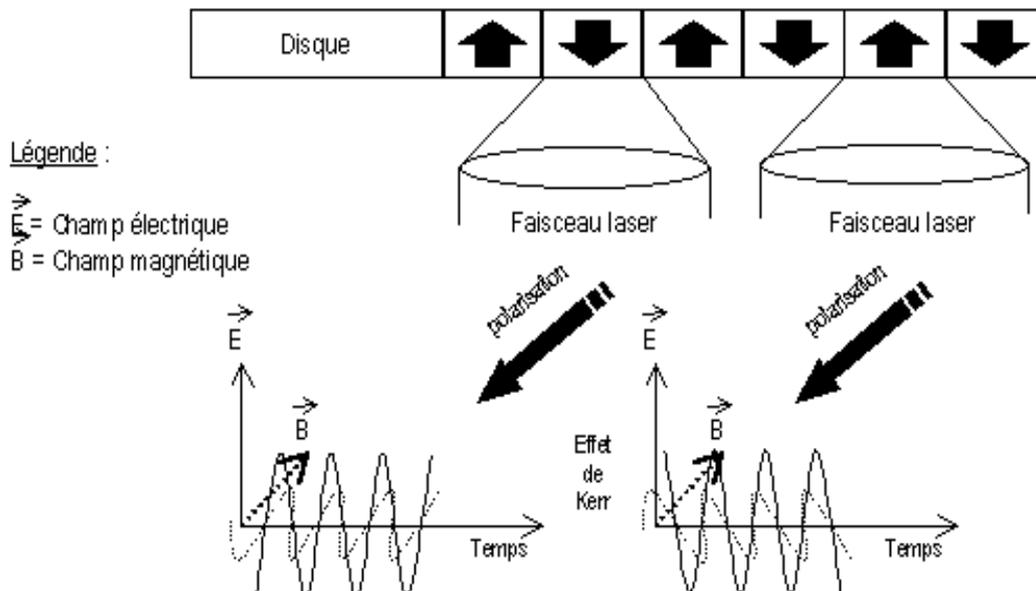
Un alliage de Terbium, de Cobalt et de Ferrite, constituant cette couche magnétique du MiniDisc enregistrable, prend alors une orientation magnétique spécifique pour chaque bit de donnée "0" et "1". Cet alliage n'est pas choisi au hasard car il permet, grâce à ses caractéristiques de rémanence, d'utiliser un point de Curie bas et une faible coercivité, donc de consommer peu d'énergie (aussi bien *calorifique* que *magnétique*). De ce fait, les enregistreurs mini-Disc portables peuvent alors être envisagés.

Pendant la phase d'enregistrement, la puissance totale consommée varie entre 7 et 9 mW. Une tête d'enregistrement vient au contact du disque (au-dessus). Il s'agit en réalité d'une bobine dans laquelle va transiter le signal audionumérique, créant un champ magnétique image du signal, comme dans tout système d'enregistrement magnétique.



2.2.6.2. La lecture

Elle nécessite moins d'énergie (moins d'un milliwatt), ce qui signifie plus *d'autonomie* pour le Minidisc portable, pour une source d'énergie identique. Rappelons que nous sommes toujours dans le cas du MiniDisc enregistrable; le décodage des "1" et des "0" est exprimé par différence de polarisation du retour de la lumière, par **effet de Kerr** (Voir partie sur les CD), et non par différence de réflectivité (cas du *MiniDisc préenregistré*). La réflectivité des faisceaux incidents est donc constante, quelle que soit la donnée "1" ou "0". C'est au niveau du *bloc de détection* que la distinction *signal magnétique* ou *signal optique* (en relief) va se faire entre les deux types de MiniDisc.



2.2.6.3. Le principal avantage par rapport au CD

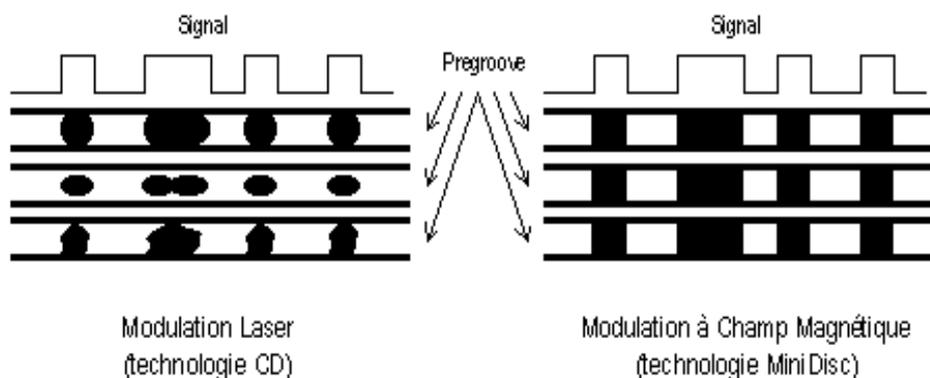
La modulation à champ magnétique permet **une plus grande précision** de gravure que la modulation laser classique du CD. En effet, dans le cas de la gravure d'un CD sur un PC ou un modèle de salon, le changement d'état est formé par ce qu'on appelle un "leurre", c'est-à-dire une bulle d'émulsion à la surface du disque CD créant l'illusion d'un trou pour le lecteur.

Dans la modulation laser, ce leurre est créé par variation de la puissance du laser, ce qui implique des réglages optimums ainsi qu'une tolérance zéro de la moindre déviation du bloc optique, de la mise au point. Un choc appliqué pendant la gravure peut avoir de graves conséquences, les leurres prenant des dispositions et des formes anarchiques sur le disque.

La modulation MFM permet davantage de souplesse, car la marge d'erreurs de gravure est beaucoup plus tolérante à l'égard d'une déviation du laser, d'une variation de sa puissance ou d'une saute du champ coercitif. Contrairement à ce que l'on pourrait penser en 1^{ère} approche, à l'inverse des supports magnétiques classiques, le MiniDisc **n'est pas très sensible aux rayonnements magnétiques**; n'oublions pas que la *coercivité d'un MiniDisc enregistrable étant très élevée*, il faudrait un champ magnétique **très puissant** pour changer l'état magnétique des particules sur le disque. *Seul le laser, au travers de l'énergie calorifique qu'il apporte, permet de réduire cette coercivité.*

En conséquence, le fait de poser un MiniDisc enregistrable sur une enceinte ne suffit pas à détériorer son contenu, comme une cassette audio. Cette technique autorise une durée de vie très longue car les données inscrites restent stables en raison :

- de l'isolement du disque dans sa cartouche qui protège des poussières, rayures, traces de doigts, etc., à l'inverse du CD,
- du système de correction d'erreurs avancé ACIRC
- du caractère peu influençable des données magnétiques enregistrées par la modulation MFM.



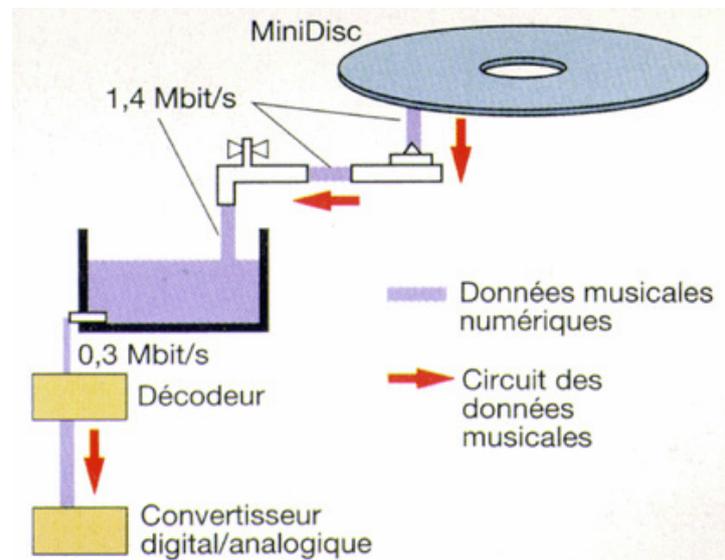
Conséquences directes sur le disque d'une anomalie provenant du faisceau laser

2.2.7. La mémoire tampon

Dans toutes les utilisations *nomades* des disques à lecture laser, on rencontre des problèmes plus ou moins importants de lecture en présence des vibrations, chocs, accélérations importantes, etc. Acceptables sur un appareil lecteur (mais néanmoins gênants), ils ne peuvent être *tolérés sur un enregistreur*, car le défaut est alors enregistré puis reproduit à chaque lecture...

Pour résoudre à la fois le problème de la lecture et celui de l'enregistrement Sony a proposé une technique dont le principe est simple et connu dans d'autres domaines : la **mémoire tampon**. Une mémoire électronique relativement importante entre la source de données et l'étage suivant est intercalée. Ainsi lorsque le fonctionnement de la mécanique se trouve perturbé, la lecture ou

l'écriture continue en exploitant la mémoire, soit en la vidant (lecture) soit en la remplissant (enregistrement). Tant que l'interruption de fonctionnement mécanique reste inférieure à la durée de lecture ou d'écriture possible sur cette mémoire tampon, tout se passe comme si aucune perturbation n'avait eu lieu. Dans le cas du MiniDisc, le temps de fonctionnement "sur la mémoire" est de 3 s à 40 s suivant le degré de perfectionnement des modèles, ce qui couvre les perturbations normalement rencontrées. Bien entendu si le principe est simple, la réalisation pratique est complexe.



Le fonctionnement de la mémoire tampon illustré

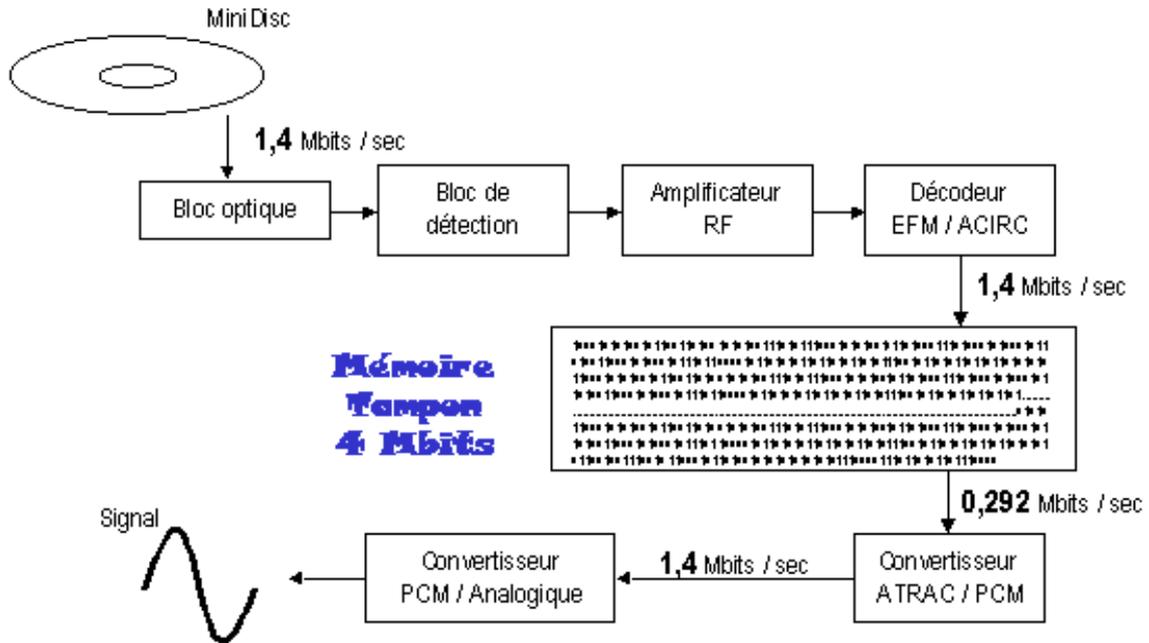
Le système de buffer ou mémoire tampon est souvent assimilé au concept "mémoire antichoc". En réalité, la raison première vient du fait que le MiniDisc est obligé de stocker les données à graver ou à lire car il possède le même bloc optique que le CD et un débit binaire cinq fois moins important (292 kbits / sec), **la mémoire tampon devient donc indispensable**. A titre d'exemple, lorsque le bloc optique lit pendant une seconde, il peut fournir cinq secondes d'audio; le flux binaire est le même que le CD (1,4 Mbits / sec) du bloc optique jusqu'au démodulateur EFM / ACIRC, il est stocké ensuite dans la mémoire tampon et en ressort avec un débit de 292 kbits / sec, **imposé par le décodeur**.

En conséquence, il est logique que la lecture ne puisse se faire de façon continue comme sur le CD (bien qu'il existe des lecteurs CD avec mémoire tampon, notamment dans le cas des autoradios), mais de manière intermittente. De ce fait, **l'intermittence entre deux lectures est fonction de la capacité de la mémoire et du seuil de mise en lecture**. Il désigne le niveau de remplissage mémoire en dessous duquel l'ordre de mise en lecture est envoyé. Plus ce seuil est élevé, plus l'intermittence est courte et inversement. On devine aisément qu'un seuil bas entraîne une faible réserve de données, donc une grande sensibilité aux chocs. De ce fait, son calibrage est un **compromis entre capacité de la mémoire et tolérance aux chocs** :

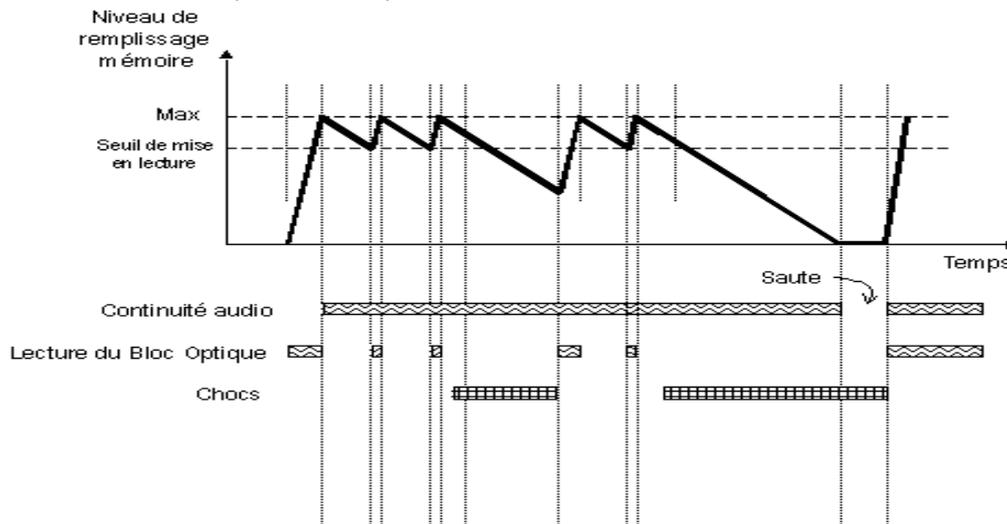
- Un seuil de mise en lecture trop haut implique des lectures du Bloc Optique courtes et saccadées. En cas de choc, la mémorisation de positionnement peut être perturbée car les mouvements ordonnés sont trop compliqués à exécuter pour le Bloc Optique (mise au point, translation).
- Un seuil de mise en lecture trop faible permet une bonne coordination des mouvements du Bloc Optique mais une sensibilité accrue aux chocs car la réserve de données est insuffisante si le choc a lieu une fraction de seconde avant la remise en lecture; la continuité audio devient aléatoire selon le moment et la durée de la secousse.

En conséquence, le calibrage du seuil de mise en lecture est, *par défaut*, de 1,2 Mbit/s (il peut varier selon la mémoire) en dessous de la *capacité maximale de la mémoire*, soit environ 4 secondes

d'audio. La mémoire tampon stocke les données et, en fonction de son niveau de remplissage, asservit le bloc optique soit en lecture, soit en pause de lecture qui consiste à conserver la dernière position de l'objectif en mémoire (ne pas confondre avec la fonction pause utilisateur). La quantité de mémoire de base est de **4 Mbits soit environ 10 secondes** mais une partie de cette mémoire sert à cette mémorisation de position en cas de choc.



Le bloc optique entre en lecture, s'arrête lorsque la mémoire est pleine, il conserve sa position, puis une fois le seuil de mise en lecture dépassé, la mémoire tampon donne l'ordre de continuer la lecture du disque et elle se remplit à nouveau. En cas de choc, le seuil de mise en lecture peut être dépassé et la lecture du disque interrompue.



Principe de fonctionnement de la Mémoire Tampon

2.2.8. La protection anti-copie

Si vous réalisez des copies de supports gravés en numérique, la copie en série est *interdite par le procédé SCMS (SCMS: Serial Copy Management System)*, déjà rencontré dans le cas des DAT. Cela veut dire que vous pourrez recopier une source numérique mais qu'une copie de copie est

impossible. Si vous avez déjà recopié un CD sur un MiniDisc, celui-ci ne sera pas copiable une nouvelle fois en numérique sur un autre MiniDisc. Vous pourrez cependant faire autant de générations de copies que vous voudrez en repassant en mode analogique, avec les pertes de qualité que cela peut entraîner.

2.2.9. Les évolutions des versions récentes

Devant l'offensive du MP3, les tenants du procédé ATRAC ont fini par proposer des versions plus adaptées de la compression : il avait jusque-là progressé d'une façon étonnante en *qualité* mais pas en taux de compression (*Version ATRAC 5, pratiquement audiophile*). Selon les applications, le procédé ATRAC ira du plus savant et perfectionné, celui qui restitue le signal à un niveau de perfection tel qu'on ne peut distinguer l'enregistrement de son original, jusqu'à des versions plus primaires mais apportant une durée d'enregistrement très étendue.

2.2.10. Différentes versions du procédé ATRAC

Les entrées d'un appareil MiniDisc sont particulières. Un DAT possède des entrées analogiques avec convertisseurs A/N ainsi que des entrées numériques directement transmises au modulateur ETM (Eight to Ten Modulation). Le CD, quant à lui, possède les mêmes attributs avec une modulation EFM (Eight to Fourteen Modulation) et une correction d'erreurs CIRC (Cross Interleave Reed Solomon Code). *Dans les deux cas, le signal passe au maximum par un seul convertisseur.*

Le cas du MiniDisc est *bien différent* car il en comporte deux : un convertisseur A/N, transformant le signal analogique en signal PCM (Pulse Code Modulation), et un convertisseur PCM / ATRAC. Il faut comprendre qu'à ce stade, même un signal PCM entrant en S/PDIF (coaxial ou optique) est à nouveau converti en signal ATRAC. Dans le cas d'une copie numérique de DAT vers DAT, le signal ne passe par aucun convertisseur (uniquement des interfaces S/PDIF ou AES) tandis qu'une copie de MiniDisc vers MiniDisc passe par deux convertisseurs: un ATRAC / PCM et PCM / ATRAC, ce qui constitue une possibilité de perte de qualité.

Néanmoins, la particularité du système ATRAC est de posséder un *algorithme évolutif*; depuis sa création en 1992, celui-ci *s'est amélioré au fil de ses différentes versions* et la qualité de reproduction n'a donc cessé d'augmenter depuis la version 1.0.

Version	Convertisseur A / N	Année de sortie
ATRAC 1.0	16 bits	1992
ATRAC 2.0	16 bits	1993
ATRAC 3.0	16 bits	1994
ATRAC 3.5	18 bits	1995
ATRAC 4.0	20 bits	1996
ATRAC 4.5	20 bits	1998
ATRAC Type R-DSP 1.0	20 bits (DSP 24 bits, ATRAC 5.0)	1999

L'algorithme *ne travaille plus avec des convertisseurs A/N conventionnels* mais avec une plus haute résolution (*Notion de suréchantillonnage* rencontré dans de nombreux domaines audiovisuels). Le format 24 bits est aujourd'hui adopté par Sony, ce qui permet de réduire le niveau de bruit de manière considérable ainsi que de travailler avec une plus grande précision de retour en 16 bits.

Une remarque : Sony ne cherche pas à attirer le client avec des slogans commerciaux tel que "Résolution 24 bits" étiquetés sur chaque appareil mais joue la franchise avec la mention "*Intelligent Adaptive Reallocation Algorithm*", tout en gardant le label "qualité 16 bits" dans les manuels de chaque appareil, ce qui me paraît bien plus judicieux. E ce fait, même dans les bas niveaux (-80 dB), le

système est capable de reproduire le son enregistré sans pour *autant générer le bruit de quantification du 16 bits classique*. *Ce qui veut dire qu'un niveau de -80 dB provenant d'un MiniDisc possède une **qualité sonore bien supérieure** au -80 dB d'un CD.*

2.2.11. Les avantages du MD

A l'origine, le MiniDisc a été proposé comme un support devant remplacer la cassette audio. Les applications en baladeurs étaient les premières proposées. Mais à cause de la complexité des techniques employées, les prix ont toujours été malheureusement assez élevés, tant pour les lecteurs et enregistreurs que pour les disques vierges ou enregistrés. C'est ce frein qui a limité le succès de ce produit.

Toutes les applications de la cassette audio ont aujourd'hui trouvé leur équivalent en MiniDisc. Chaînes micros et minis, maillons Hi-Fi, baladeurs, autoradios, le MD est présent partout. Il le doit à un certain nombre d'avantages. Nous citerons pour les principaux d'entre eux le repérage, le montage et l'édition, le titrage.

2.2.11.1. Le repérage

Des *index s'installent automatiquement* à chaque **démarrage d'un nouvel enregistrement**, à l'image de ce qui peut être fait sur certaines platines DAT. Il est aussi *possible de les caler manuellement*, en tout point choisi à l'avance, postérieurement à l'enregistrement. Il ne faut pas oublier pour cela de pousser la languette de protection contre les effacements intempestifs, ce qui autorise l'écriture sur le disque. On l'ouvrira à nouveau une fois toutes les opérations de repérage et de titrage terminées. L'édition est aussi possible, avec coupure de fragments d'enregistrements, déplacement, groupage. Le montage terminé ne laissera apparaître aucune trace de ces ciseaux électroniques, dès l'instant où les coupures sont pratiquées dans des passages de silence.

2.2.11.2. Les données

L'un des points forts de l'enregistrement sur MiniDisc est la possibilité **d'écrire** sur le répertoire et sur des emplacements annexes, **toutes sortes d'informations complémentaires sur les enregistrements**. La date et l'heure ainsi que les titres du disque ou de la plage en cours de lecture peuvent être inscrits sur les enregistrements.

- Pour écrire ces indications, vous avez la possibilité de faire défiler des caractères (jusqu'à 200 caractères), majuscules, minuscules non accentuées et spéciaux ainsi que des chiffres. Un MiniDisc peut contenir en tout 1 700 caractères de titrage.
- L'horloge indique l'année, le mois l'heure et les minutes. Sa mise à jour se fait par itération. Ces indications seront automatiquement écrites sur vos enregistrements et permettront de les dater et de les classer facilement.

2.2.12. Utilisation pratique

Sur la plupart des baladeurs et systèmes utilisant le MiniDisc, trois types d'entrées sont généralement possibles pour un signal extérieur :

- la première est celle d'un microphone stéréophonique, accessible par une prise mini jack.
- les deux autres sont réunies dans la même prise, une invention de Sony, qui permet le passage par le même petit trou d'une modulation ligne stéréo analogique et de la petite lumière rouge qui correspond à une entrée numérique optique. De ce fait, il suffit d'une simple fiche traditionnelle mini jack pour la modulation ligne standard, mais un cordon spécifique obligatoire pour l'optique est obligatoire.

Sur les appareils de salon, les prises sont généralement plus traditionnelles, Cinch pour les signaux analogiques et TOS-Link (utilisant les fibres optiques) pour le numérique optique. L'entrée numérique optique ne convient souvent qu'à la copie de CDs, à condition que la platine puisse gérer la fréquence d'échantillonnage 44,1 kHz. Certains appareils, de plus en plus répandus, reconnaissent et adaptent les signaux en provenance d'un enregistreur DAT à 48 kHz, ou ceux issus d'un récepteur

satellite à 32 kHz. *La sortie numérique est toujours au standard 16 bits et 44,1 kHz, à l'identique du CD.* Un enregistrement en monophonie est possible, il permet de doubler la capacité des disques en durée. Cette possibilité est gérée automatiquement.

2.2.13. Conclusion

Le MiniDisc reste un support d'enregistrement extrêmement souple, il est plein de qualités et offre à l'amateur de montage sonore beaucoup plus d'outils que tout autre support. Après une longue période d'incompréhension du public européen face à ses qualités, il devient aujourd'hui populaire, et les prix descendent enfin à des niveaux acceptables. Pour votre équipement, c'est un produit à considérer si vous souhaitez profiter de la musique en balade ou en voiture.

Le seul regret notable, d'un point de vue professionnel, est l'absence récurrente sur de nombreux modèles de la gestion du Time Code SMPTE, ce qui empêche toute utilisation en post-production. Les modules additionnels de quelques constructeurs (Notamment Denon, avec ses enregistreurs de MD « rackables » en 19'') ont généralement de gros soucis de fiabilité...

3. Les disques optiques

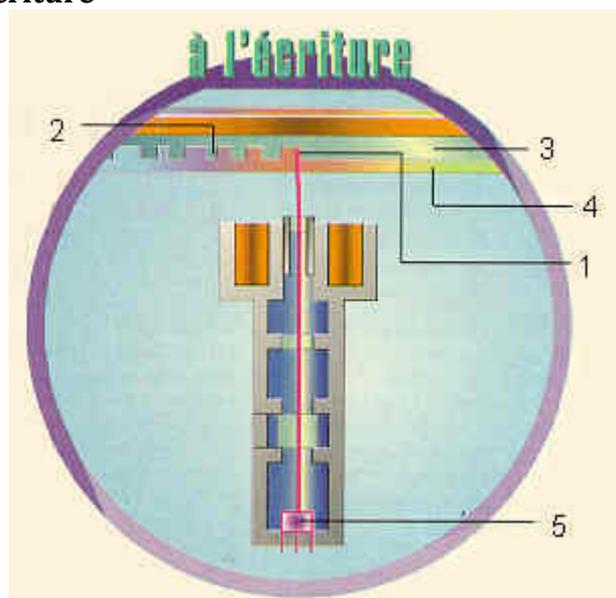
3.1. Le CD (Compact disque)

Le Compact Disc a été inventé par Sony © et Philips © en 1981 afin de constituer un support audio compact de haute qualité permettant un accès direct aux pistes numériques. Il a été officiellement lancé en octobre 1982. 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.

3.1.1. Principe de fonctionnement

Le disque compact est une technique de stockage par sillons. Il s'agit de faire tourner le disque sur lui-même pendant qu'on grave un sillon de l'intérieur vers l'extérieur. Mais contrairement au disque de vinyle gravé directement, on veut ici creuser une très mince spirale dans une couche réfléchive. De la même manière, alors qu'on lit le vinyle avec une aiguille qui suit le sillon, c'est un laser qui balaie le disque compact et qui sera réfléchi vers un photo détecteur.

3.1.1.1. Ecriture



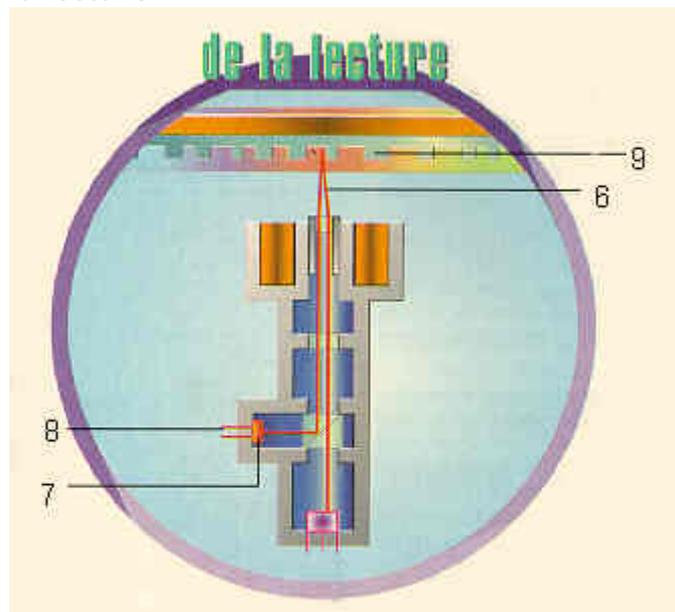
Vue en coupe

Sur le disque compact, l'information est stockée sous forme de minuscules cuvettes (1), trous creusés dans une couche photosensible (3) préservée par une couche de plastique transparent (4). Pour graver un CD, deux systèmes existent:

- Utiliser un seul laser dont on module la puissance
- Recourir à une tête équipée de trois faisceaux.

Dans un cas comme dans l'autre, le laser d'écriture (5) est d'une puissance de 10 milliwatts. En outre, le guidage doit être très précis. En faisant tourner le disque, on trace alors un sillon de 5,37 kilomètres sous forme d'une spirale au pas de 1,6 micron. En brûlant la couche photosensible, le laser crée près de 4 millions de cuvettes et de surfaces (2) par seconde qui affectent la réflectivité du disque.

3.1.1.2. La lecture

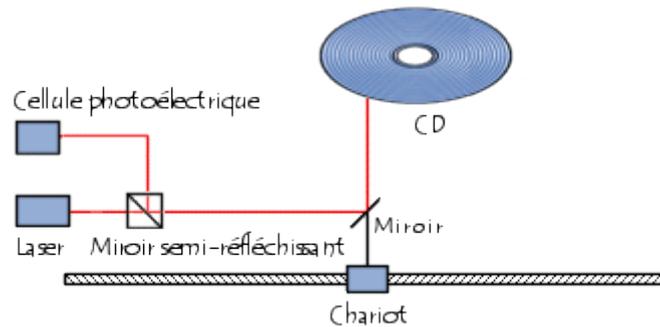


Pour lire un CD, le laser a besoin de moins de puissance, soit 0,8 milliwatt. Un faisceau (6) balaye la surface du disque. Lorsqu'il atteint la couche photosensible, il est plus ou moins réfléchi en fonction de la présence ou non de cuvettes (9) en direction d'un photodétecteur (6). Frappé par les photons, celui-ci génère une charge électrique (7) correspondant à la présence de données. Par décodage de ce signal grâce à un microprocesseur, on arrive à lire les informations.

Par la présence ou l'absence de cuvettes dans la couche réfléchissante, les données sont enregistrées dans un CD par code binaire. En effet, pour un code 1, le laser d'écriture crée une cuvette; pour un 0, il n'est pas émis. Parallèlement, s'il y a une cuvette à la lecture, c'est 1 qui est transmis au processeur; si au contraire le laser est réfléchi, c'est 0. Le convertisseur annexé pourra ensuite convertir les données binaires en texte, en sons, en images, etc.

Remarquons également qu'une partie des circuits d'un lecteur CD est réservée pour la détection et la correction d'erreurs de lecture de bits, qui peuvent être causées par la poussière, les égratignures, les marques de doigts...

Les lasers utilisés appartiennent au domaine des infrarouges, en raison d'un coût modique.



3.1.2. Capacités et encombrement

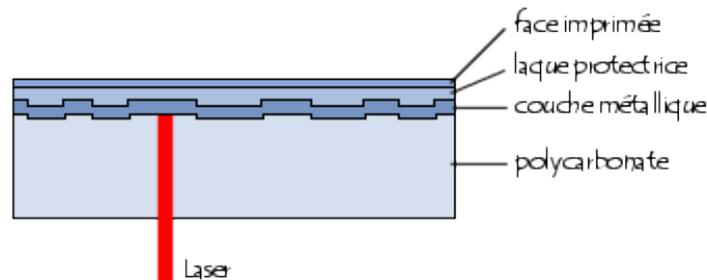
Le CD (Compact Disc) est un disque optique de 12 cm de diamètre et de 1,2 mm d'épaisseur (l'épaisseur peut varier de 1,1 à 1,5 mm) permettant de stocker des informations numériques, c'est-à-dire correspondant à 650 Mo de données informatiques (soient 250 000 pages dactylographiées) ou bien jusqu'à 70 minutes de données audio. Un trou circulaire de 15 mm de diamètre en son milieu permet de centrer le CD.

L'information est stockée sur 22188 pistes gravées en spirales (il s'agit en réalité d'une seule piste concentrique).

On trouve dans le commerce diverses capacités, de 650 Mo à 720 Mo au maximum, modifiant d'autant la durée d'enregistrement correspondante.

3.1.3. Composition

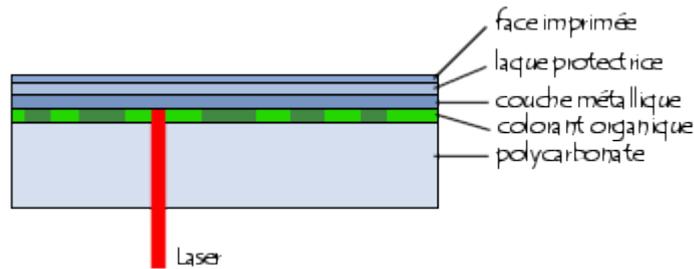
Le CD est constitué d'un substrat en matière plastique (polycarbonate) et d'une fine pellicule métallique réfléchissante (or 24 carats ou alliage d'argent). La couche réfléchissante est recouverte d'une laque anti-UV en acrylique créant un film protecteur pour les données. Enfin, une couche supplémentaire peut être ajoutée afin d'obtenir face supérieure imprimée.



3.1.4. Cd Pressés et Cd vierges

Les CD achetés dans le commerce sont *pressés*, c'est-à-dire que les alvéoles sont réalisées grâce à du plastique injecté dans un moule contenant le motif inverse. Une couche métallique est ensuite coulée sur le substrat en polycarbonate, et cette couche métallique est elle-même prise sous une couche protectrice.

Les CD *vierges* par contre (CD-R et CD-RW) possèdent une couche supplémentaire (située entre le substrat et la couche métallique) composée d'un colorant organique (en anglais dye) pouvant être imprimé (le terme « brûler » est souvent utilisé, faisant référence au mode d'impression) par un laser de forte puissance (10 fois celle nécessaire pour la lecture). C'est donc la couche de colorant qui permet d'absorber ou non le faisceau de lumière émis par le laser.



Les colorants les plus souvent utilisés sont :

- La *cyanine* de couleur bleue, donnant une couleur verte lorsque la couche métallique est en or
- La *phthalocyanine* de couleur "vert clair", donnant une couleur dorée lorsque la couche métallique est en or
- L'*AZO*, de couleur bleu foncé

Etant donné que l'information n'est plus stockée sous forme de cavité mais par une marque "colorée", une pré spirale (en anglais pre-groove) est présente dans le support vierge afin d'aider le graveur à suivre le chemin en spirale, ce qui évite la présence d'une mécanique de précision sur les graveurs de CD-R.

D'autre part, cette spirale ondule selon une sinusoïdale, appelée wobble, possédant une amplitude de $\pm 0,03\mu\text{m}$ (30 nm) et une fréquence de 22,05kHz. Le wobble permet de donner une information au graveur sur la vitesse à laquelle il doit graver. Cette information est appelée ATIP (Absolute Time in PreGroove).

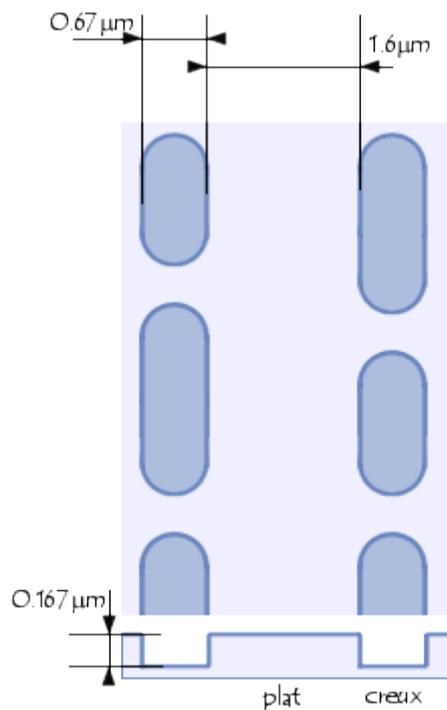
3.1.5. Différents modes de lecture

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 platines vinyles. 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 égal 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.

3.1.6. 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.



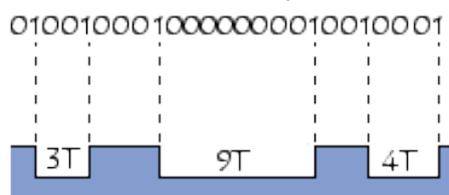
Le laser utilisé pour lire les CD a une longueur d'onde de 780nm dans l'air. Or l'indice de réfraction du polycarbonate étant égal à $n_{\text{polycarbonate}} = 1,55$, la longueur d'onde du laser dans le polycarbonate vaut $780 / 1,55 = 503 \text{ nm} = 0,5 \mu\text{m}$.

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. Cet effet est connu sous le nom **d'effet de Kerr**. 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 normalisé 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 $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

D'après le standard EFM (*Eight-to-Fourteen Modulation*), utilisé pour le stockage et le codages des informations 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 $3,054 \mu\text{m}$).



3.1.7. Les standards des différents CDs

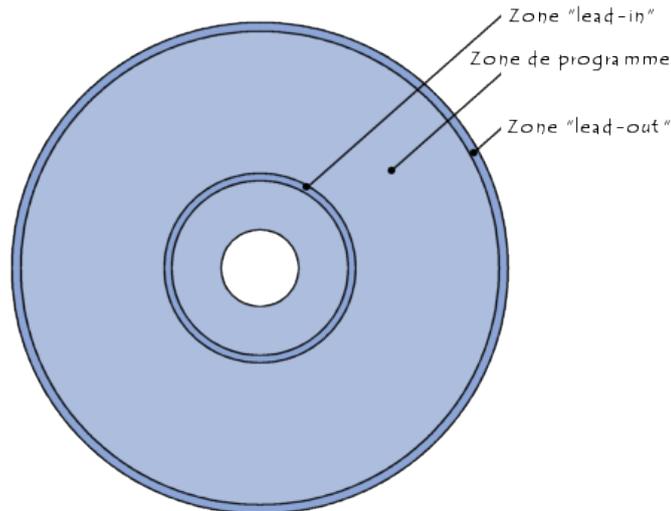
Il existe de nombreux standards décrivant la façon selon laquelle les informations doivent être stockées sur un disque compact, selon l'usage que l'on désire en faire. Ces standards sont référencés dans des documents appelés *books* (en français livres) auxquels une couleur a été affectée :

- *Red book* (livre rouge appelé aussi RedBook audio): Développé en 1980 par Sony et Philips, il décrit le format physique d'un CD et l'encodage des CD audio (notés parfois CD-DA pour Compact Disc - Digital Audio). Il définit ainsi une fréquence d'échantillonnage de 44.1 kHz et une résolution de 16 bits en stéréo pour l'enregistrement des données audio.
- *Yellow book* (livre jaune): il a été mis au point en 1984 afin de décrire le format physique des CD de données (Cd-rom pour Compact Disc - Read Only Memory). Il comprend deux modes :
 - *Cd-rom Mode 1*, utilisé pour stocker des données avec un mode de correction d'erreurs (ECC, pour Error Correction Code) permettant d'éviter les pertes de données dues à une détérioration du support
 - *Cd-rom Mode 2*, permettant de stocker des données graphiques, vidéo ou audio compressées. Pour pouvoir lire ce type de Cd-rom un lecteur doit être compatible Mode 2.
- *Green book* (livre vert): format physique des CD-I (CD Interactifs de Philips)
- *Orange book* (livre orange): format physique des CD inscriptibles. Il se décline en trois parties :
 - Partie I: le format des CD-MO (disques magnéto-optiques)
 - Partie II: le format des CD-WO (Write Once, désormais notés CD-R)
 - Partie III: le format des CD-RW (CD ReWritable ou CD réinscriptibles)
- *White book* (livre blanc): format physique des CD vidéo (VCD ou VideoCD)
- *Blue book* (livre bleu): format physique des CD extra (CD-XA)

3.1.8. Structure logique d'un CD

Un CD-R, qu'il soit audio ou Cd-rom, est constitué, d'après le « *Orange Book* », de trois zones constituant la zone d'information (information area) :

- La zone *Lead-in Area* (parfois notée LIA) contenant uniquement des *informations décrivant le contenu du support* (ces informations sont stockées dans la « TOC », Table of Contents). La zone *Lead-in* s'étend du rayon 23 mm au rayon 25 mm. Cette taille est imposée par le besoin de pouvoir stocker des informations concernant un maximum de 99 pistes. La zone *Lead-in* sert au lecteur de CD à suivre les creux en spirale afin de se synchroniser avec les données présentes dans la zone programme.
- La zone *Programme* (Program Area) est la zone contenant les données. Elle commence à partir d'un rayon de 25 mm, s'étend jusqu'à un rayon de 58mm et peut contenir l'équivalent de 72 minutes de données. La zone programme peut contenir un maximum de 99 pistes (ou sessions) d'une longueur minimale de 4 secondes.
- La zone *Lead-Out* (parfois notée LOA) contenant des données nulles (du silence pour un CD audio) marque la fin du CD. Elle commence au rayon 58 mm et doit mesurer au moins 0,5 mm d'épaisseur (radialement). La zone lead-out doit ainsi contenir au minimum 6750 secteurs, soit 90 secondes de silence à la vitesse minimale (1X).



Un CD-R contient, en plus des trois zones décrites ci-dessus, une zone appelée *PCA* (*Power Calibration Area*) et une zone *PMA* (*Program Memory Area*) constituant à elles deux une zone appelé *SUA* (*System User Area*).

La PCA peut être vue comme une zone de test pour le laser afin de lui permettre d'adapter sa puissance au type de support. C'est grâce à cette zone que la commercialisation de supports vierges utilisant de divers colorants organiques des couches réfléchissantes variées sont possibles. A chaque calibration, le graveur note qu'il a effectué un essai. Un maximum de 99 essais par media est autorisé.

3.1.9. Les formats de CD

Le format de CD (ou plus exactement le système de fichiers) s'attache à décrire la manière selon laquelle les données sont stockées dans la zone programme.

Le premier système de fichiers *historique* pour les CD est le **High Sierra Standard**.

Le format **ISO 9660**, normalisé en 1984, par l'Iso (*International Standards Organisation*), reprend le « High Sierra Standard » afin de définir la structure des répertoires et des fichiers sur un CD-ROM. Il se décline en trois niveaux :

- **Niveau 1** : Un Cd-rom formaté en ISO 9660 Level 1 ne peut contenir que des fichiers dont le nom est en majuscule (A-Z), pouvant contenir des chiffres (0-9) ainsi que le caractère "_". L'ensemble de ces caractères est appelé d-characters. Les répertoires ont un nom limité à 8 d-characters et une profondeur limitée à 8 niveaux de sous répertoires. De plus la norme ISO 9660 impose que chaque fichier soit stocké de manière continue sur le Cd-rom, sans fragmentation.
- **Niveau 2** : Le format ISO 9660 Level 2 impose également que chaque fichier soit stocké comme un flux continu d'octets, mais permet une appellation des fichiers plus souple en acceptant notamment les caractères @ - ^ ! \$ % & () # ~ et une profondeur de 32 sous répertoires maximum.
- **Niveau 3** : Microsoft a également défini le format *Joliet*, une extension au format ISO 9660 permettant d'utiliser des noms de fichiers longs (LFN, long file names) de 64 caractères comprenant des espaces et des caractères accentués selon le codage Unicode.

Le format ISO 9660 Romeo est une possibilité d'appellation proposée par Adaptec, indépendante donc du format Joliet, permettant de stocker des fichiers dont le nom peut aller jusqu'à 128 caractères mais ne supportant pas le codage Unicode.

Le format ISO 9660 RockRidge est une autre possibilité d'appellation au format ISO 9660 lui permettant d'être compatible avec les systèmes de fichiers UNIX.

Afin de pallier les limitations du format ISO 9660 (le rendant notamment inapproprié pour les DVD ROM), l'OSTA (*Optical Storage Technology Association*) a mis au point le format ISO 13346, connu sous le nom de UDF (Universal Disk Format).

3.1.10. Les divers modes d'écriture

- *Mono-session* : Cette méthode crée une seule session sur le disque et ne donne pas la possibilité de rajouter des données ultérieurement.
- *Multisession* : Contrairement à la méthode précédente, cette méthode permet de graver un CD en plusieurs fois, en créant une table des matières (TOC pour table of contents) de 14Mo pour chacune des sessions.
- *Multivolume* : C'est la gravure Multisession qui considère chaque session comme un volume séparé.
- *Track At Once* : Cette méthode permet de désactiver le laser entre deux pistes, afin de créer une pause de 2 secondes entre chaque piste d'un CD audio.
- *Disc At Once* : Contrairement à la méthode précédente, le Disc At Once écrit sur le CD en une seule traite (sans pause).
- *Packet Writing* : Cette méthode permet la gravure par paquets

3.1.11. Les caractéristiques des lecteurs

Le lecteur Cd-rom est caractérisé:

- Par sa *vitesse*: celle-ci est calculée par rapport à la vitesse d'un lecteur de CD- Audio (150 Ko/s). Un lecteur allant à 3000Ko/s sera caractérisé de 20X (20 fois plus vite qu'un lecteur 1X).
- Par son *temps d'accès* : C'est le temps moyen qu'il met pour aller d'une partie du CD à une autre.
- Par son *type*: ATAPI (IDE) ou SCSI et ses dérivés.

3.2. LE SACD

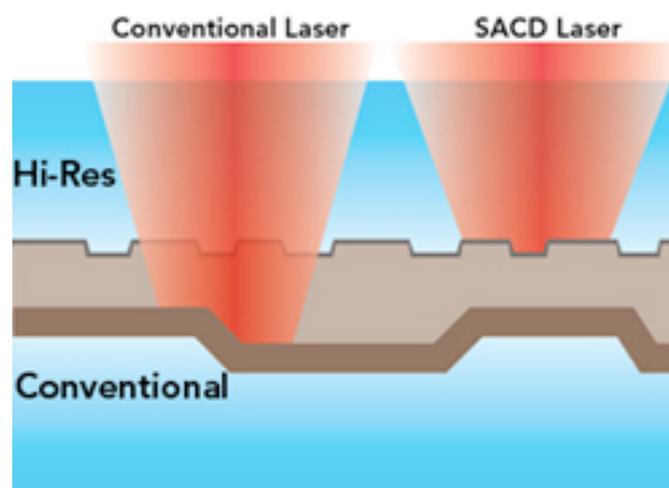
3.2.1. Présentation

Le *Super Audio CD (SACD)*, a été lancé officiellement par Philips et Sony en septembre 1999. Il s'agit d'un support de musique, au même titre que le CD : le support de la galette en poly carbonate de 12 cm de diamètre du CD audio a été conservé, la capacité de stockage étant élargie (de 700 Mo à 4,7 Go, comme le DVD Simple face simple couche).

3.2.2. Caractérisations techniques

Le SACD utilise une technologie de numérisation DSD (*Direct Stream Digital*) à très haute fréquence d'échantillonnage (2,82 MHz, soit 64 fois la fréquence d'échantillonnage du CD audio) quantifié sur 1 bit qui autorise un débit numérique de 80 Mbps à 100 Mbps et une dynamique de 120 dB; elle est bien supérieure à celle recommandée par le théorème d'échantillonnage de Nyquist-Shannon : elle vaut 64 fois la fréquence d'échantillonnage du CD-A mais reste cependant très inférieure à celle autorisée par les convertisseurs analogiques numériques audio (> 38MHz). Ce procédé assure en théorie une meilleure cohérence de la phase du signal que le procédé PCM (Pulse Coded Modulation) utilisé pour les formats audionumériques plus courants (Compact Disc, DAT, fichiers de type Wav ou Aiff ...etc). Les conversions analogique-numérique et numérique-analogique sont également simplifiées, assurant une meilleure qualité de conversion du signal pour un coût de production moindre. Il permet par ailleurs un enregistrement en vue d'une spatialisation multi-canaux en plus de la stéréophonie à deux canaux utilisée jusqu'ici. Pour accroître la capacité d'enregistrement du SACD le flux audionumérique subit une compression sans perte appelée DST (*Direct Stream Transfert*) autorisant jusqu'à 80 min d'enregistrement de pistes stéréo DSD et multicanale DSD.

Le SACD, malgré son codage sur 1 bit, a une résolution équivalente (après filtrage) identique à celle du DVD Audio (24 bits). Les techniques mises en jeux à cet effet font référence au "*Noise Shaping*" ou mise en forme du bruit de quantification par lesquelles ce dernier est repoussé vers des fréquences en dehors de la zone utile. Cette modulation *1 bit* (tout ou rien) n'est pas nouvelle, elle s'apparente à la modulation de largeur d'impulsions (ou PWM *Pulse Width Modulation* utilisée dans les onduleurs, les amplificateurs de classe D, les dispositifs à valve de lumière : matrice à micro-miroirs DMD...) pour laquelle le rapport cyclique varie en fonction de l'amplitude du signal à transcrire. Le flux numérique 1bit (DSD) doit cependant suivre un rythme d'horloge imposé (qui correspond à la fréquence sur-échantillonnée) on parle alors de PDM (*Pulse Density Modulation*) ou modulation de densité d'impulsions. Toutes les platines CD-A et DVD-A bénéficient d'un modulateur "un bit" permettant de retrouver, à partir d'un flux PCM (16, 20 ou 24 bits), un flux de type DSD (1bit) qui est très simple à convertir en analogique (filtrage passe-bas d'ordre peu élevé). Le traitement numérique associé à ce modulateur (*delta sigma*) est alors évité lors de la lecture du flux DSD du SACD.



3.3. Le DVD

3.3.1. Présentation

Le DVD, acronyme à l'origine de **Digital Video Disc** puis, par la suite, de **Digital Versatile Disc**, est un support de stockage numérique haute densité appelé à remplacer progressivement le disque compact actuel ou CD.

Identique au disque compact de 12 cm de diamètre et de 1,2 mm d'épaisseur, le DVD offre une capacité de stockage pouvant aller jusqu'à 17 Gigaoctets soit 26 fois plus qu'un CD pour des débits variant entre 1 à 10 Mbits/sec.

Le DVD est issu d'un accord conclu en décembre 1995 entre deux "clans" qui s'affrontaient jusqu'alors pour imposer chacun leurs produits, incompatibles entre eux. En effet, d'un côté, Philips et Sony proposaient le MM-CD (MultiMedia Compact Disc), et de l'autre Toshiba, Matsushita, Time Warner, Pioneer et bien d'autres présentaient le SD (Super Density), La raison l'a en partie emporté. La bataille annoncée pour la définition d'un format unique n'a pas eu lieu grâce notamment à la pression qu'ont exercée certains acteurs majeurs de l'industrie informatique, très intéressés par les possibilités et la grande capacité qu'offre ce support. Malheureusement, l'objectif initial qui était de ne pas réitérer les combats qui avaient pu avoir eu lieu dans le passé (Exemple du VHS contre V2000 ou autre Betamax) n'est pas atteint car, même si l'unification de la technologie tout numérique du DVD est acquise sur le plan mondial, de nombreuses variantes existent..

Depuis longtemps annoncés, les premiers lecteurs ne sont apparus qu'à la fin de l'année 1996 aux États-Unis et au Japon pour n'arriver sur le marché français que depuis mars 1997.

Des quelques difficultés, en particulier dans le domaine de la compatibilité, liées aux premières générations de machines et de supports subsistent, et nous essayerons de les mettre en évidence.

3.3.2. Caractéristiques

De dimensions identiques à celles d'un disque compact "traditionnel" de 12 cm de diamètre et de 1,2 mm d'épaisseur (Cd-rom, CD Audio...), un disque DVD se caractérise tout d'abord par ses grandes capacités de stockage. Cette augmentation de densité est liée au fait que les micro cuvettes sont plus petites et les pistes plus resserrées que sur les CD actuels. Cela a été rendu possible par l'utilisation, à l'écriture comme à la lecture, d'une diode laser émettant un rayon de longueur d'onde plus courte (635 nm au lieu de 780 nm) ce qui a pour effet de diminuer le diamètre du faisceau. Associé à cela, des recherches ont permis d'augmenter la valeur d'ouverture numérique des lentilles afin d'améliorer la convergence du rayon (0,6 au lieu de 0,45)

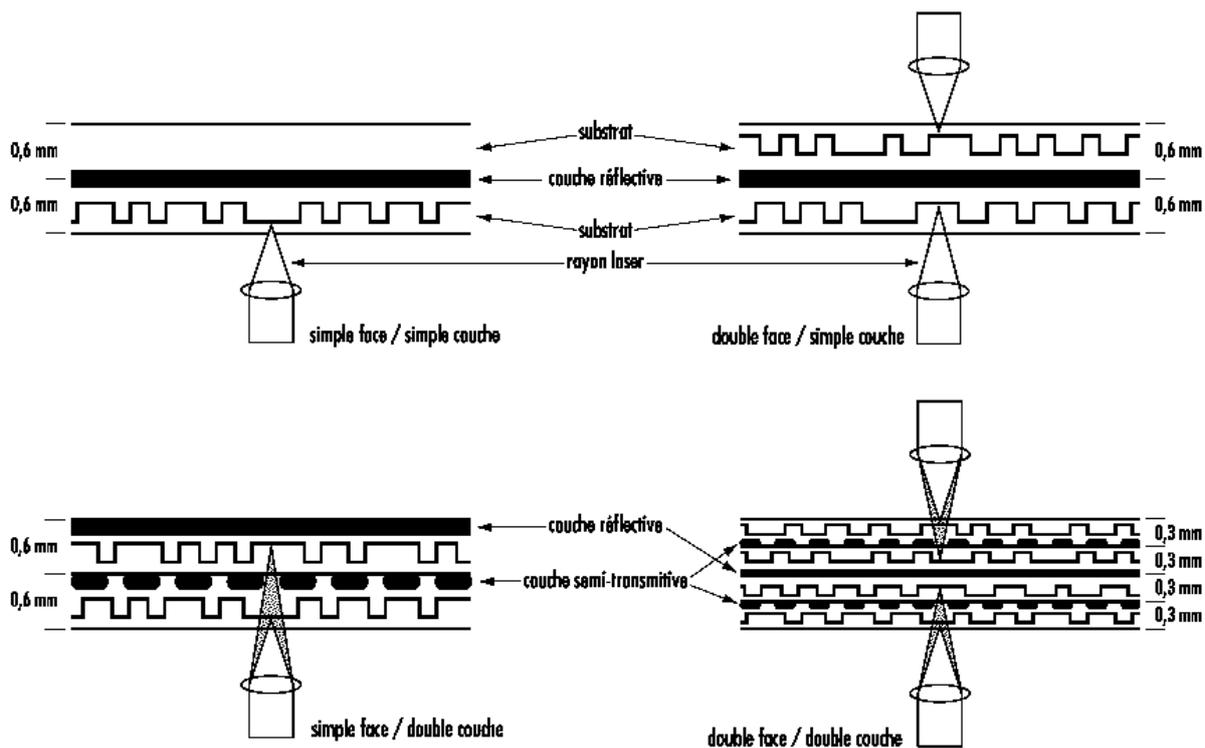
Le débit, variable, est sensiblement accru puisque, comparé aux 1,5 Mbits/sec constant du support CD simple vitesse, il peut être compris entre 1 et 10 Mbits/sec en crête, ce qui est particulièrement intéressant en vidéo.

	Diamètre du disque (mm)	Longueur d'onde du faisceau (nm)	Ouverture numérique	Longueur mini. des micro-cuветtes (μm)	Largeur de piste (μm)	Débits (Mbits/sec.)
CD	120	780	0,45	0,85	1,6	1,5
DVD	120	635	0,6	0,4	0,74	jusqu'à 9,8

Le DVD est, de plus, à configuration variable. Il peut en effet être simple face/simple couche, double face/simple couche, simple face/double couche et enfin double face/double couche, offrant ainsi des capacités de stockage variant entre 4,7 et 17 Gigaoctets soit 7 à 26 fois plus qu'un CD pour des débits allant de 1 à 10 Mbits/sec.

	Simple couche	Double couche
Simple face	4,7 Go	8,5 Go
Double face	9,4 Go	17 Go

Pour un disque double couche, la lecture de la deuxième couche est effectuée par une nouvelle focalisation de la tête de lecture laser au travers de la première couche qui est dans ce cas semi transmissive. Quasiment tous les lecteurs de DVD sont munis aujourd'hui de deux têtes lasers et prévus pour lire les simples faces et les doubles couches des DVD actuels



D'abord destiné à la vidéo pour remplacer la cassette VHS enregistrée et le Video-CD, lequel ne satisfaisait pas les Majors de l'industrie cinématographique en terme de qualité et d'autonomie, le DVD-Video, a été décliné en plusieurs versions à l'attention de différents domaines d'application et d'environnement pour remplacer les CD actuels du même nom :

- le DVD-Rom,
- le DVD-Audio,
- le DVD-WO (Write Once ou inscriptible une fois) aussi appelé DVD-R (Recordable ou enregistrable une fois)
- le DVD-E (Erasable ou réinscriptible) aussi appelé DVD-RAM.

Des spécifications ou "Books" ont été établies pour chacune de ces déclinaisons par l'ensemble des parties prenantes du produit, c'est-à-dire le "Consortium DVD" devenu depuis le "Forum DVD" pour les industriels de l'électronique et le TWG (Technical Working Group) pour ceux de l'informatique. Ils se décomposent comme suit :

- DVD-Rom : Book A,
- DVD-Video : Book B
- DVD-Audio : Book C
- DVD-WO ou DVD-R : Book D
- DVD-E ou DVD-Ram : Book E

Seuls le DVD-Rom et le DVD-Video sont normalisés.

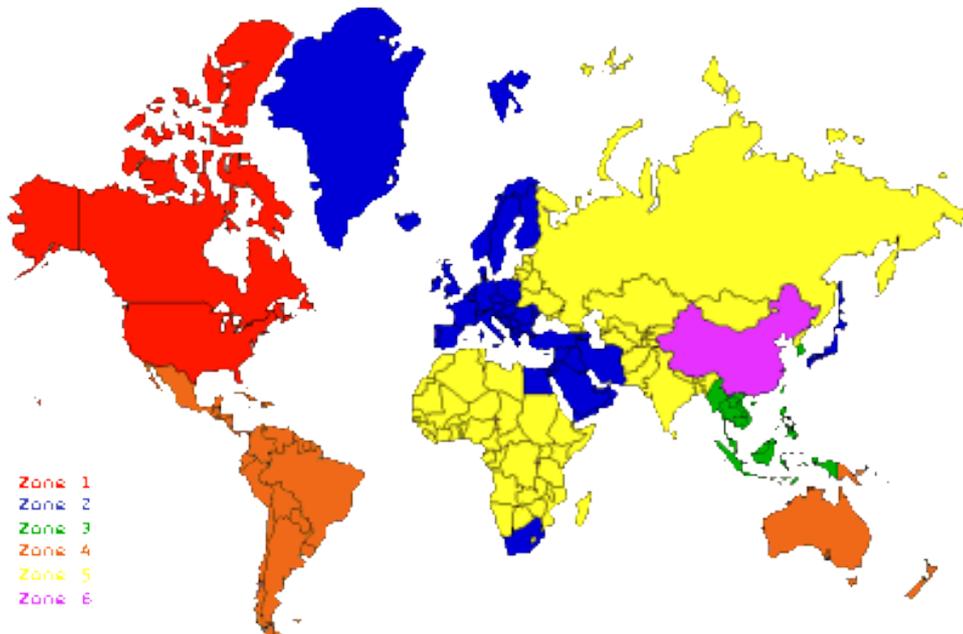
3.3.3. Protections contre le piratage

La définition de systèmes de protection contre la copie des supports DVD a fait l'objet d'après discussions. Cela explique, pour partie, le décalage entre l'annonce de la sortie des produits (supports et lecteurs) et leur arrivée effective sur le marché.

En effet, les éditeurs de programmes, et en particulier ceux du domaine cinématographique, réclamaient de pouvoir contrôler le marché des ventes de leurs produits d'une part, et d'éviter le piratage en analogique comme en numérique d'autre part. Ce problème, confié à un groupe d'experts nommé CPTWG (Copyright Protection Technical Working Group), a trouvé son dénouement le 29 octobre 1996.

La première solution adoptée a été de diviser le monde en six parties :

- zone 1 : Amérique du Nord ;
- zone 2 : Europe, Afrique du Sud et Japon ;
- zone 3 : Taïwan, Asie du sud-est, Hong-Kong et Corée ;
- zone 4 : Amérique du Sud, Amérique Centrale, Australie et Nouvelle Zélande ;
- zone 5 : Afrique, Moyen-Orient, Inde et ex URSS ;
- zone 6 : Chine.



À chacune de ces aires géographiques correspond un système de codage informatique spécifique comportant 32 octets, qui n'est pas un encryptage, appelé "code régional", rendant les DVD incompatibles d'une région à l'autre. Ainsi, un disque distribué dans une région donnée et doté de sa clé ne peut être joué que sur un lecteur vendu dans cette même région. Cette protection a été voulue en particulier par les compagnies cinématographiques. En effet, la législation concernant les délais entre la sortie d'un film en salle et sa commercialisation à destination du grand public sont très différents d'un pays à l'autre. Avec ce procédé, un film sur DVD-Video destiné au marché américain, par exemple, ne pourra inonder le marché européen avant la date légale. Cela permet d'éviter de soulever des problèmes de droits mais constitue un sérieux handicap pour l'utilisateur amené à échanger des programmes d'une zone géographique à l'autre.

Un éditeur peut cependant prévoir l'inscription de plusieurs clés sur un même disque pour en augmenter la diffusion.

À ceci s'ajoute différentes propositions de protection contre la copie, qu'elle soit analogique ou numérique.

La protection contre la copie en analogique, ou APS (Analog Protection System), des images et du son, est assurée par le système Macrovision 7.0. Celui-ci consiste à insérer des salves de couleur haute fréquence dans les intervalles de suppression trame du signal vidéo composite de sortie du lecteur. Cela a pour effet de perturber les circuits de gain automatique et d'asservissement des magnétoscopes.

Concernant la copie numérique, que permet en particulier le DVD-RAM, deux possibilités s'offrent au producteur de disque. La première consiste à inscrire sur le disque des informations permettant de gérer l'autorisation de copie. Ce système de gestion est appelé CGSM pour *Copy Generation Management System*.

La deuxième possibilité, réclamée là aussi par les studios hollywoodiens, est une protection antipiratage renforcée. C'est un système d'échantillonnage des données, développé par Matsushita

en collaboration avec Toshiba, nommé CSS (*Contents Scramble System*). Il a pour effet d'interdire l'affichage du contenu du disque ainsi codé si le lecteur n'est pas pourvu des circuits de décodage.

Ces trois niveaux de protections sont optionnels pour les éditeurs de programmes sur DVD, la sécurisation maximale contre le piratage consistant à tous les mettre en œuvre. Par conséquent, lors de l'acquisition d'un lecteur, il convient de faire preuve de prudence et de s'assurer que l'ensemble des circuits ou des logiciels de décryptage sont présents dans la machine.

3.3.4. **Compatibilité entre lecteurs de DVD et supports CD**

Pour pouvoir lire les supports CD de type Rom (CD-Audio, Video-CD et CD-Rom), le lecteur de DVD doit être équipé d'un système optique à double focalisation. Cette nécessité est liée au fait que la longueur des micro-cuvettes et la largeur de piste sont différentes. De plus, la couche réfléchissante n'est pas située dans le même plan. Actuellement, la plupart des lecteurs sont équipés de ce dispositif afin de préserver le parc de titres CD existant mais, à terme, ce dispositif sera très probablement abandonné par les fabricants lorsque les CD seront devenus obsolètes (si cela arrive un jour...)

3.3.5. **Le cas particulier des CD-Worm (Write Once Read Many) et CD-R (Rewritable)**

Pour qu'un lecteur de DVD puisse lire un CD enregistrable, comme par exemple un Photo-CD, il faut qu'il soit équipé de deux têtes laser distinctes : une dont la longueur d'onde correspond au DVD et l'autre au CD. Il existe deux raisons à cette contrainte. La première, c'est que la couche réfléchissante des CD enregistrables absorbe le faisceau laser utilisé pour le DVD, ce qui les rend donc invisibles. La seconde est due au fait que la puissance dissipée par ce même laser peut entraîner la destruction pure et simple des informations inscrites sur le disque.

3.3.6. **Les formats logiques**

Le format logique utilisé pour le DVD est l'UDF (Universal Disc Format). Ce format a été, à l'origine, développé et adopté par l'OSTA (Optical Storage Technology Association) pour les disques optiques numériques (DON) inscriptibles ou réinscriptibles, utilisés pour l'archivage et la gestion électronique de documents. L'UDF est au DVD ce que l'ISO 9660 est au Cd-rom, c'est à dire qu'il permet une portabilité complète dans les environnements informatiques existants actuellement. Il a été préféré à l'ISO 9660 car, contrairement à ce dernier, l'UDF permet de gérer un plus grand volume de données (jusqu'à 128 Téraoctets). De plus, compte tenu de l'évolution de la technologie, un disque écrit sous ce format pourra être lu dans les environnements informatiques du futur. La pérennité des informations contenues sur un tel support est donc assurée. Cela sera particulièrement intéressant pour les prochains DVD-WO et DVD-RAM. Dans le cas du DVD-Video, le format utilisé est le MicroUDF, noté μ UDF, qui est un sous-ensemble de l'UDF.

Il existe un autre type de format où sont mêlés UDF ou MicroUDF, selon le cas, et ISO 9660. L'objectif de cette passerelle, d'où l'appellation "Bridge" (UDF Bridge, μ UDF Bridge), est de pouvoir utiliser un lecteur DVD et son disque, s'ils sont fondés sur ce format, dans des environnements informatiques où seul l'ISO 9660 est reconnu par le système d'exploitation et d'assurer une compatibilité ascendante avec les CD actuels (sauf CD-WORM et CD-R). Il est important de noter que cette coexistence va n'être très probablement que transitoire. En effet, seul l'UDF et son dérivé le MicroUDF sont exigés dans les spécifications du DVD. Aussi, à terme, la disparition du format "Bridge" est prévisible, entraînant du même coup dans son sillon l'impossibilité de jouer les CD. Il reste à espérer que ceux-ci auront eu le temps de devenir "trop vieux" et donc obsolètes!

	CD	DVD-Video	DVD-Rom
Format logique	ISO 9660	μ UDF Bridge	UDF Bridge ou UDF

Ces deux normes incompatibles pour les DVD réenregistrables sont plus connues sous les termes suivants :

- DVD-RAM de Toshiba © et Matsushita © stockant 2,6 Go (Book D)
- DVD-RW de Sony ©, Philips © et HP © stockant 3 Go (Book E). Dans la course aux enregistreurs grand public de salon, c'est ce dernier, avec les DVD+R

3.3.7. Cas particulier du DVD Vidéo

3.3.7.1. Caractéristiques

Le DVD-Vidéo s'appuie sur la norme MPEG 2 MP@ML c'est-à-dire au format 4.2.0 sur 8 bits (720x576 en PAL ou 720 x 480 en NTSC). Comparé au débit fixe de 1,5 Mbits/sec du Video-CD, le débit moyen est de 3,5 Mbits/sec., variable entre 1 et 9,8 Mbits/ sec en régime de pointe. C débit dépend du contenu et de la complexité des images. Ces dernières peuvent être au format 4/3 ou 16/9. Il est possible de leur adjoindre jusqu'à 32 sous-titrages différents à un débit de 0,01 Mbits/sec chacun.

Les pistes audio peuvent être au nombre de 8 (multilingues par exemple) pour un débit unitaire de 0,384 Mbits/sec. Chacune de ces pistes peut contenir quatre types de formats audio :

- Dolby Digital AC-3, appelé aussi Dolby Surround AC 3, de 1 à 5 canaux plus 1 canal central basse fréquence (Subwoofer) noté 5.1
- MPEG 2 audio, qui est un « ensemble » de MPEG 1, de 1 à 7.1 canaux,
- LPCM (Linear Pulse Code Modulation) de 1 à 8 canaux,
- PCM (Pulse Code Modulation) mono ou stéréo

Le Dolby Digital AC-3 est le format des DVD destinés aux pays utilisant le format 525 lignes - 30 images/sec. Le MPEG 2 audio est quant à lui réservé aux pays exploitant le 625 lignes - 25 images/sec. Le Consortium DVD a cependant recommandé aux éditeurs de films de prévoir les deux types de compression sur les disques produits... mais ce n'est qu'une recommandation !

On peut cependant s'interroger sur l'avenir du MPEG 2 audio face à la pénétration du Dolby Digital AC-3 dans les équipements destinés au "cinéma de salon", appelé aussi "Home theater", et à la forte montée en puissance des Japonais et des Américains en matière d'offre de programmes sur DVD. L'AC-3 ne pourrait-il pas devenir, dans ces conditions, un standard de fait sur le plan mondial ?

Le LPCM, quant à lui, peut être utilisé dans les deux sphères. C'est un format non compressé. Le signal est numérisé à des fréquences d'échantillonnage et des profondeurs de quantification plus élevées (48 ou 96 KHz sur 16, 20 ou 24 bits) que le PCM (44,1 KHz sur 16 bits) exploité par le CD Audio. La qualité est donc encore meilleure.

Standard vidéo	PAL	NTSC
Audio stéréo non compressée	PCM, LPCM	PCM, LPCM
Audio stéréo compressée	MPEG 1 Dolby Digital stéréo (en option)	Dolby Digital stéréo MPEG 1 (en option)
Audio multicanaux	MPEG 2 audio Dolby Digital AC-3 (en option)	Dolby Digital AC-3 MPEG 2 audio (en option)

En ce qui concerne la capacité d'un DVD-Vidéo, un film de 133 min. de vidéo MPEG 2 (3,5 Mbits/sec.) associé à trois canaux audio (3 x 384 KBits/sec.) et 4 sous-titrages différents (4 x 10 KBits/sec.) peut être stocké sur un disque simple face/simple couche.

Diverses combinaisons peuvent être prévues lors de la réalisation d'un titre pour permettre de choisir entre différents scénarios d'un même film ou 9 angles de prise de vue de la même scène. Dans ce cas, la capacité du disque s'en trouve évidemment diminuée.

3.3.7.2. La lecture

Les lecteurs de DVD-Video sont destinés aux usages grand public et plus particulièrement pour le "cinéma de salon". Ils sont compatibles avec les CD Audio et les Video-CD, mais pas avec les Photo CD. Ils peuvent, dans tous les cas, exploiter les DVD- Vidéo double couches.

3.3.8. Le DVD Rom

3.3.8.1. Présentation

Le support DVD-Rom offre les mêmes capacités de stockage que le DVD-Video, soient entre 7 et 26 fois celle d'un CD-Rom classique de 650 Mo. C'est la raison majeure pour laquelle les professionnels de l'édition informatique ont très vite pris part à l'élaboration du cahier des charges de ce nouveau support et à sa normalisation. En effet, si le CD reste encore adapté pour la plupart des applications de type base de données, il l'est de moins en moins en ce qui concerne l'édition multimédia, très vorace en terme d'espace. Ce nouveau support permet aux concepteurs, au moins pour un temps, de s'affranchir des contraintes liées, en particulier, au recours de la vidéo et du son dans leurs programmes.

Ils disposent, d'autre part des mêmes possibilités de protections contre la copie que celles pouvant être mises en œuvre dans le DVD-Video.

Les premiers titres ont vus le jour en France au cours du deuxième semestre 1997.

3.3.8.2. Les lecteurs

Tout comme le lecteur de Cd-rom, le lecteur de DVD Rom est un périphérique informatique connectable sur bus EIDE (ATAPI), SCSI ou USB. Il est, pour le moment au moins, compatible avec les Cd-rom, CD Audio et Video-CD, mais pas avec les Photo CD.

Les DVD-Video peuvent aussi être lus. Pour cela il faut que l'ordinateur soit équipé de cartes de décompression vidéo et audio (MPEG 2 et/ou Dolby Digital AC-3) et des systèmes de désembrouillage adéquats.

Le débit moyen est de 1,2 Moctets/sec., soit 8 fois celui d'un lecteur de CD-Rom simple vitesse.

La gestion des protections antipiratages et du code régional, éventuellement portées sur le disque, est assurée conjointement par le lecteur, les cartes de décompression et les pilotes. Par conséquent, comme dans le cas du DVD-Video, des titres ainsi protégés acquis aux États-Unis ne pourront être exploités sur un lecteur européen.

3.4. DVD-R ou DVD+R ?

Le graveur de DVD sont bien arrivés dans les foyers des particuliers. De plus, les prix diminuent tous les jours...

Les normes du DVD sont définies par le *DVD-Forum* (+ de 200 membres fondateurs et membres associés) qui avait permis jusqu'à présent d'éviter une bataille commerciale entre les constructeurs de graveurs et de supports. Cette organisation a contribué au succès du DVD (DVD-Vidéo principalement) en ne proposant qu'un seul format, adopté par tous.

Actuellement il y a 1,6 Millions de lecteur DVD de salon en France. La progression des ventes est très importantes en Europe. Malheureusement, cela ne pouvait durer et les batailles commerciales font leurs apparitions.

Le *DVD-Forum* a validé deux formats de DVD réinscriptibles : le DVD-Ram (magnéto-optique) à l'origine dédié à l'archivage informatique et le DVD-R/RW pour le stockage de données et surtout pour créer ces propres DVD vidéo. Certains membres du DVD-Forum (Philips, Ricoh, Hewlett Packard, Sony, Alera, Waitec, Logitec, Freecom, Verbatim ...) ont souhaité proposer leur propre norme : le DVD+RW. En réalité, derrière cette guerre des normes se cache surtout un conflit d'intérêt entre le *DVD-Forum* et l'*Alliance DVD+RW*. En effet, pour chaque achat de lecteur de DVD (Rom et Vidéo), des royalties seront versées au *DVD-Forum*, qui les répartit ensuite entre les membres fondateurs. Ce qui n'est pas du goût de tous...

Hitachi, Samsung et surtout Panasonic soutenait le DVD-RAM mais le problème de ce dernier est de taille : Il reste incompatible avec tous les lecteurs de salon (sauf quelques modèles spécifiques des 3 marques). Les graveurs DVD-RW et DVD+RW sont plus universelles car ils sont compatibles avec de nombreux lecteurs DVD de salon et informatique. Les différences technologiques entre les deux formats sont minimes. Les deux procédés utilisent le même principe de gravure mais à des profondeurs de gravure et des températures de fusion différentes. Les substrats sont très proches et le système de fichier reste l'UDF, commun à tous les types de DVD.

De nombreuses applications utiliseront l'un de ces supports dans les années à venir. Quoiqu'il en soit, le consommateur se retrouve devant deux alternatives sans savoir pour l'instant laquelle choisir. Cette situation laisse une désagréable impression de déjà vu. La guerre commerciale ne fait que commencer. Qui l'emportera ? Difficile à prévoir car si l'on se réfère à ce qui s'est passé dans les années 80 avec le magnétoscope et les 3 standards alors en compétition, on se souvient que la meilleure technologie n'avait pas survécu face à la puissance commerciale de grands groupes qui n'avaient alors pas misé sur le système le plus performant. Si l'on se base sur ce principe, le DVD+RW pourrait s'imposer sur le marché des graveurs. C'est d'ailleurs ce qui commence à se passer, et il serait bon de consulter les offres des principaux distributeurs de matériel audio/ vidéo grand public...

D'une manière générale, nous pouvons prévoir à terme la disparition des supports de type CD au profit des DVD, comme le CD avait lui même remplacé la disquette dans un domaine informatique ou la cassette VHS dans un domaine audiovisuel.

3.5. Vers un remplacement du DVD ? – Le Blu-Ray: marketing ou réalité?



3.5.1. Historique - capacités

Le 19 février 2002, 9 constructeurs (Hitachi, LG, Matsushita, Pioneer, Philips, Samsung, Sharp, Sony et Thomson) annonçaient qu'ils s'étaient entendus sur l'établissement sur une nouvelle génération de supports vidéo, appelée « Blu-Ray », permettant d'enregistrer, de réécrire et de lire sur un support optique de capacité 27 GB (27 Go) de taille identique à celles des CDs/DVDs. Cette capacité s'obtient avec un gravage mono-couche et sur une seule face.

3.5.2. Technologies développées

En poursuivant les technologies développées lors du passage du CD au DVD (laser de longueur d'onde de plus en plus courte, permettant l'utilisation de faisceaux de plus en plus fins), le choix d'un laser bleu – violet de longueur d'onde 405 nm. Le choix d'une longueur d'onde plus courte permet en effet de diminuer « l'ouverture numérique » par rapport au DVD, augmentant ainsi sa capacité par un « gravage » du support plus fin largeur de piste de l'ordre de 0,32 μm , soit une réduction d'environ 50% par rapport à un DVD). En plus, avec le choix d'une couche de protection plus épaisse (0,1mm), ce support permet de s'affranchir des défauts d'inclinaison rencontrés assez souvent dans le cas du DVD, conduisant à des erreurs dans le gravage.

Une technologie reprise depuis les normes de compression MPEG-2 lui offre une compatibilité assez étendue dans un domaine de la vidéo numérique. Il est de plus compatible avec les systèmes HD, offrant non seulement *capacité importante* mais aussi *débit élevé* (transfert des médias stockés sur le support effectué de manière rapide)..

L'attribution d'un identifiant unique (ID) dans la TOC serait également censé le protéger de manière efficace, par attribution d'un copyright de haute qualité.

Il serait également destiné à être décliné dans des versions d'enregistrement et vidéo et d'audio Broadcast, permettant en plus tout les avantages de l'enregistrement sur support de type disque optique (accès rapide aux médias stockés, présentation interactive du contenu... déjà présente dans le

DVD). C'est d'ailleurs pour cette raison que le support proprement dit (le disque) est inséré dans un cartouche, à l'image du MD.

Les neuf multinationales se sont également entendues sur le développement de cette « nouvelle technologie », avec une déclinaison allant jusqu'à 30 Go de capacité en mono-couche et simple face et se poursuivant en double couche avec une capacité de 50 Go...

3.5.3. Le Blu-ray en chiffres et en anglais...

"Blu-ray Disc" Key Characteristics

1) Large recording capacity up to 27GB:

By adopting a 405nm blue-violet semiconductor laser, with a 0.85NA field lens and a 0.1mm optical transmittance protection disc layer structure, it can record up to 27GB video data on a single sided 12cm phase change disc. It can record over 2 hours of digital high definition video and more than *13 hours* of standard TV broadcasting (VHS/standard definition picture quality, *3.8Mbps*)

2) High-speed data transfer rate 36Mbps:

It is possible for the Blu-ray Disc to record digital high definition broadcasts or high definition images from a digital video camera while maintaining the original picture quality. In addition, by fully utilizing an optical disc's random accessing functions, it is possible to easily edit video data captured on a video camera or play back pre-recorded video on the disc while simultaneously recording images being broadcast on TV.

3) Easy to use disc cartridge:

An easy to use optical disc cartridge protects the optical disc's recording and playback phase from dust and fingerprints.

Main Specifications

Recording capacity:	23.3GB/25GB/27GB
Laser wavelength:	405nm (blue-violet laser)
Lens numerical aperture (NA):	0.85
Data transfer rate:	36Mbps
Disc diameter:	120mm
Disc thickness:	1.2mm (optical transmittance protection layer: 0.1mm)
Recording format:	Phase change recording
Tracking format:	Groove recording
Tracking pitch:	0.32µm
Shortest pit length:	0.160/0.149/0.138µm
Recording phase density:	16.8/18.0/19.5Gbit/inch ²
Video recording format:	MPEG2 video
Audio recording format:	AC3, MPEG1, Layer2, etc.
Video and audio multiplexing format:	MPEG2 transport stream
Cartridge dimension:	Approximately 129 x 131 x 7mm

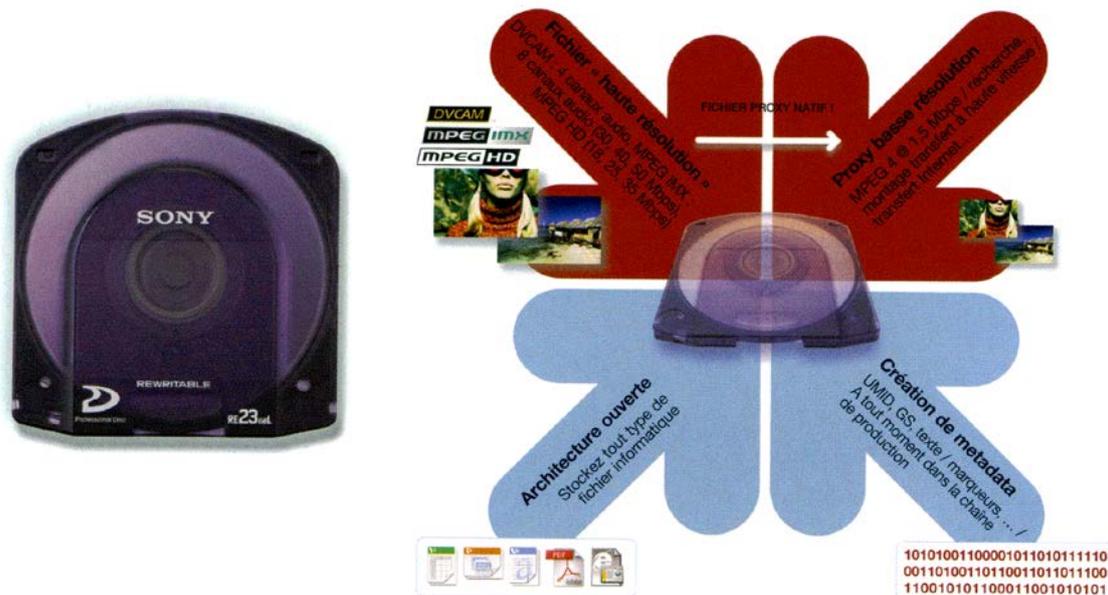
4. Le XD-Cam (Sony)

4.1. Présentation



Dérivé du support Blu-Ray, le XD-Cam, comme l'annonce la publicité faite par Sony, est un « concept produit », c'est à dire correspondant à un environnement de travail complet, associé au support précédent et appliqué au domaine broadcast.

4.2. Avantages/ inconvénients



Il va offrir tous les avantages des supports réenregistrables des disques optiques de type « ...RW » :

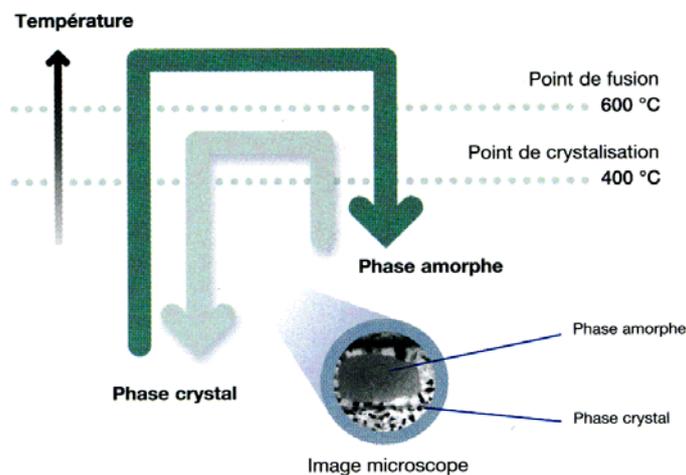
- ☺ Une réutilisation *très élevée* du média, qui devrait être de l'ordre de 1000 fois... L'usage le dira... L'argument principal développé par le constructeur est l'absence d'usure par frottement, du fait de l'absence de contacts, à l'inverse des supports magnétiques...
- ☺ Un accès direct aux séquences enregistrées sur le support, sans « rembobinage » ou « transport de bandes », et en optimisant de ce fait le « workflow ».
- ☺ Un format d'enregistrement non dédié. Dans le cas du XD-Cam, deux qualités sont possibles, soit le format MPEG IMX (qualité optimale, avec un débit de 30, 40 ou 50 Mb.s⁻¹), soit le format DV-Cam (débit de 25 Mb.s⁻¹).
- ☺ L'effacement des enregistrements se fera plus précisément, comme sur un support de type disque dur ou disque optique. Les risques d'effacement involontaire seront minimisés.

Quelques avantages spécifiques au « Professional Disc System » :

- ☺ Les machines XD-Cam génèrent, lors de l'enregistrement, une copie basse résolution appelée « Proxy » à 1,5 Mb.s⁻¹. Cette fonctionnalité permet l'établissement d'un pré-montage (ours), du dérushage sur le caméscope ou le transfert aux clients d'une première esquisse du produit final.

- ☺ Transfert des rushes sur des liaisons haut-débit à 72 Mb.s⁻¹ ou 144 Mb.s⁻¹. Le débit de transfert est de 72 Mbps pour les appareils équipés d'une seule tête optique et de 144 Mbps pour les appareils équipés d'unités à deux têtes
- ☺ Possibilité de création de fichiers ouverts de type MXF (encapsulation de données vidéo, audio, TC et de métadonnées de type User-Bits, dates, heures, commentaires...) pour une compatibilité directe (sans digitalisation) avec la plupart des machines de montage non-linéaires (Avid, Pinnacle, Quantel, Sony...).
- ☺ Une garantie de 7 ans est offerte par le constructeur sur le bloc optique (lecture/enregistrement). Il reste néanmoins à connaître les clauses de l'application de la garantie...
- ☺ Une partie de 500 Mo de stockage est réservée, en plus de la capacité nominale de 23,3 Go pour un disque simple face, est réservée pour le stockage de fichiers informatiques ouverts (textes, vidéos, éléments divers et variés...)
- ☺ L'enregistrement inspiré du MD, (« à changement de phase »), par effet Curie (élévation de Température avant enregistrement) est gage de stabilité d'enregistrement. Nous pouvons nous inspirer du schéma issu des documentations SONY ci-dessous :

Le Professional Disc stocke les données numériques grâce à un laser bleu-violet de 405 nm et un procédé à changement de phase (crystal et amorphe). Le laser fait varier la température d'une zone infiniment petite de la surface du disque entre 400 et 600 degrés Celsius. L'enregistrement qui en résulte est remarquablement stable et résiste aux températures extrêmes (basses ou hautes) des environnements les plus difficiles.



Quelques inconvénients existent :

- ☹ Le prix des équipements, qui restent conséquent, même si ces derniers sont en baisse...
- ☹ Pour pouvoir utiliser toutes les fonctionnalités, il est impératif de s'équiper avec une solution complète, ce qui oblige à des investissements lourds.
- ☹ Dans le cas où un équipement progressif est envisagé, il faut également se soucier de la pérennité du support... Nous venons de voir que le technologie devrait (?) remplacer le DVD, mais quel est le support qui va remplacer le Blu-Ray ?...

- ☹ Le besoin et l'attrait du grand public pour des programmes de qualité (technique, pour le reste...) croissante oblige à utiliser des supports de capacité en octets de plus en plus importante. La capacité de ce support sera-t-elle suffisante ?

4.3. Remarque :

- Les enregistreurs utilisant ce support ne pouvant plus être appelés « magnétoscopes » (aucune information magnétique n'est en effet stockée), le constructeur a choisi le terme de « Deck ».

5. Les mémoires « Flash »

5.1. Présentation

L'idée d'utiliser non pas un support magnétique ou optique mais des mémoires à semi-conducteurs pour stocker de la vidéo a également été envisagée par certains constructeurs. Ces mémoires se présentent sous forme de cartes et ont été développées essentiellement par Intel. Elles consomment peu, sont effaçables électriquement, et leur taux de transfert est de quelques dizaines de Mb/s.

5.2. Constitution

La **mémoire flash** est une mémoire à semi-conducteurs, non volatile et réinscriptible, c'est-à-dire une mémoire possédant les caractéristiques d'une *mémoire vive* mais dont les données ne se volatilisent pas lors d'une mise hors tension. Ainsi la mémoire flash stocke les bits de données dans des cellules de mémoire, mais les données sont conservées en mémoire lorsque l'alimentation électrique est coupée.

En raison de sa vitesse élevée, de sa durabilité et de sa faible consommation, la mémoire flash est idéale pour de nombreuses applications - comme les appareils photos numériques, les téléphones cellulaires, les imprimantes, les assistants personnels (PDA), les ordinateurs portables, ou les dispositifs de lecture ou d'enregistrement sonores, même professionnel. De plus ce type de mémoire ne possède pas d'éléments mécaniques, ce qui leur confère une grande résistance aux chocs.

Dans l'état actuel des produits diffusés sur le marché, aucune de ses applications n'est destinée à l'enregistrement vidéo Broadcast. Mais, à mon avis, les essais étant concluants dans le domaine de la photo numérique, on devrait voir apparaître des applications professionnels dans un temps relativement court, surtout si les essais avec les disques optiques (notamment le Blu-Ray) ne sont pas concluants...

5.3. Les principaux formats de cartes mémoires

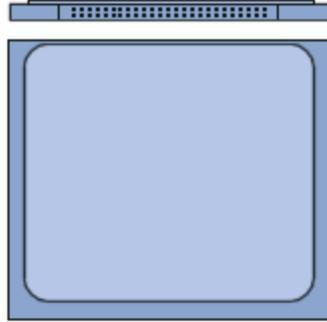
Il existe un grand nombre de formats de cartes mémoires non compatibles entre-eux, portés par presque autant de constructeurs. Parmi ces formats de cartes mémoire les plus courants sont :

5.3.1. Les cartes Compact Flash :

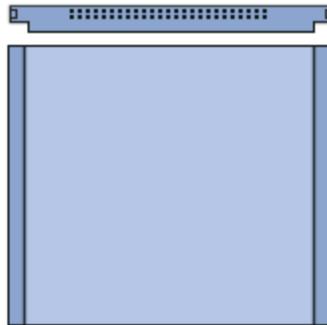
La mémoire **Compact Flash** (notée parfois *CF*) est un type de carte mémoire créé en 1994 par la firme *SanDisk*. La mémoire Compact Flash est constituée d'un contrôleur mémoire et de mémoire flash contenues dans un boîtier de faible dimension (42.8 mm de largeur et 36.4 mm de hauteur), de taille inférieure à une petite boîte d'allumettes, et pesant 11.4 grammes.

Il en existe deux versions :

- Les cartes *Compact Flash type I*, possédant une épaisseur de 3,3 mm ;



- Les cartes *Compact Flash type II*, possédant une épaisseur de 5 mm.



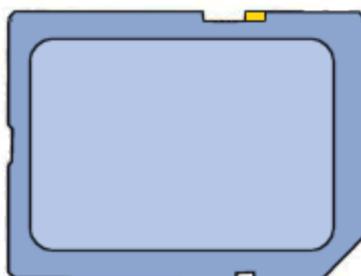
Les cartes Compact flash sont conformes à la norme PCMCIA/ATA si ce n'est que le connecteur possède 50 broches au lieu des 68 broches des cartes PCMCIA. Ainsi il est possible d'enficher une carte Compact flash dans un emplacement PCMCIA passif de type II. Il existe d'ailleurs des adaptateurs permettant de passer de la 1^{ère} à la 2^{ème} norme.

Ce sont en fait la seule technologie offrant un débit suffisant pour permettre des enregistrements et lecture des données audionumériques en temps réel (Le débit atteint 16MB/sec pour les cartes Compact Flash type II).

5.3.2. Les cartes Secure Digital (appelées SD Card)

La mémoire **Secure Digital** (notée *SD* ou *SD Card*) est un type de carte mémoire créé par Matsushita Electronic, SanDisk et Toshiba en janvier 2000. La mémoire Secure Digital est une mémoire spécifiquement développée pour répondre aux exigences de sécurité nouvellement apparues dans les domaines des dispositifs électroniques audio et vidéo. Elle inclut ainsi un mécanisme de protection du droit d'auteur qui répond au standard **SDMI** (Secure Digital Music Initiative). Elles constituent elles-mêmes une EEPROM.

La mémoire Secure Digital possède de très petites dimensions (24.0mm x 32.0mm x 2.1mm), équivalentes à celles d'un timbre poste, et pèse à peine 2 grammes.



L'accès aux données est réalisée par l'intermédiaire d'un connecteur latéral possédant 9 broches, permettant d'atteindre un taux de transfert de 2 Mb/s, et potentiellement jusqu'à 10 MB/s. Cette faiblesse de débit la rend inapte pour des applications audio ou vidéo professionnelles, bien qu'elles soit universellement utilisée, car peu onéreuse, dans un domaine grand public (appareils photos, notamment)

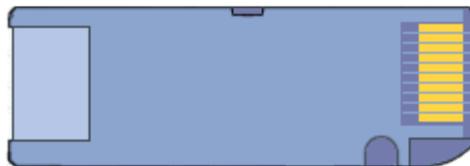
Le temps d'accès à la mémoire SD est d'environ 25 μ s pour le premier accès et de cycles de 50 ns pour les suivants.

5.3.3. Les cartes Memory Stick

La mémoire **Memory Stick** (notée *MS* ou *MS Card*) est un type de carte mémoire créé conjointement par Sony et SanDisk en janvier 2000.

L'architecture des cartes Memory Stick est basée sur des circuits de mémoire flash (EEPROM.).

La mémoire Memory stick possède de petites dimensions (21.5mm x 50.0mm x 2.8mm), équivalentes à celles d'une petite boîte d'allumettes, et pèse à peine 4 grammes.



L'accès aux données est réalisée par l'intermédiaire d'un connecteur latéral possédant 10 broches, permettant d'atteindre un taux de transfert de 14,4 Mb/s et jusqu'à 19.6 Mb/s en pointe.

Il existe deux types de cartes Memory Stick, la mémoire *Memory Stick* dite «normale» et la mémoire «Magic Gate» permettant la protection des fichiers protégés par droit d'auteur.

5.3.4. Les cartes Smart media

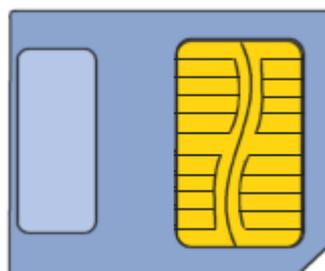
La mémoire **Smart media** est un type de carte mémoire créé par Toshiba et Samsung.

Son architecture est basée sur des circuits de mémoire flash (EEPROM.).

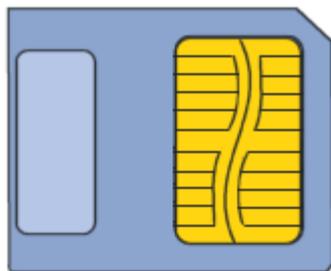
La mémoire Smart media possède de très petites dimensions (45.0mm x 37.0mm x 0.76mm), équivalentes à celles d'un timbre poste, et pèse à peine 2 grammes.

Il existe deux types de cartes SmartMedia possédant des voltages différents :

- Les cartes Smart media 3,3V possèdent une encoche à droite



- Les cartes Smart media 5V possèdent une encoche à gauche



L'accès aux données est réalisé par l'intermédiaire d'une puce possédant 22 broches. Quelle que soit la capacité de la carte Smart media, les dimensions et l'emplacement de la puce sont les mêmes.

Le temps d'accès à la mémoire est d'environ 25 μ s pour le premier accès et de cycles de 50 ns pour les suivants.

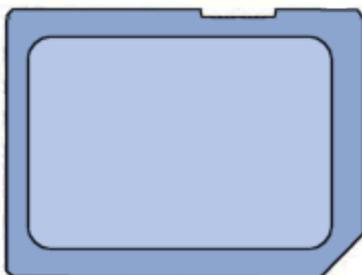
Il existe des adaptateurs permettant d'insérer une carte Smart media dans un emplacement PCMCIA, afin de permettre le transfert des données directement d'une carte Smart media vers un ordinateur portable.

5.3.5. Les cartes MMC (*MultimediaCard*)

La mémoire **Multimedia Card** (notée *MMC*) est un type de carte mémoire créé conjointement par *SanDisk* et *Siemens* en novembre 1997.

Son architecture est basée sur une combinaison de mémoire morte (ROM) pour les applications en lecture seule et de mémoire flash pour les besoins en lecture/écriture.

La mémoire MMC possède de très petites dimensions (24.0mm x 32.0mm x 1.4mm), équivalentes à celles d'un timbre poste, et pèse à peine 2.2 grammes.



Il existe deux types de cartes MMC possédant des tensions d'alimentation différentes :

- Les cartes MMC 3.3V, possédant une encoche à gauche
- Les cartes MMC 5V, possédant une encoche à droite

L'accès aux données est réalisée par l'intermédiaire d'un connecteur latéral possédant 7 broches, permettant d'atteindre un taux de transfert de 2 Mb/s, et potentiellement jusqu'à 2,5 MB/s. Ici encore, la faiblesse des débits cantonne son utilisation à des applications grand public à fort taux de compression...

5.3.6. Les cartes xD picture card

La mémoire **xD Picture** (pour *eXtreme Digital*) est un type de carte mémoire créé par Fuji et Olympus en août 2002.

L'architecture des cartes xD est basée sur des circuits de mémoire flash (EEPROM) de type NAND.

La mémoire xD picture card possède de très petites dimensions (20.0mm x 25.0mm x 1.7mm), plus petites que celles d'un timbre poste, et pèse à peine 2 grammes.



L'accès aux données est réalisée par l'intermédiaire d'un connecteur latéral possédant 18 broches, permettant d'atteindre un taux de transfert de 1.3 Mb/s et potentiellement jusqu'à 3 MB/s en écriture et d'environ 5 Mb/s en lecture.

Les cartes xD Picture sont prévues pour atteindre, à terme, une capacité de 8 Go.

5.3.7. Les cartes P2

5.3.7.1. Historique de la technologie P2

Panasonic, société du groupe Panasonic Corporation, a toujours été à la pointe du développement de technologies de capture et de stockage d'images fixes ou mobiles. Tout le monde connaît aujourd'hui les cartes « SD », ces cartes de stockage numérique qui équipent la grande majorité des appareils photo actuels. La carte SD a été développée par Panasonic et à su s'imposer très largement sur le marché à la différence d'autres standards, au point de représenter aujourd'hui plus de 70% du marché mondial de la carte mémoire.

En 2004, Panasonic a présenté pour la première fois le concept d'une chaîne de télévision sans cassettes ou le support de stockage des images et du son était totalement dématérialisé. Ce concept, baptisé P2, est devenu non seulement une réalité mais un standard, utilisé dans plus de 600 chaînes de télévisions dans le monde, dont plus de 120 en Europe.

Au cœur de la technologie P2 se trouve la carte mémoire P2. Elle est basée sur la technologie des cartes SD, dans une déclinaison professionnelle adaptée au marché de la vidéo broadcast et professionnelle. La technologie P2, s'appuyant sur la technologie de stockage sur carte mémoire la plus populaire au monde, offre une base sérieuse et une grande pérennité.

Le terme « P2 » se rapporte uniquement à la dénomination de cette technologie d'enregistrement de signaux audio et vidéo sur une carte mémoire professionnelle. Par abus de langage, il est courant d'entendre des utilisateurs appeler « P2 » leur caméra sur carte mémoire, notamment la première génération de caméras de poing P2 (référence : AG-HVX200). Cependant, il existe aujourd'hui toute une gamme de caméras utilisant la technologie P2, et l'appellation « P2 » pour désigner la caméra AG-HVX200 a tendance à disparaître.

Les premières « briques » de l'environnement P2 ont été des caméras développées pour l'enregistrement sur cartes mémoire. Les avantages apportés par cette technologie sont très nombreux. Tout d'abord, la suppression de pièces mécaniques mobiles dans la caméra la rend beaucoup moins sensible aux vibrations, chocs, variations de température et plus généralement à toutes perturbations émanant de l'environnement de tournage. Les caméras P2 sont donc particulièrement adaptées à toutes les applications terrains, même les plus extrêmes. Cette simplification des parties purement mécaniques rend également les caméras P2 plus robustes : elles ne sont virtuellement plus sensibles à des problèmes de réglage, d'usure de têtes, de casse en général. Autres avantages inhérents à une mécanique plus légère : le poids de la caméra et sa consommation électrique en sont réduits : deux points très positifs et très appréciés des utilisateurs, notamment pour des caméras d'épaule. Le tournage en est facilité par rapport à une caméra traditionnelle grâce à une fatigue moins prononcée, une plus grande mobilité et une autonomie accrue.

Dans un environnement où les supports traditionnels tendent rapidement à disparaître au profit de flux de production entièrement informatisés, le P2 prend tout son sens dans les milieux de production audiovisuelle actuels. Le P2 a été conçu pour travailler dès la prise de vue dans un environnement informatique afin de pouvoir intégrer directement les images tournées dans la

chaîne informatique, qui couvre aujourd'hui l'ensemble des postes, de l'acquisition des images à la post-production en passant par la diffusion et l'archivage. Avec le P2, on dispose maintenant d'une chaîne à 100% informatisée et donc optimisée au maximum.

5.3.7.2. Principaux avantages de la technologie P2

- Poids et consommation réduits : les caméras P2 sont plus légères et consomment moins que des caméras embarquant une technologie mécanique comme l'entraînement de bande magnétique.
- Robustesse et fiabilité : les caméras P2, de part l'absence de pièces mécaniques en mouvement, sont plus robustes, moins sensibles au chocs, aux vibrations et aux variations de température. La fiabilité générale des produits P2 est en nette progression par rapport à des produits utilisant des supports d'enregistrement traditionnels.
- Support permettant de stocker différents types de formats et de codecs : il est possible de mélanger plusieurs types de médias sur une même carte
- Un seul type de support pour toute la gamme de caméras P2 : la même carte P2 peut être utilisée dans toutes les caméras et périphériques P2 de la gamme, contrairement à des supports traditionnels comme la bande magnétique, qui est liée au format utilisé
- Montage vidéo direct : il est possible de monter (post-production) les images tournées directement à partir des cartes mémoires, sans transfert des médias préalable
- Transferts de données rapide : transférer les données contenues sur une carte se fait comme un transfert de fichiers informatique, ce qui est bien plus rapide que sur une bande vidéo par exemple, où il faut lire la bande en temps réel pour faire l'acquisition ou la numérisation des images.

5.3.7.3. Principales fonctionnalités apportées par la technologie P2

Les fonctionnalités liées à l'enregistrement des données en lui-même bénéficient également de la technologie P2 :

- L'enregistrement instantané : un autre avantage des cartes mémoires. Le temps de réponse à l'enregistrement est beaucoup plus court qu'avec des enregistreurs à bande ou à disque optique. L'enregistrement est possible quelques secondes seulement après la mise sous tension.
- Le Pre-Rec (pré-enregistrement): il est possible d'enregistrer plusieurs secondes avant l'enclenchement physique du bouton d'enregistrement grâce à la mémoire tampon de la caméra, qui enregistre en boucle les images et dont le contenu est transféré sur la carte mémoire au moment du déclenchement de l'enregistrement.
- Protection des données : Les cartes P2 n'enregistrent que dans des emplacements vides, il n'y a aucun risque d'écraser accidentellement les données. La carte P2 peut également être verrouillée en fin de tournage afin d'y interdire toute modification et toute action hormis la lecture et la copie des fichiers.
- Echange de cartes à chaud : une carte P2 pleine peut être remplacée par une carte vide tout en continuant l'enregistrement sur une autre carte (il est possible d'insérer plusieurs cartes simultanément dans une caméra P2). Le remplacement successif des cartes apporte une capacité d'enregistrement virtuellement illimitée.
- Enregistrement en boucle : il est possible d'enregistrer en boucle sur une ou plusieurs cartes, les données étant à ce moment écrasées au fur et à mesure des cycles d'écriture.
- Enregistrement à vitesse variable (mode Varicam) : En mode 720p, le mode de capture d'image peut être sélectionné parmi 11 vitesses choisies entre 12 et 60 i/s. Ceci permet de créer des effets de ralenti et d'accélération directement à la captation. Le fichier est reconnu en

25p (lorsque la caméra est en mode 50 Hz) même si la fréquence d'image utilisée lors de la captation était de 50 i/s par exemple, ce qui permet de relire directement le clip avec la variation de vitesse désirée.

- Accès direct et instantané aux media : possibilité d'exploiter directement les fichiers sans transfert préalable, relecture des clips plus aisée.
- Transfert simple et rapide des données, sur tout ordinateur de type Mac ou PC avec des interfaces peu onéreuses et standard telles que l'USB 2.0, le Firewire IEEE1394, le eSATA...

5.3.7.4. La carte mémoire P2

Au cœur des systèmes P2 se trouve la carte mémoire P2. Basée sur la technologie des cartes SD, elle utilise un boîtier compact et extrêmement robuste ainsi qu'une électronique spécifique permettant de tirer un débit maximal des 4 cartes SD embarquées. La technologie P2, aujourd'hui présentée sous la forme d'une carte mémoire, peut être transférée dans n'importe quel type de boîtier ou de périphérique, garantissant sa pérennité et son adaptation à de nouveaux types d'environnement de production. La carte P2 peut être considérée comme un stockage informatique et utilise un formatage de type FAT32, qui permet de l'utiliser sur n'importe quel type d'ordinateur PC ou Mac et avec plusieurs types de système d'exploitation.

Les cartes P2 sont extrêmement fiables, y compris dans les environnements les plus difficiles. Elles résistent à des chocs de 1500G et à des vibrations de 15G, fonctionnent à des températures comprises entre -20° et +60° et peuvent être stockées à des températures entre -40° à +80°. Le connecteur des cartes a quant à lui été conçu pour plus de 30 000 insertions/extractions.



5.3.7.5. Caractéristiques des cartes P2

- Carte à mémoire solide (« solid state memory ») développée pour des environnements professionnels
- Enregistre des fichiers MXF au format DV, DVCPRO, DVCPRO50 et DVCPROHD et AVC-INTRA compatibles avec l'ensemble des outils de post-production : gamme Avid, Apple Final Cut Pro, Grass Valley Canopus EDIUS, Adobe Premiere, gamme Quantel...
- Concept basé sur les cartes SD, standard mondial du stockage sur carte mémoire
- Consommation de 1,5W
- Capacité d'une carte : de 16GB à 64 GB
- Débit informatique : jusqu'à 1.2 Gb/s par carte
- Temps d'accès : moins de 1 ms
- Environnement d'utilisation : -20° à +60° (en utilisation), -40° à +80° (en stockage)
- Résistance : 1500 g (chocs), 15 g (vibrations), 15 kV (électricité statique), 140kV@5m (Rayons X)
- Une carte P2 peut être utilisée dans tout type de caméscope P2 de la gamme Panasonic

5.3.7.6. Technologie P2, codecs et formats d'enregistrement

Lorsque l'on parle de la technologie P2, il faut distinguer 4 éléments : la technologie d'enregistrement sur carte mémoire (le « P2 »), les formats d'enregistrement (par exemple : 1080i / 50, 720p25 etc...), les codecs d'enregistrement (par exemple : DVCPRO50, DV etc...) et l'encapsulation du fichier informatique (le fichier avec une extension MXF par exemple). Ainsi, une caméra P2 utilise un codec (un système de codage de l'information) et un format vidéo (résolution et fréquence d'image), pour créer un fichier informatique MXF (contenant toutes les informations audio/vidéo codées) qui sera quant à lui stocké sur une carte mémoire (de type P2) dans le but d'être exploité par un ordinateur ou un périphérique P2.

Les fichiers vidéo enregistrés sur la carte P2 peuvent être stockés indifféremment en DV, DVCPRO, DVCPRO50 et DVCPROHD ou encore AVC-INTRA. Plusieurs formats et codecs peuvent cohabiter sur la même carte, sans aucune limitation. Les équipements P2 enregistrent les médias en fichiers MXF (Media Exchange File) de type OP ATOM sur les cartes P2. Ceux-ci sont accessibles instantanément à partir de n'importe quel ordinateur fixe ou portable. Panasonic a choisi le MXF, qui est un standard reconnu du marché Broadcast, dans une volonté d'ouverture et d'intégration avec les autres éléments de la chaîne comme les systèmes de post-production et de diffusion.

Format	Codage			Debit	Post prod.	Diffusion	Temps (pour une carte de 64 Go)
	Echantillonnage	Quantification	Résolution				
DV ou DVCAM	4:2:0	8 bits	720x576	25 Mb/s	-	+	341 min
	compression intra-image type DV						
DVCPRO (ou DVCPRO 25)	4:1:1	8 bits	720x576	25 Mb/s	+	-	341 min
	compression intra-image type DV						
DVCPRO 50	4:2:2	8 bits	720x576	50 Mb/s	++	++	170 min
	compression intra-image type DV						
DVCPRO HD (ou DVCPRO 100)	4:2:2	8 bits	1440x1080 ou 1280x720	100 Mb/s	++	++	85 min
	compression intra-image type DV						
AVC-Intra 50	4:2:0	8 bits	1440x1080 ou 1280x720	50 Mb/s	+	++	170 min
	compression intra-image type H264						
AVC-Intra 100	4:2:2	10 bits	1920x1080 ou 1280x720	100 Mb/s	++	++	64 min
	compression intra-image type H264						
Pour mémoire							
HD non copressé	22:22:22	10 bits	1920x1080	1,54 Gb/s	+++	+++	6 min

5.3.7.7. Flux de production

Grâce au P2, l'information circule plus rapidement, tout en supprimant les contraintes liées au support (temps de numérisation, dégradation, volume de stockage etc...).

Avec la technologie P2, l'utilisateur est directement plongé dans un environnement informatique dès la prise de vue, ce qui lui permet d'être relié au mieux au reste de la chaîne et d'intégrer sans effort ses images dans des environnements de post-production et de diffusion.

Les différents niveaux de la technologie P2, c'est à dire la carte mémoire physique, l'encapsulation des fichiers, les formats vidéo ainsi que les codecs de compression, sont reconnus et compatibles avec de nombreux outils de production, de post-production et de diffusion du marché.

On peut par exemple citer en post-production : la gamme AVID, Apple Final Cut Pro, Grass Valley Canopus EDIUS, Adobe Premiere, la gamme Quantel...

Et en diffusion : les serveurs Omneon, EVS, DVS...

6. Comparatifs de quelques supports

Support/ Technologie	Capacité (Go)	Prix/ Go	Temps d'accès	Taux de transfert
Disquette (3,5")	0,001	300 €		
Cd-rom	0,65	5 €		
Zip 100 (disque amovible)	0,1	100 €	29 ms	1,4 Mo/ s
Peerless (disque amovible)	5 à 20	30 €	12 ms	7 Mo/ s
Syquest (disque amovible)	5	46 €	12 ms	10 Mo/ s
Exabyte (bande magnétique)	7	3 €		
DV-Cam (Bande magnétique)	32 min, soit 7,8 Go environ	1,6 □	Long...	4,05 Mo/s
Disque dur (3,5 ")	80	2 €	9 ms	200 Mo/ s suivant bus
DAT (194 min)	2,1	3 €		1 Mo/ s

Exemple de calcul de capacité, connaissant la durée d'enregistrement et le format

La capacité de la cassette DAT peut se faire au moyen du calcul suivant, en prenant le cas d'une utilisation en mode I (2 pistes, avec une fréquence d'échantillonnage de 48 kHz, sur 16 bits) :

Nombre de bits utilisés pour 1 seconde d'enregistrement :

$$2 \times 48000 \times 16 = 1\,536\,000 \text{ bits/s.}$$

Nombre de bits stockés sur toute la cassette :

$1\,536\,000 \times 194 \times 60 = 17\,879\,040\,000$ bits, soit en octets, $2\,234\,880\,000$ octets (une division par 8 est nécessaire).

Ce nombre correspond à 2182500 Ko, ou 2131,35 Mo ou encore 2,1 Go, sans aucune compression.