

Les Disques Durs



HELHO 2^{ème} Informatique
Cours de périphérique
Mme Buseyne

Table des matières

| | |
|---------------------------------------------------------|----|
| Définition et principe de fonctionnement..... | 4 |
| Historique..... | 4 |
| Etude materielle..... | 9 |
| Les plateaux..... | 9 |
| Tête de lecture/écriture..... | 9 |
| Le Boîtier..... | 10 |
| Interfaces..... | 10 |
| Modes DMA..... | 11 |
| Ultra DMA..... | 11 |
| Les normes ATA..... | 12 |
| ATA-1..... | 12 |
| ATA-2..... | 12 |
| ATA-3..... | 13 |
| ATA-4..... | 13 |
| ATA-5..... | 13 |
| ATA-6..... | 13 |
| ATA-7..... | 14 |
| Structure physique d'un disque dur..... | 15 |
| Le système RAID | 17 |
| Concepts..... | 17 |
| Concaténation..... | 17 |
| Agrégation par bandes (striping)..... | 17 |
| Miroitage (mirroring)..... | 18 |
| Parité et redondance..... | 18 |
| Les différents niveaux de RAID..... | 18 |
| RAID 0: volume agrégé par bandes..... | 18 |
| RAID 1:miroitage des disques..... | 19 |
| RAID 2 : volume agrégé par bandes à parité..... | 20 |
| RAID 3 et RAID 4..... | 20 |
| RAID 5: volume agrégé par bandes à parité répartie..... | 20 |
| RAID 6..... | 22 |
| Les niveaux RAID combinés..... | 22 |
| Le RAID, Logiciel ou matériel ?..... | 23 |
| Le formatage..... | 24 |
| Definition..... | 24 |
| Formatage de bas niveau..... | 24 |
| Somme de contrôle..... | 25 |
| Formatage de haut niveau..... | 25 |
| Le partitionnement..... | 25 |
| Les systèmes de fichiers..... | 26 |
| Bibliographie..... | 27 |

Définition et principe de fonctionnement

Le disque dur est un périphérique de stockage magnétique. Il a remplacé efficacement les tambours (aujourd'hui obsolètes) et les bandes, qui sont, néanmoins, encore utilisées pour l'archivage et la sauvegarde.

Inventé en 1956 par IBM, sa capacité a depuis fortement augmenté tandis que son encombrement a été tout aussi fortement réduit.

L'abréviation anglaise HDD signifie *Hard Disk Drive* : lecteur de disque dur.

Dans un disque dur, on trouve des plateaux rigides en rotation. Chaque plateau est constitué d'un disque réalisé généralement en aluminium, qui a les avantages d'être léger, facilement usinable et non magnétique.

Des technologies plus récentes utilisent le verre ou la céramique, qui permettent des états de surface encore meilleurs que ceux de l'aluminium. Les faces de ces plateaux sont recouvertes d'une couche magnétique, sur laquelle sont stockées les données. Ces données sont écrites en binaire sur le disque grâce à une tête de lecture/écriture, petite antenne très proche du matériau magnétique. Suivant le flux électrique qui traverse cette tête, elle modifie le champ magnétique local pour écrire soit un 1, soit un 0, à la surface du disque. Pour lire, c'est le même principe qui est utilisé, mais dans l'autre sens : le champ magnétique local engendre un flux électrique au sein de la tête qui dépend de la valeur précédemment écrite, on peut ainsi lire un 1 ou un 0.

Historique

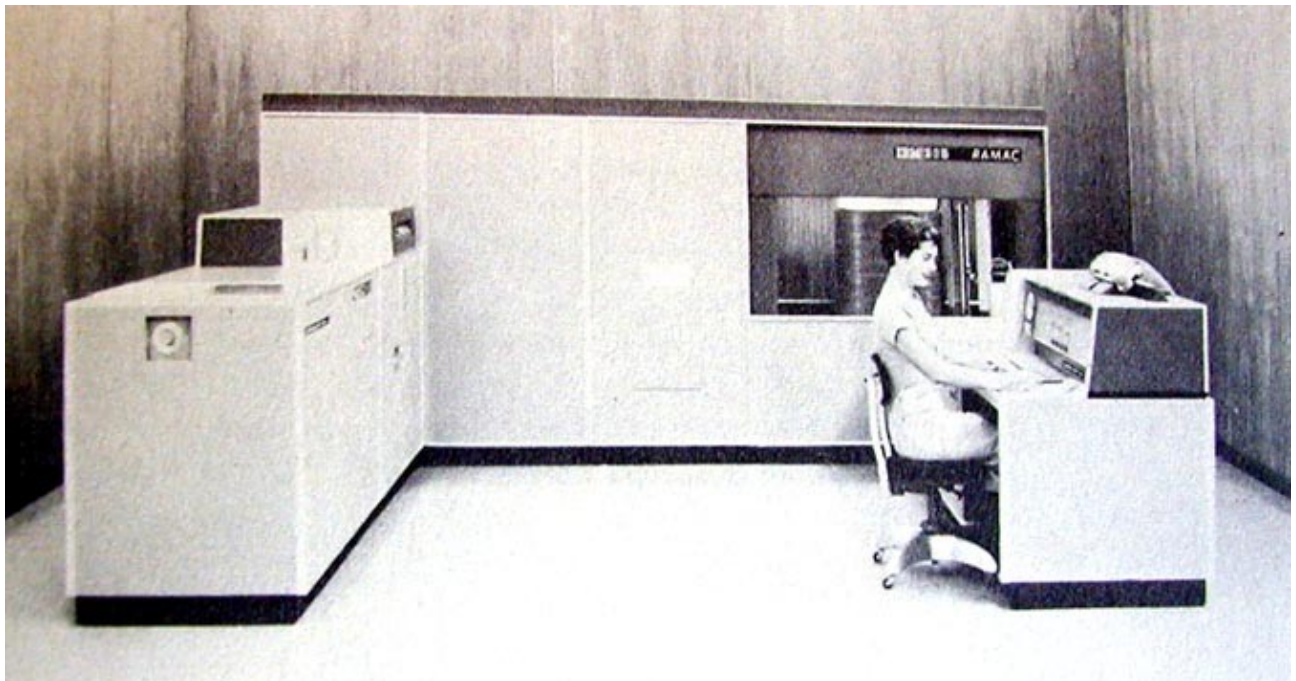
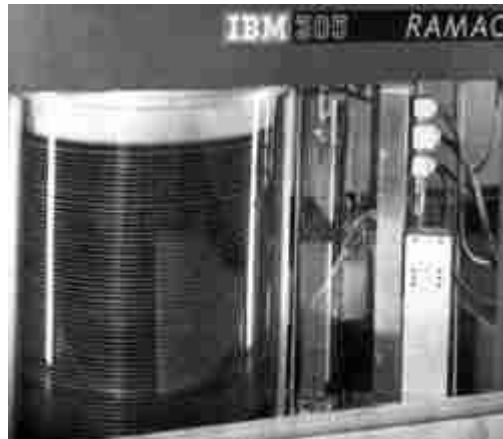
Les ingénieurs d'IBM n'étaient pas satisfaits des systèmes de stockage sur tambours magnétiques : l'efficacité volumétrique était très faible, les tambours occupaient beaucoup d'espace pour peu de capacité.

En 1953, un ingénieur récemment embauché eut l'idée de superposer des plateaux le long d'un axe et d'y adjoindre une tête de lecture/écriture mobile, située sur un axe parallèle à celui des plateaux. Cette tête venait s'insérer entre les plateaux pour lire les informations, mais devait se retirer complètement pour passer d'un plateau à un autre.

Un prototype fut construit avec une vitesse de rotation d'environ 1 000 tours/minute. À cette vitesse il était compliqué de maintenir les têtes au-dessus de la surface des plateaux. L'idée fut alors d'injecter de l'air sous-pression au travers de la tête de lecture, ce qui la maintenait au-dessus du plateau.

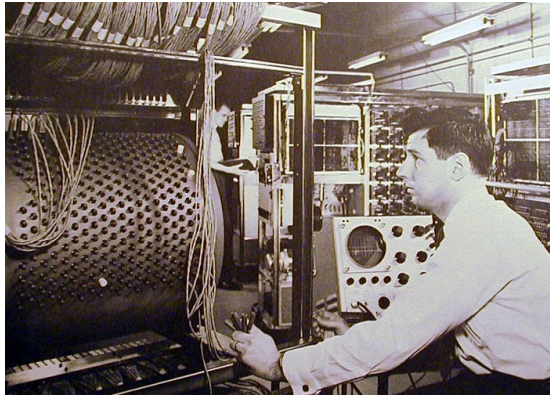
En 1955 le premier système de ce type a été dévoilé au public par IBM, il fut baptisé RAMAC (Random Access Method of Accounting and Control), modèle 305, et la production commerciale commença en juin 1957. Jusqu'à 1961 plus d'un millier d'unités furent vendues. Son prix : 10 000 dollars (de l'époque) par mégaoctet.

Le RAMAC 305 était constitué de 50 disques de 61 cm de diamètre, deux têtes de lecture/écriture qui pouvaient se déplacer d'un plateau à un autre en moins d'une seconde. La capacité totale de 5Mo.



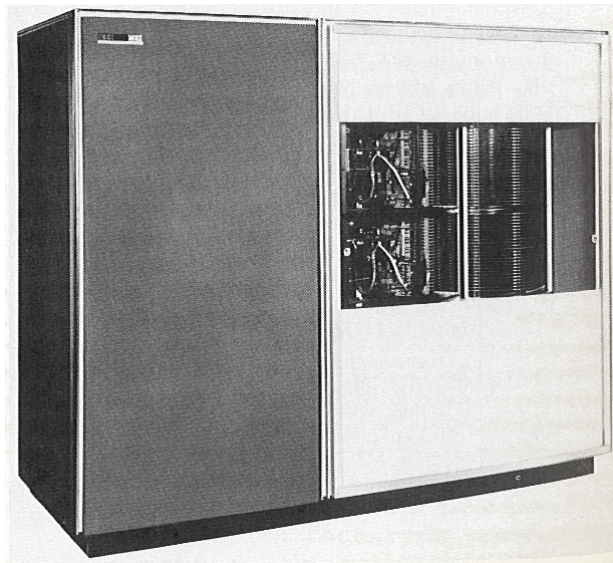
RAMAC 500 d'IBM. 5Mo

À noter que le RAMAC avait déjà un concurrent : le Univac File Computer, composé de 10 tambours magnétiques chacun d'une capacité de 180 Ko. Malgré une vitesse supérieure, c'est le RAMAC, qui pouvait stocker trois fois plus d'informations, qui avait le rapport coût/performance le plus intéressant pour le plus grand nombre d'applications.



Univac File Computer. 180 Ko

En juin 1954 J. J. Hagopian, ingénieur IBM, a l'idée de faire « voler » les têtes de lecture/écriture au dessus de la surface des plateaux, sur un coussin d'air. Il propose le design de la forme de ces têtes. En septembre 1954 il dessine l'équivalent des disques durs actuels : des plateaux superposés et un axe sur lequel sont fixées les têtes de lecture/écriture. Cela deviendra un produit commercial en 1961 sous la dénomination « IBM 1301 Disk Storage ».



Fin 1969 trois ingénieurs réfléchissent à ce qui pourrait être pour eux le système disque idéal. Ils tombent d'accord sur un modèle composé de deux disques de 30 Mo chacun, l'un amovible, l'autre fixe. « 30 - 30 » donc, qui est aussi un modèle de carabine Winchester. Le nom est resté, et encore aujourd'hui un disque Winchester désigne un disque dur non amovible (soit quasiment tous les disques produits aujourd'hui).

La tête de lecture était soulevée par un film d'air d'une épaisseur de seulement 0.43 μm . Sa capacité accrue par rapport au RAMAC ainsi que sa taille et son poids réduits firent de ce disque le nouveau standard de périphérique de stockage à accès direct.



IBM 3340 "Winchester"

Six ans après l'IBM 3340, soit en 1979, les avancées technologiques permettent aux fabricants de réduire l'altitude à 330 nm. Ce fut pour l'époque un défi technologique certain qui revenait, nous dit-on, à faire voler un 747 à 1 mm du sol. Aujourd'hui l'épaisseur entre le plateau et la tête est généralement comprise entre 8 et 12 nm.

Parallèlement aux changements de matériaux, les disques durs se miniaturisent. En 1979, sort le premier disque dur utilisant des plateaux de près de 20 cm de diamètre. Cette réduction constante du diamètre des plateaux permet de faire passer le disque dur de l'ère de l'ordinateur central, à celle du PC. Car dans le même temps, IBM sort son tout premier micro-ordinateur. C'était en 1975 et à l'époque la machine ne disposait pas de disque dur. Il faudra attendre 1983 pour que le premier PC soit pourvu d'un disque dur.

En 1982, Hitachi lance un disque dur assez exceptionnel pour l'époque : le H8598. Il s'agit du tout premier disque dur à atteindre le gigaoctet avec une capacité de 1,2 Go. Le H8598 est à l'époque composé de dix plateaux de 14 pouces et de deux têtes de lecture/écriture. Deux années auparavant, le premier disque dur 5"1/4 faisait son apparition et offrait un espace de stockage de 5 Mo ! Il faudra attendre 1985 pour voir apparaître le premier disque dur au format 3"1/2 qui aujourd'hui encore reste le format standard. A cette époque, la capacité moyenne des disques durs est de 10 Mo. Quelques années plus tard, en 1991, apparaissent les premiers disques durs 2"1/2 avec la naissance du marché des ordinateurs portables.

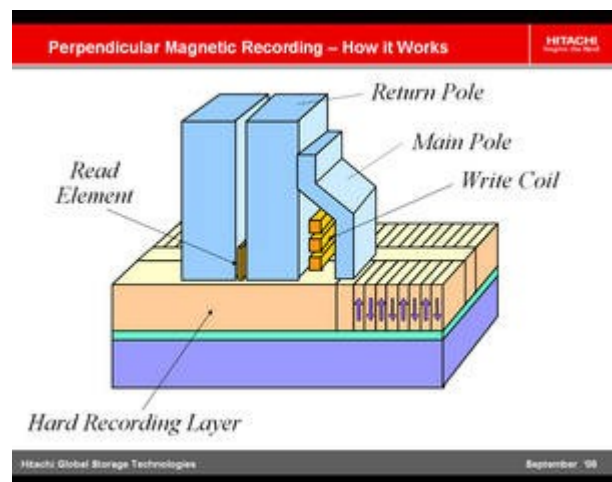
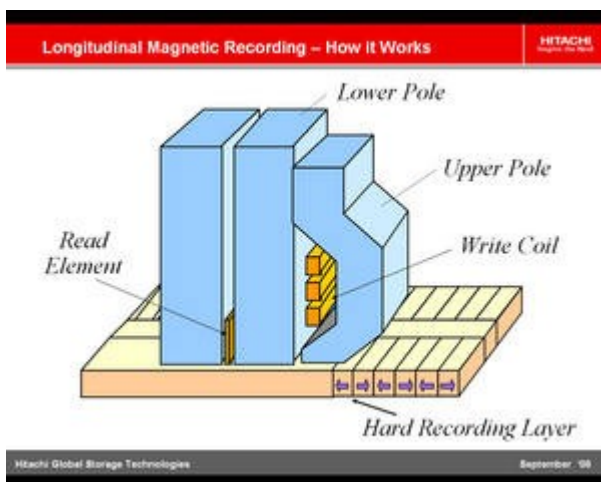
Afin d'accompagner la miniaturisation des disques, de nouvelles têtes de lecture/écriture dites magnétorésistives apparaissent en 1991 pour permettre d'augmenter la densité sans toucher au format du disque. C'est une fois de plus IBM qui met en place cette technologie, et ce, dès 1997, avec pour résultat la poursuite de la course à la densité.

En 1999 IBM, encore lui, sort le MicroDrive : il s'agit du premier disque dur dont le diamètre est de 1 pouce. Plus petit qu'une boîte d'allumettes, le MicroDrive stockait à l'époque 340 Mo. Moins après mois, IBM a fait évoluer son MicroDrive afin de corriger son principal défaut, sa fragilité. Les ingénieurs de la firme inversent ainsi la position du plateau pour améliorer la résistance aux chocs tout en améliorant la densité et en réduisant la consommation électrique. En rachetant l'activité disque dur d'IBM, le Nippon Hitachi a poursuivi les efforts engagés dans le développement des MicroDrive et ceux-ci atteignent aujourd'hui une capacité de 8 Go.

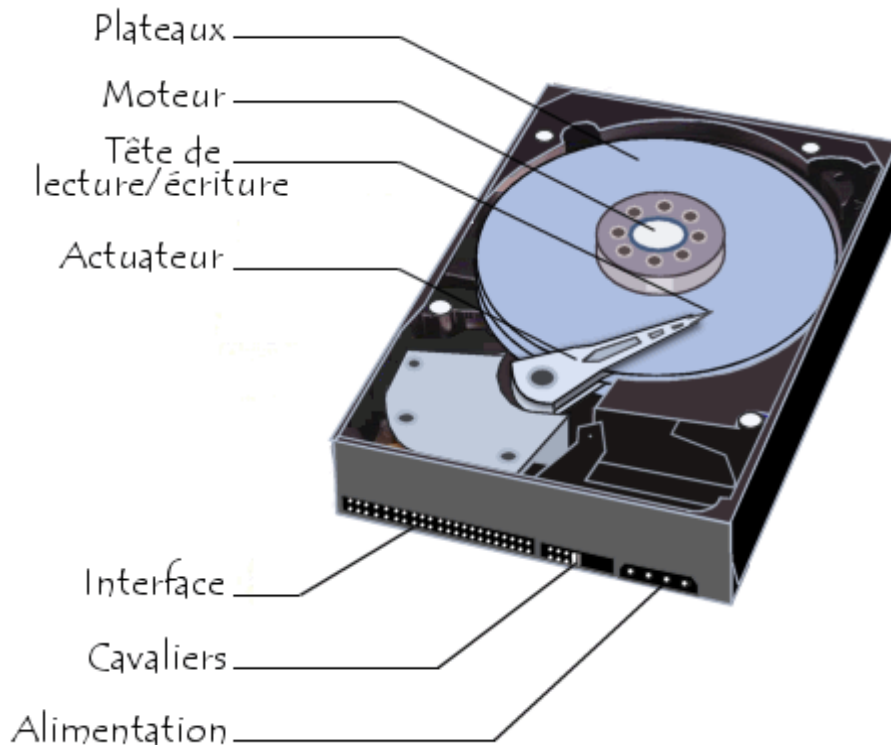


Microdrive 8 Go

Sur les dix prochaines années, la technologie PMR (Perpendicular Magnetic Recording), enregistrant les données de façon perpendiculaires et non plus horizontale, devrait permettre de multiplier par 50 la capacité de stockage. Hitachi évoque des disques de 25 Téraoctets pour 2016.



Etude materielle



Les plateaux

Élément principal, qui donne d'ailleurs son nom au disque dur, les plateaux sont solidairement fixé à un axe sur roulement à bille. Un moteur maintient une vitesse de rotation constante entre 3600 et 15 000 tour/minutes selon les disques.

Tête de lecture/écriture



Fixées au bout d'un bras, elles sont solitaires d'un second axe qui permet de les faire pivoter en arc de cercle sur la surface des plateaux. Toutes les têtes pivotent donc en même temps. Il y a une tête par surface. Leur géométrie leur permet de voler au-dessus de la surface du plateau sans le toucher : elles reposent sur un coussin d'air créé par la rotation des plateaux

Le moteur qui les entraîne doit être capable de fournir des accélérations et décélérations très importantes. Un des algorithmes de contrôle des mouvements du bras porte-tête est d'accélérer au maximum puis de freiner au maximum pour que la tête se positionne sur le bon cylindre. Il faudra ensuite attendre un court instant pour que les vibrations engendrées par le freinage s'estompent.

Si une ou plusieurs têtes entrent en contact avec la surface des plateaux, cela s'appelle un *atterrissage* et provoque le plus souvent la destruction des informations situées à cet endroit. Une imperfection sur la surface telle qu'une poussière aura le même effet. La mécanique des disques durs est donc assemblée en salle blanche et toutes les précautions (joints, etc.) sont prises pour qu'aucune impureté ne puisse pénétrer à l'intérieur du boîtier

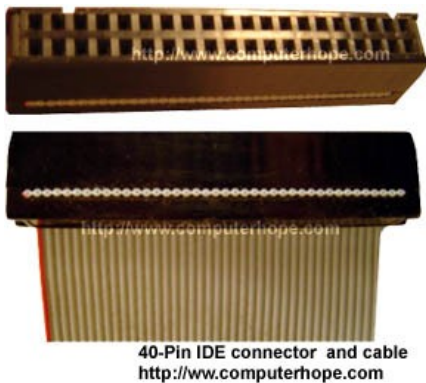
Le Boîtier

Un boîtier scellé protège les disques des agressions matérielles (comme les poussières) et magnétiques grâce au principe de la cage de Faraday. Lors de l'utilisation, la rotation des disques produit une légère surpression de l'air à l'intérieur de la chambre nécessaire aux têtes de lecture/écriture pour ne pas entrer en collision avec les plateaux. Le boîtier n'étant pas totalement étanche il permet un renouvellement de l'air tout en étant protégé à l'aide d'un filtre. Néanmoins, il convient d'éviter les atmosphères humides favorisant le développement de moisissures à l'intérieur du boîtier.

Interfaces

Il existe plusieurs types d'interface:

- *SMD* (Storage Module Device), très utilisée dans les années 1980, elle était principalement réservée pour les disques de grande capacité installés sur des serveurs.
- *ST506*, très utilisée au début de la micro-informatique dans les années 1980.
- *ESDI* (Enhanced Small Device Interface), a succédé au ST506, qu'elle améliore.



- L'interface IDE (ou *PATA* par opposition au *SATA*), la plus courante dans les machines personnelles jusqu'à récemment (2005), appelée aussi ATA (AT ATTACHMENT), à ne pas confondre avec S-ATA, cette dernière l'ayant remplacée.

IDE, acronyme de *Integrated Drive Electronics*, a été mis au point le 12 mai 1994 par l'ANSI. Prévu à la base pour la connexion des disques durs il a été développé afin de permettre l'utilisation d'autres périphériques de stockage comme le lecteur de CD-ROM, DVD-ROM, etc...



Nappe IDE

La nappe IDE, composée de 40 fils parallèles, est dotée (en général) de trois connecteurs. Par convention, un bleu destiné à être connecté sur la carte mère, un noir et un gris pour recevoir deux périphériques de stockage, l'un en maître, l'autre en esclave. Les périphériques sont identifiés à l'aide d'un cavalier. Il est intéressant de remarquer qu'il n'existe pas une réelle hiérarchie entre les disques, les cavaliers ne servent qu'à assurer une bonne cohésion entre deux systèmes utilisant la même nappe pour envoyer et recevoir des données.

Modes PIO

La transmission des données se fait grâce à un protocole appelé **PIO** (*Programmed Input/Output*) permettant aux périphériques d'échanger des données avec la mémoire vive à l'aide de commandes gérées directement par le processeur. Toutefois, de gros transferts de données peuvent rapidement imposer une grosse charge de travail au processeur et ralentir l'ensemble du système. Il existe 5 modes PIO définissant le taux de transfert maximal :

| Mode PIO | Débit (Mo/s) |
|----------|--------------|
| Mode 0 | 3.3 |
| Mode 1 | 5.2 |
| Mode 2 | 8.3 |
| Mode 3 | 11.1 |
| Mode 4 | 16.7 |

Modes DMA

La technique du **DMA** (*Direct Memory Access*) permet de désengorger le processeur en permettant à chacun des périphériques d'accéder directement à la mémoire. On distingue deux types de modes DMA :

- Le DMA dit "single word" (en français *mot simple*) permettant de transmettre un mot simple (2 octets soient 16 bits) à chaque session de transfert,
- Le DMA dit "multi-word" (en français *mots multiples*) permettant de transmettre successivement plusieurs mots à chaque session de transfert.

Le tableau suivant liste les différents modes DMA et les taux de transfert associés :

| Mode DMA | Débit (Mo/s) |
|------------------------|--------------|
| 0 (Single word) | 2.1 |
| 1 (Single word) | 4.2 |
| 2 (Single word) | 8.3 |
| 0 (Multiword) | 4.2 |
| 1 (Multiword) | 13.3 |
| 2 (Multiword) | 16.7 |

Ultra DMA

Le standard ATA est à l'origine basé sur un mode de transfert asynchrone, c'est-à-dire que les envois commandes et les envois de données sont cadencés à la fréquence du bus et se font à chaque **front montant** (en anglais *rising edge*) du signal de l'horloge (*strobe*). Toutefois les envois des données et des commandes ne se font pas simultanément, c'est-à-dire qu'une commande ne peut être envoyée tant que la donnée n'a pas été reçue et inversement.

Pour augmenter le taux de transfert des données il peut donc sembler logique d'augmenter la fréquence du signal d'horloge. Toutefois sur une interface où les données sont envoyées en parallèle l'augmentation de la fréquence pose des problèmes d'interférence électromagnétiques.

Ainsi l'**Ultra DMA** (parfois noté **UDMA**) a été pensé dans le but d'optimiser au maximum l'interface ATA. La première idée de l'Ultra DMA consiste à utiliser les front montants ainsi que les fronts descendants (*falling edges*) du signal pour les transferts soit un gain de vitesse de 100% (avec un débit passant de 16.6 Mo/s à 33.3 Mo/s). De plus l'**Ultra DMA** introduit l'utilisation de codes CRC pour détecter les erreurs de transmission. Ainsi les différents modes Ultra DMA définissent la fréquence de transfert des données. Lorsqu'une erreur est rencontrée (lorsque le CRC reçu ne correspond pas aux données) le transfert passe dans un mode Ultra DMA inférieur, voire sans Ultra DMA.

| Mode Ultra DMA | Débit (Mo/s) |
|------------------------|--------------|
| UDMA 0 | 16.7 |
| UDMA 1 | 25.0 |
| UDMA 2 (Ultra-ATA/33) | 33.3 |
| UDMA 3 | 44.4 |
| UDMA 4 (Ultra-ATA/66) | 66.7 |
| UDMA 5 (Ultra-ATA/100) | 100 |
| UDMA 6 (Ultra-ATA/133) | 133 |

A partir de l'Ultra DMA mode 4 un nouveau type de nappe a été introduit afin de limiter les interférences ; il s'agit d'une nappe ajoutant 40 fils de masse (soit un total de 80), entrecalés avec les fils de données afin de les isoler et possédant les mêmes connecteurs que la nappe de 40 fils.

Les normes ATA

Le standard ATA se décline en plusieurs versions, ayant vu le jour successivement :

ATA-1

Le standard **ATA-1**, connu sous le nom de IDE, permet la connexion de deux périphériques sur une nappe de 40 fils et propose une transmission 8 ou 16 bits avec un débit de l'ordre de 8.3 Mo/s. **ATA-1** définit et supporte les *modes PIO (Programmed Input/Output)* 0, 1 et 2 ainsi que le **mode DMA multiword (Direct Memory Access)** 0.

ATA-2

Le standard **ATA-2**, connu sous le nom de **EIDE** (parfois **Fast ATA**, **Fast ATA-2** ou **Fast IDE**), permet la connexion de deux périphériques sur une nappe de 40 fils et propose une transmission 8 ou 16 bits avec un débit de l'ordre de 16.6 Mo/s.

ATA-2 permet le support des **modes PIO** 0, 1, 2, 3 et 4 et **modes DMA multiword** 0, 1 et 2. De plus, ATA-2 définit permet de repousser la limite de la taille maximale de disque de 528 Mo imposée par la norme ATA-1 à 8.4 Go grâce au **LBA** (*Large Block Addressing*).

ATA-3

Le standard **ATA-3** (également appelé *ATA Attachment 3 Interface*) représente une révision mineure de l'ATA-2 (avec une compatibilité descendante) et fut publié en 1997 sous le standard X3.298-1997. Le standard ATA-3 apporte les améliorations suivantes :

- Fiabilité améliorée : L'ATA-3 permet d'augmenter la fiabilité des transferts à haute vitesse.
- Le **S.M.A.R.T** (*Self-Monitoring Analysis and Reporting Technology*, traduisez *Technologie d'auto surveillance, d'analyse et de rapport*) : il s'agit d'une fonction destinée à améliorer la fiabilité et à prévenir les pannes.
- Fonction de sécurité : les périphériques peuvent être protégés à l'aide d'un mot de passe ajouté dans le **BIOS**. Au démarrage de l'ordinateur, celui-ci vérifie que le mot de passe codé dans le BIOS correspond à celui stocké sur le disque. Cela permet notamment d'empêcher l'utilisation du disque sur une autre machine.

ATA-3 n'introduit pas de nouveau mode mais supporte les *modes PIO* 0, 1, 2, 3 et 4 ainsi que les **modes DMA** 0, 1 et 2.

ATA-4

Le standard **ATA-4**, ou **Ultra-ATA/33**, a été défini en 1998 sous sous le standard ANSI NCITS 317-1998. ATA-4 modifie le mode LBA afin de porter la capacité maximale des disques à 128 Go.

En effet, le mode LBA permet un adressage codé par un nombre binaire de 28 bits. Or chaque secteur représente 512 octets, ainsi la capacité maximale exacte d'un disque dur en mode LBA est la suivante :

$$2^{28} * 512 = 137\ 438\ 953\ 472 \text{ octets}$$
$$137\ 438\ 953\ 472 / (1024 * 1024 * 1024) = 128 \text{ Go}$$

ATA-5

En 1999 le standard **ATA-5** définit deux nouveaux modes de transfert : **Ultra-DMA mode 3 et 4** (le mode 4 est aussi appelé *Ultra ATA/66* ou *Ultra DMA/66*) De plus il propose la détection automatique du type de nappes utilisées (80 ou 40 fils).

ATA-6

Depuis 2001 **ATA-6** définit le support de l'**Ultra DMA/100** (aussi appelé *Ultra DMA mode 5* ou *Ultra-ATA100*) permettant d'atteindre des débits théoriques de 100 Mo/s.

D'autre part ATA-6 définit une nouvelle fonctionnalité, appelée *Automatic Acoustic Management* (**AAM**), permettant d'ajuster automatiquement la vitesse d'accès aux disques supportant cette fonction afin d'en réduire le bruit de fonctionnement.

Enfin, la norme ATA-6 permet un mode d'adressage des secteurs du disque dur sur 48 bits, appelé LBA48 (Logical Block Addressing 48 bits). Grâce au LBA48, il est possible d'utiliser des disques durs de 2^{48} secteurs de 512 octets, soit une capacité de maximale de 2 Péta-octets.

ATA-7

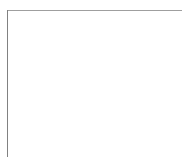
ATA-7 définit le support de l'**Ultra DMA/133** (aussi appelé *Ultra DMA mode 6* ou *Ultra-ATA133*) permettant d'atteindre des débits théoriques de 133 Mo/s.

- *SCSI* (Small Computer System Interface), plus chère, mais offrant des performances supérieures. Toujours utilisée et améliorée (passage de 8 à 16 bits notamment, et augmentation de la vitesse de transfert, normes SCSI-1, SCSI-2, SCSI-3).
- *SAS* (Serial Attached SCSI), combine les avantages du SCSI avec ceux du Serial ATA (elle est compatible avec cette dernière).
- *Serial ATA* (ou S-ATA), est une interface série, peu coûteuse et plus rapide qu'ATA (normes SATA et SATA II), c'est la plus courante désormais.

Le standard **Serial ATA** (*S-ATA* ou **SATA**) est un bus standard permettant la connexion de périphériques de stockage haut débit sur les ordinateurs de type PC.

Le standard Serial ATA est apparu en février 2003 afin de pallier les limitations de la norme ATA (plus connue sous le nom "*IDE*" et rétro-activement appelée *Parallel ATA*), qui utilise un mode de transmission en parallèle. En effet, le mode de transmission en parallèle n'est pas prévu pour supporter des fréquences élevées en raison des problèmes liés aux interférences électromagnétiques entre les différents fils.

Les câbles et périphériques à la norme S-ATA peuvent notamment être reconnu par la présence du logo suivant :



Le standard Serial ATA est basé sur une communication en série. Une voie de données est utilisée pour transmettre les données et une autre voie sert à la transmission d'accusés de réception. Sur chacune de ces voies les données sont transmises en utilisant le mode de transmission **LVDS** (*Low Voltage Differential Signaling*) consistant à transférer un signal sur un fil et son opposé sur un second fil afin de permettre au récepteur de reconstituer le signal par différence. Les données de contrôle sont transmises sur la même voie que les données en utilisant une séquence de bits particulière pour les distinguer.

Ainsi la communication demande deux voies de transmission, chacune effectuée via deux fils, soit un total de quatre fils pour la transmission.

Le câble utilisé par le Serial ATA est un câble rond composé de sept fils et terminé par un connecteur de 8 mm :



Trois fils servent à la masse et les deux paires servent à la transmission de données.

Le connecteur d'alimentation est également différent : il est composé de 15 broches permettant d'alimenter le périphérique en 3.3V, 5V ou 12V et possède une allure similaire au connecteur de données :



- *Fibre-Channel* (FC-AL), est un successeur du SCSI. La liaison est série et peut utiliser une connectique fibre optique ou cuivre. Principalement utilisée sur les serveurs.

Le système RAID

En 1978, un employé d'IBM, Norman Ken Ouchi, déposa un brevet concernant un « Système de récupération de données stockées dans une unité de stockage défectueuse », et dont la description était ce que deviendrait plus tard le RAID 5. Ce brevet fait également mention du miroitage de disque (qui sera appelé plus tard RAID 1), ainsi que de la protection avec une parité dédiée (qui sera appelé plus tard RAID 4).

La technologie RAID a été élaborée par un groupe de chercheurs de l'Université de Berkeley (Californie) en 1987. Ces derniers étudiaient la possibilité de faire reconnaître deux disques durs ou plus comme une seule unité par le système. Ils obtinrent pour résultat un système de stockage aux performances bien meilleures que celles des systèmes à disque dur unique, mais doté d'une très mauvaise fiabilité. Les chercheurs s'orientèrent alors vers des architectures redondantes, afin d'améliorer la tolérance aux pannes du système de stockage.

En 1988, les différents RAID, de 1 à 5, étaient formellement définis par David Patterson, Garth Gibson et Randy Katz dans la publication intitulée « *A Case for Redundant Arrays of Inexpensive Disks (RAID)* ». Cet article introduisait le terme « RAID », dont l'industrie du disque s'est immédiatement emparé, dont elle proposait cinq niveaux différents.

Concepts

Concaténation

La concaténation consiste (dans le contexte du RAID) à mettre bout à bout un nombre quelconque de volumes de stockage de données de façon à ce qu'ils n'en forment plus qu'un seul dont la capacité est la somme de celles des constituants. La taille des constituants peut être quelconque et différer d'un constituant à l'autre.

La concaténation n'offre pas de réel avantage en matière de performance. Pour ce qui est de la fiabilité, le volume obtenu deviendra défaillant si un seul de ses constituants tombe en panne. La probabilité de défaillance croît donc avec le nombre de constituants.

Pour ces deux raisons, la concaténation est très peu utilisée.

Agrégation par bandes (striping)

L'Agrégation par bandes est une méthode similaire à la concaténation mais en découpant préalablement en bandes de taille fixe un nombre quelconque de volumes de données de taille identique. On alterne alors une bande de chaque volume pour créer le "volume agrégé par bandes".

Un exemple sera certainement nettement plus explicite :

Considérons 3 unités de stockage de taille T nommés A, B et C

Chaque volume est découpé en n bandes de taille t telle que t et n vérifient $T = n * t$

On note les bandes A1, A2, A3, ..., An ; B1, B2 B3, ..., Bn ; C1, C2, C3, ..., Cn.

Le volume agrégé par bandes sera la concaténation de A1, B1, C1, A2, B2, C2, A3, B3, B3, ..., An, Bn, Cn.

Miroitage (mirroring)

Le miroitage (*mirroring* en anglais) consiste à utiliser plusieurs unités de stockage de données et à stocker des données identiques sur chacune. Ainsi, chaque unité contient à tout moment exactement les mêmes données que les autres, on parle alors de disques miroirs, d'où l'utilisation du mot « miroitage ».

Les modifications des données se font de manière simultanée sur toutes les unités de stockage, ainsi, en cas de panne d'une unité de stockage, les données sont toujours accessibles sur les unités restantes.

Cette configuration pénalise légèrement les performances, mais a surtout l'inconvénient d'être particulièrement onéreuse, la fiabilité de l'ensemble étant directement proportionnelle au nombre d'unités de stockage.

Parité et redondance

Le miroitage s'avère être une solution onéreuse, puisqu'il est nécessaire d'acquérir les périphériques de stockage en plusieurs exemplaires. Aussi, partant du principe que plusieurs unités de stockage ont une faible probabilité de tomber en panne simultanément, d'autres systèmes ont été imaginés, dont ceux permettant de régénérer les données manquantes à partir des données restant accessibles et d'une ou plusieurs données supplémentaires, dites de redondance.

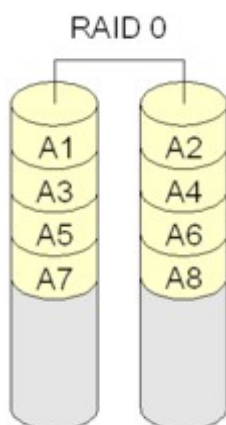
Le système de redondance le plus simple et le plus largement utilisé est le calcul de parité. Ce système repose sur l'opération logique XOR (OU exclusif) et consiste à déterminer si sur n bits de données considérés, le nombre de bits à l'état 1 est pair ou impair. Si le nombre de 1 est pair, alors le bit de parité vaut 0. Si le nombre de 1 est impair, alors le bit de parité vaut 1. Lorsque l'un des $n + 1$ bits de données ainsi formés devient indisponible, il est alors possible de régénérer le bit manquant en appliquant à nouveau la même méthode sur les n éléments restants. Cette technique est utilisée dans les systèmes RAID 5.

(Il existe des systèmes de redondance plus complexes et capables de générer plusieurs éléments de redondance afin de supporter l'absence de plusieurs éléments. Le RAID 6 utilise par exemple une technique de calcul de parité fondée sur des polynômes.)

Les différents niveaux de RAID

RAID 0: volume agrégé par bandes

Le RAID 0, également connu sous le nom d'« entrelacement de disques » ou de « volume agrégé par bandes » (*striping* en anglais) est une configuration RAID permettant d'augmenter significativement les performances de la grappe en faisant travailler n disques durs en parallèle (avec $n \geq 2$).



Dans cette configuration, les données sont réparties par bandes (*stripes* en anglais) d'une taille fixe. Cette taille est appelée granularité.

Exemple : avec un RAID 0 ayant une bande de 64 ko et composé de quatre disques, si l'on veut écrire un fichier de 384 ko, le fichier sera découpé en 6 bandes (A, B, C, D, E et F) de 64 ko qui seront réparties sur l'ensemble des disques de la façon suivante :

- disque 1 : AE
- disque 2 : BF
- disque 3 : C
- disque 4 : D

Ainsi l'écriture du fichier pourra être effectuée simultanément sur chacun des disques et à un coût équivalent à l'écriture de 128ko.

Ainsi, sur un RAID 0 de n disques (avec $n \geq 2$), chaque disque ne doit lire et écrire que $1/n$ des données, ce qui a pour effet de décupler les taux de transfert des données entre le CPU et les disques, et donc d'accélérer les traitements.

Ce type de RAID est parfait pour des applications requérant un traitement rapide d'une grande quantité de données. Mais cette architecture n'assure en rien la sécurité des données ; en effet, si l'un des disques tombe en panne, la totalité des données du RAID est perdue. Cela fait du RAID 0 une solution moins fiable que l'utilisation d'un seul disque de stockage, puisque la probabilité de défaillance d'un des disques du RAID est largement supérieure à la probabilité de défaillance d'un disque unique.

RAID 1: miroitage des disques

Le RAID 1 consiste en l'utilisation n de disques redondants (avec $n \geq 2$), chaque disque de la grappe contenant à tout moment exactement les mêmes données, d'où l'utilisation du mot « miroitage » (*mirroring* en anglais).

- Capacité:
La capacité totale est égale à celle du plus petit élément de la grappe. L'espace excédentaire des autres éléments de la grappe restera inutilisé. Il est donc conseillé d'utiliser des éléments identiques.
- Fiabilité:
Cette solution offre un excellent niveau de protection des données. Elle accepte une défaillance de $n - 1$ éléments.
- Coût:
Les coûts de stockage sont élevés et directement proportionnels au nombre de miroirs utilisés alors que la capacité totale reste inchangée. Plus le nombre de miroirs est élevé, et plus la sécurité augmente, mais plus son coût devient important.

Les accès en lecture du système d'exploitation se font sur le disque le plus facilement accessible à ce moment là. Les écritures sur la grappe se font de manière simultanée sur tous les disques, de manière à ce que n'importe quel disque soit interchangeable à tout moment.

Lors de la défaillance de l'un des disques, le contrôleur RAID désactive, de manière transparente pour l'accès aux données, le disque incriminé. Une fois le disque défectueux remplacé, le contrôleur RAID reconstitue, soit automatiquement, soit sur intervention manuelle, le miroir. Une fois la synchronisation effectuée, le RAID retrouve son niveau initial de redondance.

RAID 2 : volume agrégé par bandes à parité

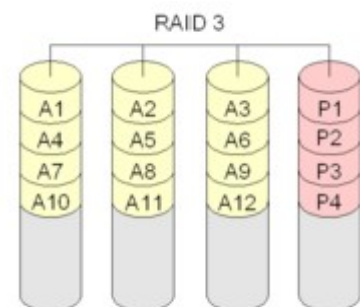
Le RAID 2 est aujourd'hui obsolète. Il combine la méthode du volume agrégé par bande (*striping* en anglais) à l'écriture d'un code de contrôle d'erreur par code de Hamming (code ECC) sur un disque dur distinct. Cette technologie offre un bon niveau de sécurité, mais de mauvaises performances.

RAID 3 et RAID 4

Le RAID 3 et le RAID4 sont sensiblement semblables sauf que le premier travaille par octets et le second par blocs. Le RAID4 ne nécessite pas autant de synchronisme entre les disques. Le RAID3 tends donc à disparaître au profit du RAID4 qui offre des performances très nettement supérieures.

Ces niveaux de RAID nécessitent une matrice de n disques (avec $n \geq 3$). Les $n - 1$ premiers disques contiennent les données tandis que le dernier disque stocke la parité.

- Si le disque de parité tombe en panne, il est possible de reconstruire l'information de parité avec le contenu des autres disques de données.
- Si l'un des disques de données tombe en panne, il est possible de reconstruire l'information avec le contenu des disques de données restants et celui du disque de parité.

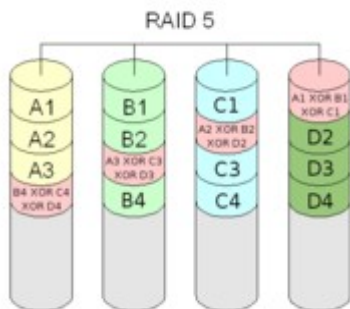


Il est important que le disque de parité soit de bonne qualité car il est à tout instant sollicité à l'écriture. Ce dernier point est une des limitations du RAID 3.

De même, si plus d'un disque vient à défaillir, il est impossible de remédier à la perte de données.

RAID 5: volume agrégé par bandes à parité répartie

Le RAID 5 combine la méthode du volume agrégé par bandes (*striping*) à une parité répartie. La parité, qui est incluse avec chaque écriture se retrouve répartie circulairement sur les différents disques. Ainsi, en cas de défaillance de l'un des disques de la grappe, non seulement la grappe est toujours en état de fonctionner, mais il est de plus possible de reconstruire le disque une fois échangé à partir des données et des informations de parités contenues sur les autres disques.



Exemple pratique : Considérons trois disques durs A, B et C, de taille identique. Le système va enregistrer le premier bloc en le répartissant sur les disques A et B comme en mode RAID 0 (*striping*) et, sur le disque C, le résultat de l'opération OU exclusif entre A et B ($A \oplus B$). Ensuite il va enregistrer le deuxième bloc en le répartissant sur les disques B et C, puis la parité ($B \oplus C$) sur le disque A, et ainsi de suite en faisant permuter circulairement les disques, à chaque bloc. La parité se trouve alors répartie sur tous les disques. En cas de défaillance d'un disque, les données qui s'y trouvaient peuvent être

reconstituées par l'opération xor.

En effet, l'opération XOR (\oplus) a la propriété suivante : si on considère N blocs de taille identique A_1, A_2, \dots, A_N et si $A_1 \oplus A_2 \oplus \dots \oplus A_N = P$ alors $A_1 \oplus A_2 \oplus \dots \oplus A_{N-1} = P \oplus A_N$, et de façon générale, $A_1 \oplus A_2 \oplus \dots \oplus A_{N-1} \oplus P = A_N$. C'est-à-dire que n'importe quel bloc de données A_k perdu à cause d'un disque défaillant sur un RAID5 de N+1 disques peut-être récupéré grâce au bloc X de données de contrôle.

Ce système nécessite impérativement un minimum de trois disques durs. Ceux-ci doivent généralement être de même taille, mais un grand nombre de cartes RAID modernes autorisent des disques de tailles différentes.

La capacité de stockage utile réelle, pour un système de n disques de capacité c identiques est de $(n - 1) \cdot c$. En cas d'utilisation de disques de capacités différentes, on utilisera dans la formule précédente la capacité minimum.

Ainsi, trois disques de 100 Go en RAID 5 offrent 200 Go utiles ; dix disques, 900 Go utiles.

Ce système allie sécurité (grâce à la parité) et bonne disponibilité (grâce à la répartition de la parité), même en cas de défaillance d'un des périphériques de stockage.

Il existe une variante : le « RAID 5 orthogonal » où chaque disque a son propre contrôleur. Toutes les autres fonctionnalités sont identiques.

On a trop souvent tendance à croire qu'un système RAID 5 est totalement fiable. Il est en effet généralement admis que la probabilité de défaillance de plusieurs disques est extrêmement faible. (On parle évidemment d'une défaillance entraînant la perte de données définitive sur plusieurs disques et non d'une simple indisponibilité de plusieurs disques). Cela est vrai pour une défaillance générale d'une unité de disque. Cependant, cela est totalement faux si l'on considère comme "défaillance" un secteur illisible.

En effet, dans la pratique, il est très rare que toutes les données d'un volume soient lues régulièrement. Et quand bien même ce serait le cas, la cohérence de la parité n'est que très rarement vérifiée pour des raisons de performances. Il est donc très probable que des défauts tels que les secteurs illisibles ne soient pas détectés pendant une très longue période. Lorsque l'un des disques devient réellement défectueux, la reconstruction nécessite de parcourir l'intégralité des disques restants. On peut alors tomber sur des défauts qui étaient restés invisibles jusque là.

Tout ceci pourrait ne pas être bien grave et occasionner la perte d'une quantité de données minime. Cependant, l'extrême majorité des contrôleurs raid est incapable de gérer les défaillances partielles. Ils considèrent généralement qu'un disque contenant un secteur illisible est totalement défaillant. A ce moment là, 2 disques sont considérés défaillants simultanément et le volume RAID 5 devient inutilisable. Il est alors extrêmement difficile de récupérer les données.

Un système RAID 5 doit donc absolument être vérifié et sauvegardé très périodiquement pour s'assurer que l'on ne risque pas de tomber sur ce genre de cas.

- Avantages :

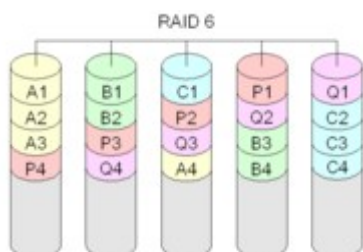
 - performances en lecture aussi élevées qu'en Raid 0, sécurité accrue
 - surcoût minimal (capacité totale de n-1 disques sur un total de n disques)

- Inconvénients :

 - pénalité en écriture du fait du calcul de la parité minimum de 3 disques

RAID 6

Le RAID 6 est une évolution du RAID 5 qui accroît la sécurité en utilisant deux informations redondantes au lieu d'une. Les fondements mathématiques utilisés pour les informations de redondance du RAID 6 sont beaucoup plus complexes que pour le RAID 5.



Si la sécurité est plus grande, le coût en matériel est plus élevé et la vitesse est moindre. La puissance CPU nécessaire pour calculer les redondances et surtout pour reconstruire un volume défectueux est également très nettement plus importante.

Les défauts majeurs sont :

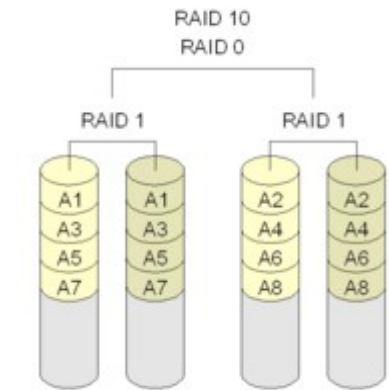
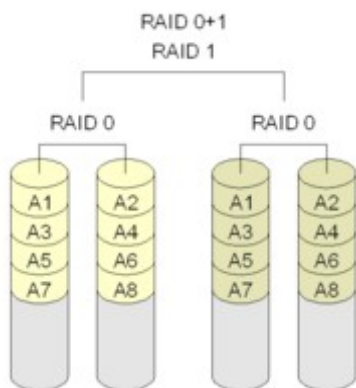
- Les temps d'écriture sont longs à cause des calculs de redondance complexes.
- Le temps de reconstruction en cas de défaillance simultanée de 2 disques est extrêmement long.

Le RAID 6 est peu utilisé du fait de son surcoût.

Les niveaux RAID combinés

Fondamentalement, un niveau de RAID combiné est l'utilisation d'un concept de RAID classique sur des éléments constitutifs qui sont eux-mêmes le résultat d'un concept RAID classique. Le concept utilisé peut être le même ou différent.

Le nombre important (et croissant) de permutations possibles fait qu'il existe une multitude de raid combinés.



RAID 01

RAID 10

Quelques exemples:

Le RAID01 :

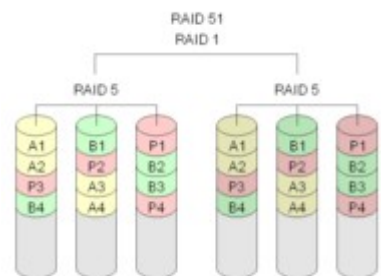
Il permet d'obtenir du mirroring rapide puisqu'il est basé sur des grappes en stripping. Chaque grappe contenant au minimum 2 éléments, et un minimum de 2 grappes étant nécessaire, il faut au minimum 4 unités de stockage pour créer un volume RAID0+1. La fiabilité est moyenne car un disque défectueux entraîne le défaut de toute une grappe. Par ailleurs, cela allonge beaucoup le temps de reconstruction et dégrade les performance pendant la reconstruction. L'intérêt principal est que dans le cas d'un miroir à 3 grappes ou plus, le retrait volontaire d'une grappe entière permet d'avoir une sauvegarde "instantanée" sans perdre la redondance.

Le RAID10:

Il permet d'obtenir un volume agrégé par bande fiable. (puisque il est basé sur des grappes répliquées). Chaque grappe contenant au minimum 2 éléments et un minimum de 2 grappes étant nécessaire, il faut au minimum 4 unités de stockage pour créer un volume RAID10. Sa fiabilité est assez grande puisqu'il faut que tous les éléments d'une grappe soit défectueux pour entraîner un défaut global. La reconstruction est assez performante puisqu'elle ne mobilise que les disques d'une seule grappe et non la totalité.

Le RAID51:

Il permet d'obtenir un volume répliqué basé sur des grappes en raid5. Chaque grappes contenant au minimum 3 disques, et un minimum de 2 grappes étant nécessaire, il faut au minimum 6 unités de stockage pour créer un volume RAID51. C'est un mode coûteux (faible capacité devant le nombre de disques)



Le RAID, Logiciel ou matériel ?

Le système RAID est une redondance ou une répartition pour des raisons de performances de données sur plusieurs disques. Il faut donc gérer d'une manière ou d'une autre, la répartition et la cohérence de ces données. Deux moyens peuvent s'offrir pour

gérer ceci.

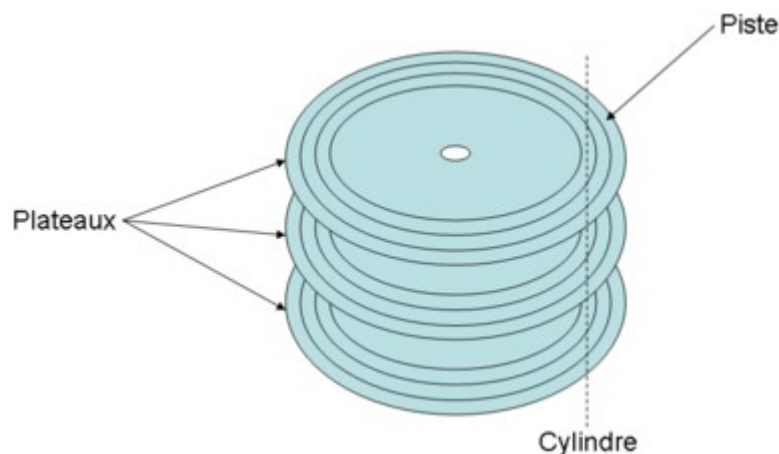
La première est logicielle, il s'agit en fait, ni plus ni moins de la gestion par le système d'exploitation lui-même. Méthode peu coûteuse, mais moins performante puisqu'elle a tendance à ralentir l'ensemble du système.

La deuxième, plus onéreuse, est la solution matérielle. Il s'agit ici de cartes additionnelle (PCI) à la carte mère. Elle offrent la possibilité de reconstruire de manière transparente les disques défectueux, de changer les propriétés ou d'étendre la capacité des unités RAID. Cette dernière fonction n'est toutefois pas toujours reconnue par le système d'exploitation. En conséquence, des disques transférés d'un système à l'autre ne pourront pas être récupérés si le contrôleur RAID n'est pas le même, au contraire d'un RAID logiciel.

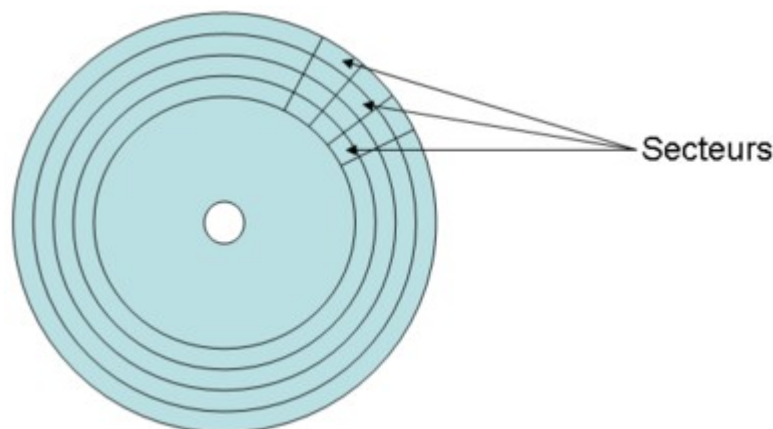
A noter qu'il existe maintenant sur le marché des cartes mères qui intègrent leur propre processeur de gestion RAID et une mémoire cache pour assurer la vitesse de transfert des données.

Structure physique d'un disque dur

Chaque plateau (2 surfaces) est composé de pistes concentriques. Les pistes situées à un même rayon forment un cylindre.



Sur une piste les données sont délimitées en secteurs, aussi appelés blocs.



Les pistes sont concentriques, les secteurs contigus.

Il faut donc trois coordonnées pour accéder à un bloc :

1. le numéro de la tête (choix de la surface)
2. le numéro de la piste (détermine le déplacement de la tête)
3. le numéro du bloc sur cette piste (détermine à partir de quand il faut commencer à lire les données).

Cette conversion est faite par le contrôleur du disque à partir de l'adresse absolue du bloc (un nombre compris entre 0 et le nombre total de blocs (moins 1) contenu sur le disque).

On notera que les secteurs extérieurs et intérieurs n'ont pas la même taille physique.

Sur les premiers disques, une surface était formatée en usine et contenait les informations permettant au système de se synchroniser (de savoir quelle était la position des têtes à tout moment). Cette surface était dénommée « servo ». Par la suite, ces zones de synchronisation ont été mixées entre les blocs de données, mais elles sont toujours formatées en usine. Typiquement donc, on trouvera sur une piste une succession de :

1. un petit « blanc » ou « espace » (« gap » en anglais),
2. une zone servo,
3. un entête avec contenant le numéro du bloc qui va suivre,
4. les données,
5. une somme de contrôle permettant de corriger des erreurs.



Format d'un secteur. Il ne contient pas seulement les données stockées, mais aussi un préambule permettant de synchroniser le système d'asservissement du disque, un entête avec l'identifiant du bloc et enfin une somme de contrôle (Σ) permettant de détecter d'éventuelles erreurs.

Le formatage

Definition

Le formatage est l'action de formater, c'est-à-dire de préparer un support de données informatique (disquette, disque dur, etc.) en y inscrivant un système de fichiers, de façon à ce qu'il soit reconnu par le système d'exploitation de l'ordinateur. Il existe de nombreux systèmes de fichiers différents : FAT, NTFS, HFS, ext2, ext3, UFS, etc.

Les disques de grande capacité peuvent recevoir plusieurs systèmes de fichiers, divisés en partitions logiques ; on parle alors de partitionnement. En principe, seuls les disques durs peuvent être partitionnés, les autres périphériques de stockage ne disposent habituellement pas d'un espace suffisant ou présentent des problèmes de compatibilité.

Le formatage rend l'accès impossible aux données précédemment présentes sur le disque. Il est donc indispensable de procéder à une sauvegarde des données importantes.

Cependant, comme pour toute suppression classique de données, il est toujours possible de tenter une récupération, pour autant que le disque n'ait pas été formaté de manière sécurisée. Le formatage de bas niveau est souvent confondu avec le *formatage à zéro*, au cours duquel chaque bit de données est remplacé par des zéros (ce qui a pour effet de restaurer le disque à son état à la sortie d'usine).

Le formatage fait appel à deux processus différents connus sous les noms de *formatage de bas niveau* et *formatage de haut niveau*. Le formatage de bas niveau s'occupe de rendre la surface du disque conforme à ce qu'attend le contrôleur tandis que le formatage de haut niveau concerne les informations logicielles propres au système d'exploitation.

Afin d'éviter les accidents, les utilitaires de formatage demandent au moins une confirmation de la part de l'opérateur. Dans plusieurs versions d'MS-DOS, il existe un paramètre non documenté intitulé */autotest* qui force le formatage sans confirmation.

Formatage de bas niveau

Le but du formatage de bas niveau est de diviser la surface des disques en éléments basiques :

- pistes
- secteurs
- cylindres

Les pistes sont numérotées en partant de 0, puis les têtes de lecture/écriture polarisent concentriquement la surface des plateaux. Lorsque l'on passe à la piste suivante, la tête laisse un "trou" et ainsi de suite. Chaque piste est elle-même organisée en secteurs (numérotés en commençant à partir de 1) séparés 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 de marquer les secteurs défectueux.

Somme de contrôle

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 (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.

Les utilitaires d'analyse tel que *scandisk* ou *chkdsk* opèrent autrement : ils inscrivent des données sur les secteurs a 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.

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'exploitations 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.

Le partitionnement

Il existe trois sortes de partitions: les partitions principales, la partition étendue et les lecteurs logiques.

Un disque peut contenir jusqu'à quatre partitions principales (dont une seule peut être active), ou trois partitions principales et une partition étendue. Dans la partition étendue l'utilisateur peut créer des lecteurs logiques (c'est-à-dire faire en sorte que l'on ait l'impression qu'il y a plusieurs disques durs de taille moindre).

Le partitionnement est surtout utile dans le cas d'une utilisation de disques de plus de 2 Go gérés par un système de fichier FAT 32.

Les systèmes de fichiers

Avec la quantité d'information que doit contenir un disque dur il est nécessaire d'organiser les données afin de pouvoir localiser les informations, c'est le but du système de fichiers. Un disque dur est, rappelons-le, constitué de plusieurs plateaux circulaires tournant autour d'un axe. Les pistes (zones concentriques écrites de part et d'autre d'un plateau) sont divisées en quartiers appelés secteurs (d'une taille de 512 octets). Le formatage logique d'un disque permet de créer un système de fichiers sur le disque, qui va permettre à un système d'exploitation (DOS, Windows 9x, UNIX, ...) d'utiliser l'espace disque pour stocker et utiliser des fichiers. Le système de fichiers est basé sur la gestion des clusters (en français « unité d'allocation »), c'est-à-dire la plus petite unité de disque que le système d'exploitation est capable de gérer.

Un cluster est constitué d'un ou plusieurs secteurs, ainsi plus la taille d'un cluster est importante, moins le système d'exploitation aura d'entités à gérer... En contrepartie, étant donné qu'un système d'exploitation ne sait gérer que des unités d'allocation entière, c'est-à-dire qu'un fichier occupe un nombre entier de cluster, le gaspillage est d'autant plus grand qu'il y a de secteurs par cluster. On comprend alors toute l'importance du choix du système de fichiers.

Bibliographie

- http://fr.wikipedia.org/wiki/Disques_durs, Disque dur, le 11 novembre 2006
- <http://www.commentcamarche.net/pc/disque.php>, Disques durs, le 11 novembre 2006
- <http://www.01net.com/editarial/323966/comment-ca-marche-le-disque-dur>, Jean-Marc GIMENEZ, Comment ça marche: le disque dur, d'après *Micro Hebdo*, le 11 novembre 2006
- <http://www.clubic.com/article-39236-1-50ans-disques-durs-petit-historique.html>, le 11 novembre 2006
- <http://www.hesit.be/files/info/1/1110918051-MicroOrdi1bis.pdf>, E. WILFART, Cours de micro ordinateur, le 13 novembre 2006
- <http://www.computerhope.com/jargon/i/ide.htm>, IDE, le 13 novembre 2006
- <http://serialata.org>, SATA-IO Enabling the futur, VTM Association Management, le 13 novembre 2006
- <http://www.commentcamarche.net/pc/ide-ata.php3>, ATA/IDE, le 13 novembre 2006
- http://fr.wikipedia.org/wiki/RAID_informatique, RAID(informatique), le 13 novembre 2006
- <http://www.commentcamarche.net/repar/format.php3>, le formatage, le 29 novembre 2006
- <http://www.commentcamarche.net/repar/filesys.php3>, Système de fichiers, le 29 novembre 2006
- <http://www.commentcamarche.net/repar/ntfs.php3>, Système NTFS, le 29 novembre 2006

HELHO 2^{ème} Informatique
Cours de périphérique
Mme Buseyne