

Pré-requis :

Les notions fondamentales de l'électronique (composants de base, notion de courant et de tension)

Les notions élémentaires de l'informatique (binaire, fonctions logiques, ...)

Compétences visées :

Être capable de caractériser les différentes formes de stockage de données

Plan du chapitre :

I. Les unités du stockage numérique

II. Les mémoires volatiles (RAM)

III. Les mémoires ROM

IV. Le stockage de masse

V. Organisation et structures des données

VI. Le cloud

VII. Redondances des données (RAID,...)

VIII. Exercices

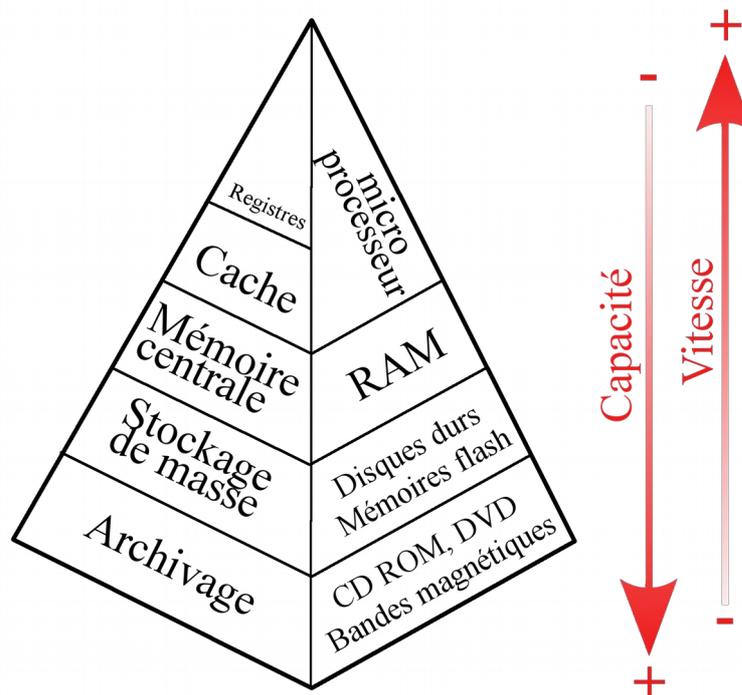


Introduction

Ce cours n'a pas la prétention d'être exhaustif mais il essaie néanmoins de balayer une grande partie des systèmes de stockage informatique, de leur utilisation et de leurs contraintes.

Pour faire simple, nous dirons qu'il y a 3 types de mémoires: la mémoire vive, les ROM et la mémoire de masse. La première représente les données en cours de traitement (quand on éteint l'ordinateur les données sont perdues). La deuxième est une mémoire qui contient des données importantes et qui ne peuvent être effacées (ou en tout cas pas facilement). La troisième sert à sauvegarder des données sur le long terme (fichiers systèmes, documents, photos, musiques, etc.), que ce soit en interne sur le disque dur ou sur des périphériques externes.

La hiérarchie des mémoires :



Un système de stockage informatique sera donc principalement caractérisé par :

- sa capacité de stockage (quantité d'information qu'il peut contenir)
- son temps d'accès (caractérisé par un temps, une vitesse ou un débit d'information)
- sa durée de vie
- ses connectiques

I. Les unités du stockage numérique

L'octet est l'unité de mesure que l'on utilise couramment. On rappellera qu'un octet est composé de 8 bits et qu'il peut coder donc 2^8 c'est à dire 256 valeurs différentes (de 0 à 255, c'est à dire de 00000000 à 11111111).

Remarque : dans les pays d'influence anglo-saxonne on utilise le terme Byte, qui est souvent un mot de 8 bits (donc équivalent à un octet) mais il peut aussi représenter un mot de 7 ou 9 bits. Il faut donc faire attention et bien vérifier, souvent dans les documentations techniques, la définition du Byte.

Donc si vous voyez la donnée suivante : 1 MB (one Mega Byte) cela a toutes les chances de signifier 1 Mo (1 Mega octet) mais pas sûr !

Si on suit le SI (abréviation représentant le Système international d'unités qui est inspiré du système métrique) on devrait avoir :

Nom	Symbole	Valeur
kilooctet	ko	10^3 octets
mégaoctet	Mo	10^6 octets
gigaoctet	Go	10^9 octets
téraoctet	To	10^{12} octets
pétaoctet	Po	10^{15} octets
exaoctet	Eo	10^{18} octets
zettaoctet	Zo	10^{21} octets
yottaoctet	Yo	10^{24} octets

Or si on y regarde de plus près, on s'aperçoit que souvent 1 kilooctet = 1024 octets (2^{10} octets).

Ceci est certes une hérésie et un abus de notation mais c'est quand même utilisé traditionnellement depuis très longtemps par les techniciens et ingénieurs de l'informatique.

Mais il y a eu une tentative de remettre tout ça en conformité avec les usages scientifiques et une nouvelle norme a donc été créée pour noter les multiples de 1024 : les « kibi », « mébi », « gibi », etc.

Cela donne :

	Symbole	Valeur
kibioctet	Kio	2^{10} octets
mébioctet	Mio	2^{20} octets
gibioctet	Gio	2^{30} octets
tébioctet	Tio	2^{40} octets
pébioctet	Pio	2^{50} octets
exbioctet	Eio	2^{60} octets
zébioctet	Zio	2^{70} octets
yobioctet	Yio	2^{80} octets

Aujourd'hui cela ne semble toujours pas très utilisé !!!!!!!!!!!!!!!

Qu'en est-il du débit d'information et de son unité?

C'est ce qu'on appelle souvent "la bande passante". Dans le domaine de l'informatique, la bande passante indique donc, par abus de langage, un débit d'informations.

Ce débit binaire s'exprime en **kbps** (kilo bit par seconde)

Exemple : 1024 kbit par seconde = $1024/8$ ko par seconde = 128 ko par seconde

II. Les mémoires volatiles (RAM)

La mémoire vive est généralement appelée RAM pour Random Access Memory ce qui signifie "mémoire à accès aléatoire". Ce "mémoire à accès aléatoire" veut dire que l'on peut accéder à n'importe laquelle de ses adresses (cases mémoires). La bonne traduction est donc: "mémoire à accès direct".

Ces mémoires ont été dénommées ainsi pour des raisons historiques car les premières mémoires, les cartes perforées ou les bandes magnétiques par exemple, n'étaient accessibles que séquentiellement (pour avoir accès à une donnée, il fallait faire défiler la bande jusqu'à la donnée que l'on cherche).



Utilisation : la RAM est notamment utilisée dans un ordinateur. Celle-ci contient tous les programmes en cours d'exécution ainsi que leurs données. Les performances de l'ordinateur sont fonction de la quantité de mémoire disponible. Aujourd'hui une capacité de 4 Go ou même 8 Go est nécessaire pour pouvoir faire tourner les logiciels toujours plus gourmands. Quand la quantité de mémoire ne suffit plus, le système d'exploitation a recours à la mémoire virtuelle, il mobilise une partie du disque pour y entreposer les données qu'il estime devoir utiliser moins souvent. Malheureusement le temps d'accès à un disque dur étant bien supérieur à celui d'une RAM les performances chutent. A l'arrêt de l'ordinateur, le contenu disparaît d'où le nom de mémoire "volatile".

III. Les mémoires ROM

La ROM "Read Only Memory" (mémoire à lecture seule) est parfois appelée mémoire morte. Il est impossible d'y écrire. Les ROM sont programmées par leurs fabricants pour contenir des informations immuables telles que les fonctions du BIOS dans un ordinateur.

Complément :

Le BIOS (Basic Input Output System , en français : « système élémentaire d'entrée/sortie ») est un ensemble de fonctions, contenu dans la mémoire morte (ROM) de la carte mère d'un ordinateur, lui permettant d'effectuer des opérations élémentaires lors de sa mise sous tension, par exemple la lecture d'un secteur sur un disque. Par extension, le terme est souvent utilisé pour décrire l'ensemble du micrologiciel de la carte mère.

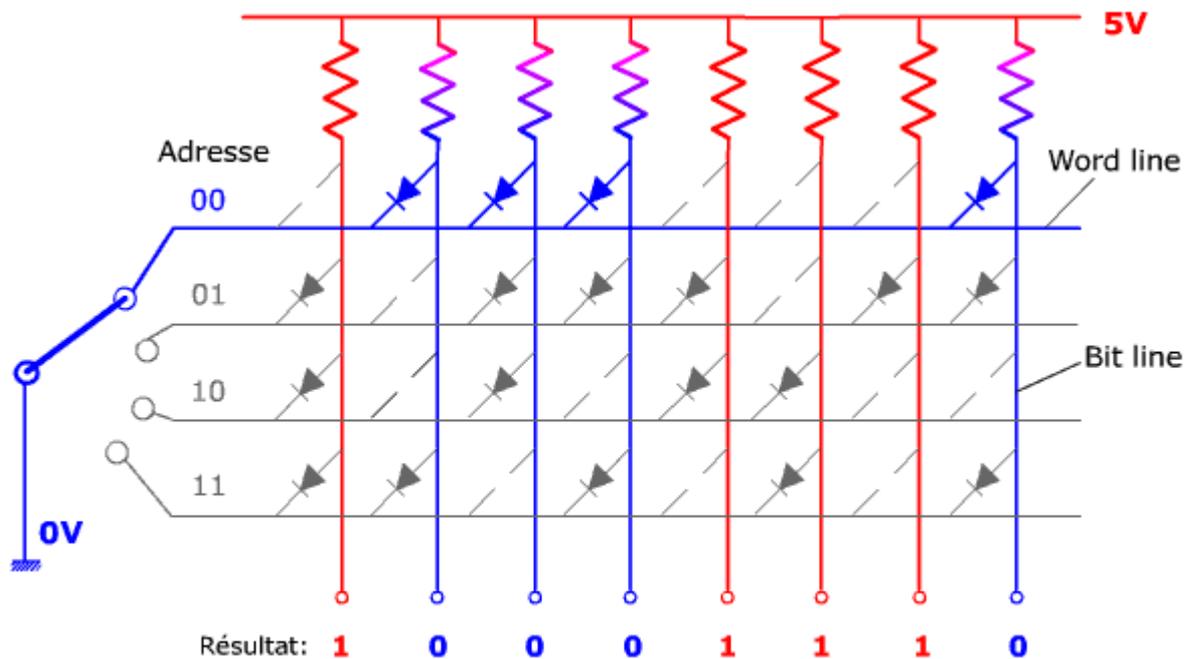
Grâce à ce BIOS, l'ordinateur peut démarrer, faire quelques tests et ensuite le système d'exploitation prend le relais (et se servira d'ailleurs aussi de certaines fonctions du BIOS).

PROM

La PROM pour "Programmable ROM" est une ROM qui peut être programmée à l'aide d'un graveur de PROM. Une fois écrite, il est impossible d'en modifier le contenu.

Le principe de fonctionnement d'une ROM est relativement simple. Cette mémoire contient une matrice de diodes. L'adresse du mot à lire agit sur un décodeur qui dans le schéma ci-dessous est représenté symboliquement par un commutateur à quatre positions (à gauche). Ce schéma représente donc une

PROM de 4 octets. Le code en sortie de la mémoire est une combinaison de bits à 1 et à 0. Les niveaux '1' sont fournis au travers de résistances électriques reliées à la tension d'alimentation du circuit. Par endroits, des diodes forcent les bits de la ligne sélectionnée vers une tension qui correspond au niveau logique 0.



EPROM

L'EPROM, "Erasable PROM" est effaçable.

On efface ces mémoires en les laissant 10 à 20 minutes sous des rayons ultraviolets. Le composant possède une petite fenêtre qui permet le passage des UV.

Une fois effacée, l'EPROM peut être reprogrammée.



EEPROM

L'EEPROM "Electrically Erasable PROM" est une EPROM qui s'efface par des impulsions électriques. Elle peut donc être effacée sans être retirée de son support.

Flash EPROM (FEPROM)

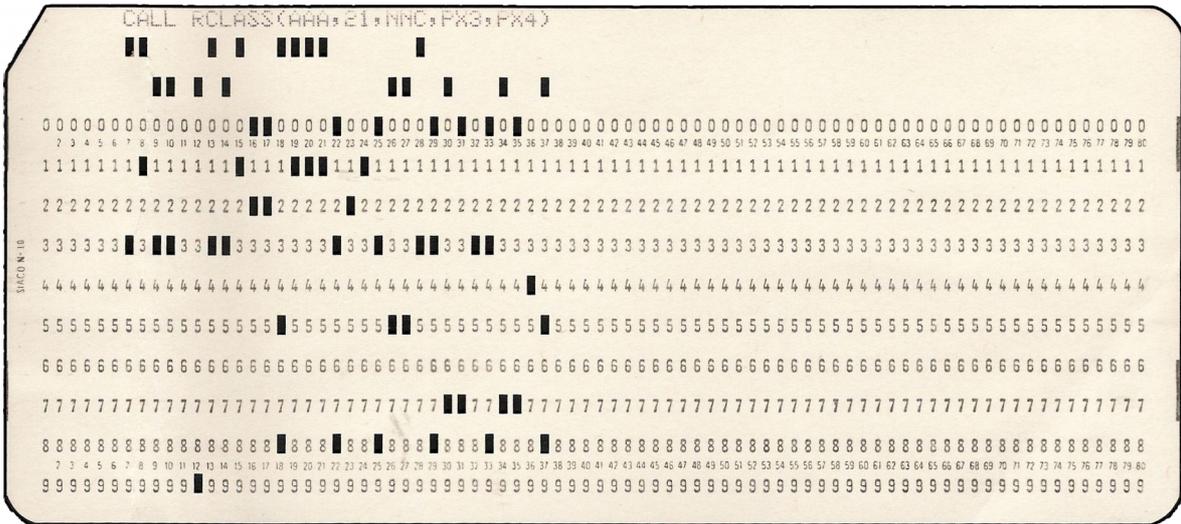
La Flash EPROM plus souvent appelée mémoire Flash est un modèle de mémoire effaçable électriquement. Les opérations d'effacement et d'écriture sont plus rapides qu'avec les anciennes EEPROM. C'est ce qui justifie l'appellation "Flash". Cette mémoire, comme les autres ROM, conserve les données même quand elle n'est plus sous tension. Ce qui en fait le composant mémoire amovible idéal pour les appareils photos numériques, les GSM, les PDA et l'informatique embarquée.

La caractéristique essentielle de toutes ces "mémoires mortes" n'est donc pas qu'elles peuvent uniquement être lues mais plutôt qu'elles ne s'effacent pas quand l'alimentation est coupée.

IV. Le stockage de masse

4.1 La bande perforée

Le premier élément de stockage numérique a été inventé en 1725 et utilisé à l'époque entre autres pour programmer les métiers à tisser Jacquard (l'inventeur de la première machine automatisée), donc bien avant l'invention de l'informatique. Ce support était utilisé sous forme de carte ou de ruban (bande).

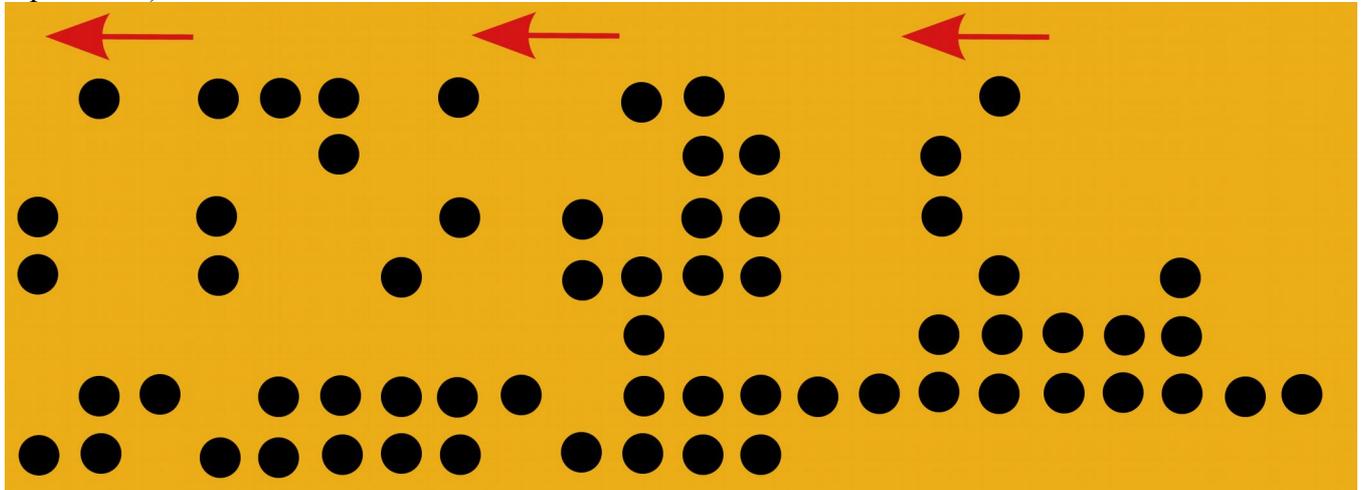


Ensuite ces cartes ou rubans perforés ont été utilisés par les systèmes de transmissions (télégraphe, télécopieur, ...) avant d'être utilisés au tout début de l'informatique. Elles ont progressivement disparues à partir des années 1970 (l'image ci-dessus est une carte IBM de 1928).

En général le trou était considéré comme un 1 logique. Le codage se lit par "colonne" de données, colonne après colonne.

Un trou supplémentaire, de plus petite taille et situé vers le milieu de la bande, servait à l'entraînement par le lecteur-perforateur.

Exemple de codage d'un ruban en code ASCII (les trous d'entraînements ne sont pas représentés):



La Mache

Explications :

- sur la 1ère ligne on lit : 1001100 (le ruban est sur 7 bits). Or 1001100 correspond à 76 en décimal ce qui correspond à la lettre "L"
- sur la 2ème ligne on lit : 1100001. Or 1100001 correspond à 97 en décimal ce qui correspond à la lettre "a"
- sur la 3ème ligne on lit : 0100000. Or 0100000 correspond à 32 en décimal ce qui correspond à la l'espace

Bref la bande perforée contient au début le mot "La Mache".

Remarque : pour modifier une donnée sur un ruban perforé, il fallait perforer les nouvelles données sur un bout de ruban neuf, couper la partie que l'on désirait supprimer du ruban original, et insérer, par collage, le nouveau bout de ruban. Un peu fastidieux !

32	<SPC>	64	@	96	`
33	!	65	A	97	a
34	"	66	B	98	b
35	#	67	C	99	c
36	\$	68	D	100	d
37	%	69	E	101	e
38	&	70	F	102	f
39	'	71	G	103	g
40	(	72	H	104	h
41	)	73	I	105	i
42	*	74	J	106	j
43	+	75	K	107	k
44	,	76	L	108	l
45	-	77	M	109	m
46	.	78	N	110	n
47	/	79	O	111	o
48	0	80	P	112	p
49	1	81	Q	113	q
50	2	82	R	114	r
51	3	83	S	115	s
52	4	84	T	116	t
53	5	85	U	117	u
54	6	86	V	118	v
55	7	87	W	119	w
56	8	88	X	120	x
57	9	89	Y	121	y
58	:	90	Z	122	z

4.2 La disquette

La disquette a été lancée par IBM en 1967 (dans sa version 8 pouces/20,32cm).

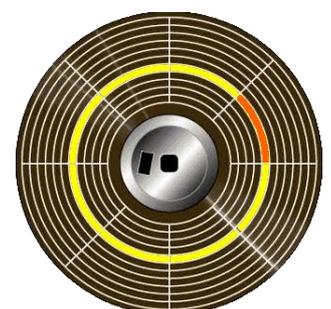
La deuxième génération de disquettes était au format de cinq pouces un quart (13,33cm). Elle arriva à stocker au maximum 1,2 Mo en 1983.

La troisième génération possédait une enveloppe au format trois pouces et demi (8,89cm) qui n'était plus de carton souple, mais en plastique rigide. Elle fut utilisée jusqu'au début des années 2000 et alla jusqu'à contenir 1,44 Mo).

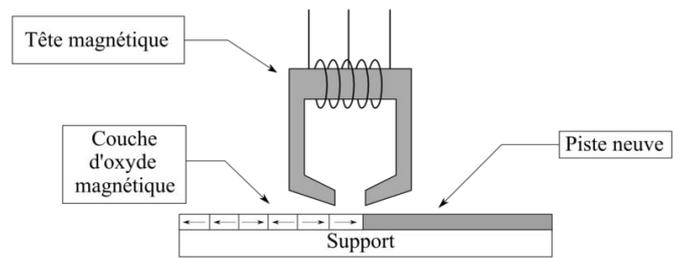
La disquette contient un disque magnétique (le support est un plastique souple d'où le nom anglais de floppy disk) qui est composé de une ou deux face enregistrable. Ce disque est divisée en pistes qui sont elles-mêmes divisées en secteurs de 512 octets.

Le lecteur de disquette est composé de deux moteurs :

- Le premier entraîne la disquette à une vitesse de rotation de 300 tr/min.
- Le second est un moteur pas à pas qui permet de déplacer la tête de lecture/écriture précisément sur la piste voulue.



Un bit est positionné suivant le sens de l'orientation des micro-particules d'oxyde magnétique, dans un sens, le bit est lu comme un « 0 » logique, et dans l'autre sens comme un « 1 » logique. Pour l'écriture, la tête d'écriture impose un sens aux micro-particules grâce à un champ magnétique créé par une bobine.



Sur une disquette neuve, les micro-particules sont orientées aléatoirement, elle est donc illisible. Pour écrire sur une disquette, il faut au préalable la formater pour lui donner un format de données.

4.3 La bande magnétique

Il s'agit d'un ruban de polyester enduit de particules magnétiques (oxyde de fer). Finalement c'est une sorte de combinaison entre la bande perforée et la disquette.

Même si la bande magnétique n'est plus le support dominant pour l'informatique, elle peut encore être utilisée dans le cas de l'archivage par exemple car, avec de très importants volumes de données, c'est la robustesse de la sauvegarde et son faible coût qui seront les points forts pour l'utilisateur et la bande a encore tout son intérêt. En effet le coût du support est bien plus faible que des disques durs pour des volumes unitaires bien plus importants. En contrepartie, la latence d'écriture et de lecture des informations sur bande magnétique est bien plus importante. Mais pour de l'archivage, cela est bien suffisant.

Leur durée de vie peut atteindre 30 ans.

4.4 Le disque dur

C'est en 1956 que la société IBM introduisait le disque dur à tête mobile, le 305 RAMAC (Random Access Method of Accounting and Control). Ce disque dur avait besoin de 50 plateaux de 24 pouces de diamètre (60,96 cm) pour emmagasiner 5 mégaoctets et se louait à 35 000 dollars par an !

Pendant longtemps les disques durs de 14 et 8 pouces restaient attachés aux gros ordinateurs, conditionnés dans les salles de calcul. Ce n'est qu'au début des années 80 que tout changea avec l'apparition des micro-ordinateurs. Le premier disque 5,25 pouces (13,33cm), de la taille d'une boîte à chaussures, pouvait enregistrer 10 à 20 mégaoctets. Vers la fin des années 80, IBM donnait une nouvelle impulsion en introduisant sur le marché :

- un disque 5,25 pouces, à douze plateaux, de 850 mégaoctets ;
- un disque 3,5 pouces, à huit plateaux, de 320 mégaoctets ;
- un petit disque 2,5 pouces de 40 mégaoctets, d'une épaisseur de 12,7 millimètres.

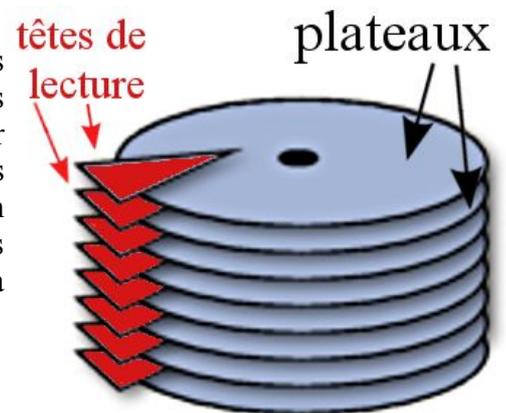
Depuis les avancées technologiques se sont accélérées. Les disques magnétiques sont de plus en plus rapides et de plus en plus capacitifs et le coût par mégaoctet ne cesse de décroître.

Fonctionnement

Les disques tournent très rapidement autour d'un axe (jusqu'à 15 000 tours par minute actuellement) dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Il existe sur les disques durs des millions de ces 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.



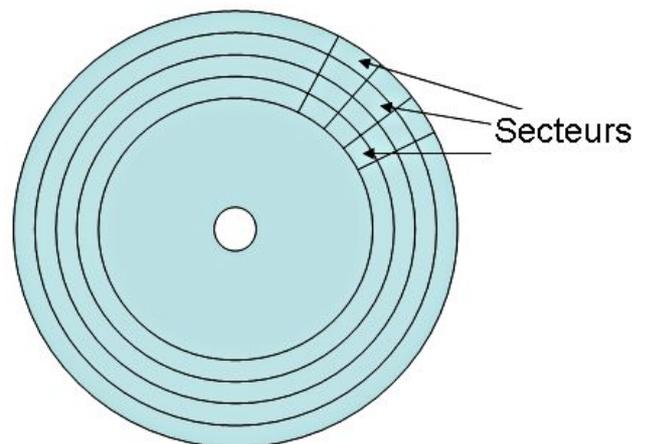
La lecture et l'écriture se fait grâce à des têtes de lecture (en anglais heads) situées de part et d'autre de chacun des plateaux. Ces têtes sont des électro-aimants qui se baissent et se soulèvent pour pouvoir lire l'information ou l'écrire. Les têtes ne sont qu'à quelques microns de la surface, séparées par une couche d'air provoquée par la rotation des disques qui crée un vent d'environ 250km/h ! De plus ces têtes sont mobiles latéralement afin de pouvoir balayer l'ensemble de la surface du disque.



Les têtes de lecture/écriture sont dites « inductives », c'est-à-dire qu'elles sont capables de générer un champ magnétique. C'est notamment le cas lors de l'écriture : les têtes, en créant des champs positifs ou négatifs, viennent polariser la surface du disque en une très petite zone, ce qui se traduira lors du passage en lecture par des changements de polarité induisant un courant dans la tête de lecture, qui sera ensuite transformé par un convertisseur analogique numérique (CAN) en 0 et en 1 compréhensibles par l'ordinateur.

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 de bas niveau.

Les pistes sont séparées en quartiers (entre deux rayons) que l'on appelle **secteurs**, contenant les données (au minimum 512 octets par secteur en général).



Pour info : on appelle **cluster** (ou en français unité d'allocation) 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 minuscule devra donc occuper plusieurs secteurs (un cluster).

Le temps d'accès et le débit d'un disque dur permettent d'en mesurer les performances. Les facteurs principaux à prendre en compte sont :

- le temps de latence, facteur de la vitesse de rotation des plateaux. Dans les premiers disques durs, jusqu'en 1970, le temps de latence était d'un tour : on devait en effet attendre que se présente la home address devant les têtes, puis on cherchait le ou les secteurs concernés à partir de cette home address. Aujourd'hui ce temps est bien plus petit.
- le temps de recherche, ou seek time en anglais, est le temps que met la tête pour se déplacer jusqu'au cylindre choisi. C'est une moyenne entre le temps piste à piste, et le plus long possible.

- le temps de transfert est le temps que vont mettre les données à être transférées entre le disque dur et l'ordinateur par le biais de son interface.

Pour estimer le temps de transfert total, on additionne ces trois temps. On pourra rajouter le temps de réponse du contrôleur, etc. Il faut souvent faire attention aux spécifications des constructeurs, ceux-ci auront tendance à communiquer les valeurs de pointe au lieu des valeurs moyennes (par exemple pour les débits).

Mémoire cache (mémoire tampon)

Quantité de mémoire embarquée sur le disque dur. La mémoire cache permet de conserver les données auxquelles le disque accède le plus souvent afin d'améliorer les performances globales.

Gestion des secteurs défectueux

Des contraintes de rendement de fabrication et de coût font que la plupart des disques sont livrés à l'origine avec une liste de secteurs défectueux. Quelques secteurs de secours sont réservés par petits paquets de pistes. Pendant la vie du disque, le micrologiciel détecte qu'un secteur devient de plus en plus difficile à manipuler (par exemple au-dessus d'un certain nombre de tentatives de relecture) et réécrit les données correspondantes dans le premier secteur de secours qui suit. La table des secteurs défectueux est alors mise à jour de façon à rediriger les futurs accès vers le secteur de remplacement.

Un peu d'histoire et d'évolution :

Capacité	Date	Fabricant	Modèle	Taille
5 Mo	1956	IBM	305 Ramac	24 pouces
28 Mo	1962	IBM	modèle 1301	
1,02 Go	1982	Hitachi	H8598	14" (35,56 cm)
25 Go	1998	IBM	Deskstar 25 GP	3,5" (8,89cm)
500 Go	2005	Hitachi		3,5"
1 To	2007	Hitachi	Deskstar 7K1000	3,5"
2 To	2009	Western Digital	Caviar Green WD20EADS	3,5"
3 To	2010	Seagate		3,5"
4 To	2011	Hitachi	7K4000	3,5"
6 To	2013	HGST	WD Red Pro	3,5"
8 To	2014	Seagate	Archive HDD	3,5"

Notons qu'il existe aussi des générations de disques dur de 2,5 pouces et aussi de 1,8 pouces.

Connexions

Il existe deux connecteurs principaux pour brancher un disque dur :

- IDE (également appelé ATA ou PATA). Cet IDE (Integrated Drive Electronics) est une mode de communication parallèle donc cela implique la présence de larges nappes de fils qui peuvent gêner la circulation de l'air dans l'unité centrale (et donc limiter le refroidissement des composants).
- SATA (Serial ATA ou Serial Advanced Technology Attachment). Il s'agit cette fois d'une mode de communication série qui ne nécessite que 7 fils.



Le débit de la norme IDE est plus faible que celui des ports SATA. Aujourd'hui on assiste à une disparition progressive des ports IDE au profit des ports SATA.

Il existe principalement trois normes SATA, appelées SATA I, SATA II et SATA III. Ce sont des évolutions successives de la norme, ayant pour but (entre autres) d'améliorer le débit, c'est-à-dire la quantité de données pouvant être lue ou écrite par seconde.

Norme	Débit théorique / débit réel (Mo/s)
SATA I	187 / 150
SATA II	350 / 300
SATA III	700 / 600

Pour information, le débit théorique maximum en IDE (ATA-7, dernière norme en date) était de seulement 133 Mo/s. Plus rares, on trouve également des disques durs en SCSI (débits jusqu'à 64 Mo/s) ou SAS (jusqu'à 600 Mo/s).

Alimentation électrique

Pour fonctionner, un disque dur a besoin d'une alimentation électrique. Celle-ci est assurée par le boîtier d'alimentation.

Le disque dur SSD

Le principal défaut des disques dur est la relative lenteur d'accès aux données stockées. Cette relative lenteur est lié principalement à la technologie qui repose sur des éléments mécaniques (déplacement de la tête de lecture, rotation des disques). Voilà pourquoi a été inventé un autre type de disque : le SSD.

On a tendance à les appeler « disques SSD ». Pourtant ils n'ont absolument rien en commun avec un disque : ils ne sont pas en rotation, ils ne possèdent pas de plateaux... Ils ne sont même pas ronds ! C'est donc un abus de langage. **Bref ce ne sont pas des disques durs.**

Un disque SSD est donc un système composé de mémoires de type « flash », ce qui signifie que les données sont inscrites dans de petites cellules de mémoire au sein d'une puce. Il n'y a donc aucun élément mécanique. Chaque cellule de mémoire peut être lue ou écrite avec le même délai, peu importe son positionnement sur la puce. Avec un disque dur classique, il fallait attendre que la tête de lecture se déplace à la surface des plateaux pour aller chercher les données.

Alors on jette les disques durs pour les remplacer par des SSD ?

Du pour, du contre...

Les SSD ont d'indéniables avantages par rapport aux disques durs classiques, au premier chef desquels leur formidable rapidité. L'absence de toute partie mécanique permet de décupler les temps d'accès aux données bien au-delà de ce que pourrait proposer un disque dur. Les SSD sont également bien plus résistants aux chocs (toujours grâce à l'absence de partie mécanique). Ils consomment moins, ce qui permet non seulement d'alléger la facture d'électricité, mais également de s'affranchir de la chaleur et du bruit produits par un disque dur classique. À première vue, il n'y a donc pas de doute : les SSD sont à préférer !

Oui mais ...

L'inconvénient majeur des SSD reste leur prix beaucoup plus élevé qu'un disque durs traditionnel. Deuxième inconvénient important : la durée de vie des SSD est plus faible que celle des disques durs classiques. Cela est dû au nombre de cycles de lecture/effacement/écriture que peuvent subir les cellules, usées un peu plus à chaque fois qu'une tension leur est appliquée.

La solution :

Les SSD sont tout à fait adaptés pour jouer le rôle de disque système. Un SSD de 60 ou 128 Go est généralement suffisant pour l'OS (Operating System) et les logiciels. En parallèle, vous devrez disposer d'un disque dur classique de bonne capacité pour stocker toutes vos données : documents, photos, musiques, vidéos, etc. Le couple SSD/disque dur est ainsi une très bonne façon d'obtenir un système très réactif, tout en conservant une bonne capacité de stockage.

Mais est-ce judicieux de placer son système sur un disque qui peut mourir à tout moment ?

Premièrement, il est préférable de perdre son système que ses données (on peut réinstaller Windows ou sa distribution GNU/Linux préférée, mais on ne peut pas retrouver ses photos et documents perdus). Cela dit, le but n'est pas de mettre une épée de Damoclès au-dessus de la tête de votre système !

Remarque : ne jamais défragmenter un SSD. Si cela pouvait être utile pour un disque dur, le grand nombre d'écritures réalisées au cours de cette opération est nocif pour un SSD.

4.5 La mémoire flash

Les SSD n'ont pas le monopole de la mémoire flash, bien au contraire. Celle-ci se trouve par exemple dans un périphérique que vous avez certainement déjà utilisé : la clé USB.

Les clés USB

Comme leur nom l'indique, les clés USB se connectent à l'ordinateur sur un port USB (USB 2 ou USB 3). Les clés USB 1 ont aujourd'hui quasiment disparues. Bien évidemment, les clés les plus rapides sont en USB 3, mais elles sont également les plus chères.

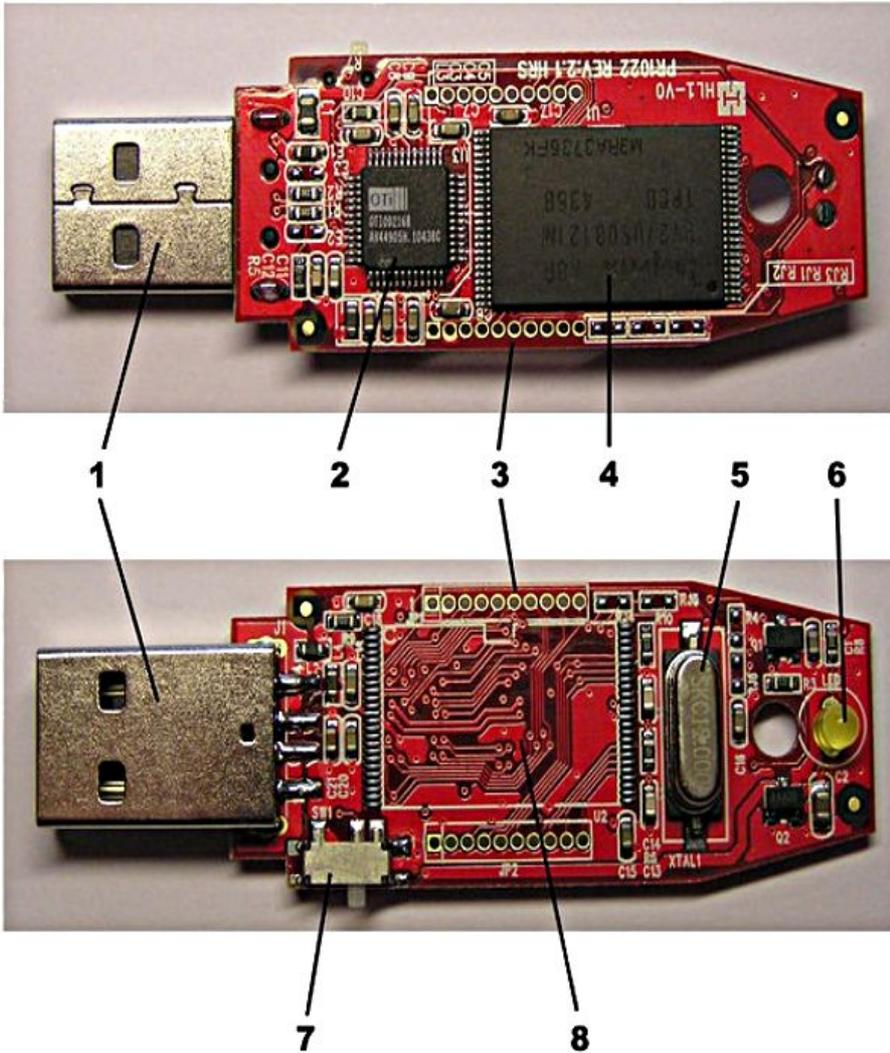
Il en existe de toutes capacités (de 1 à 512 Go voire 1 To ou plus).

Tout comme les SSD, elles sont à base de mémoire flash (MLC: multi-level cell). Cela dit, les contrôleurs utilisés ne sont pas les mêmes que dans les SSD, les performances constatées sont donc bien inférieures que sur ces derniers.

Un critère important à prendre en considération lors de l'achat d'une clé USB est sa vitesse de lecture/écriture (en Mo/s). Plus ces vitesses sont grandes, moins vous mettrez de temps à transférer un fichier depuis ou vers un ordinateur.

Enfin, certaines clés USB offrent des fonctionnalités supplémentaires telles que le cryptage des données qu'elles contiennent ou bien l'interdiction d'écriture.

Exemple : clé de 128 Mo:



1. Un connecteur USB mâle (type A).
2. Un contrôleur. Ce circuit gère la connexion USB et assure une interface entre des données transmises linéairement et la structure en blocs de la mémoire flash.
3. JP1 et JP2 : deux connecteurs avec 10 pins, principalement pour les tests et le débogage.
4. mémoire flash qui contient ici 4 096 blocs indépendants (chacun avec 16 kilooctets), soit 64 mégaoctets au total.
5. Un oscillateur à quartz cadencé ici à 12 MHz.
6. Une DEL pour indiquer l'activité de la clé.
7. Un interrupteur à deux positions pour protéger la clé en écriture.
8. Une zone vierge prête à recevoir une autre mémoire flash pour offrir un modèle de 128 mégaoctets sans avoir à créer un autre schéma.

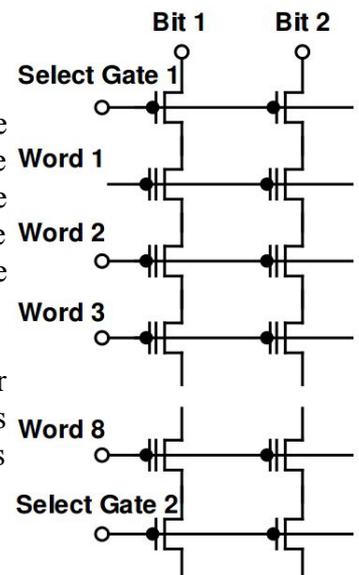
Principe et technologies

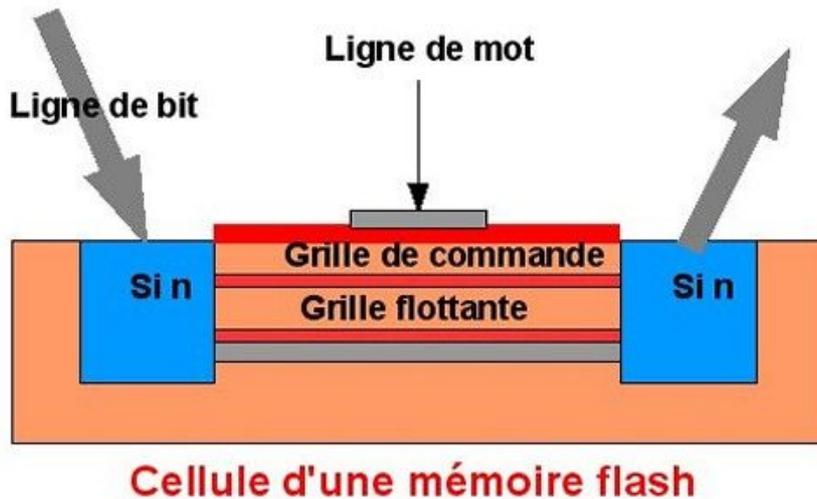
La mémoire flash stocke des informations dans un réseau de cellules de mémoire à base de transistors à effets de champ du type FG MOS (floating-gate MOSFET). Dans les dispositifs traditionnels cellule à niveau unique (SLC), chaque cellule stocke un seul bit d'information. Certaines mémoires flash plus récentes, sont des cellules multi-niveaux dites MLC (multi-level cell). Il existe 2 technologies (NOR et NAND).

Exemple de fonctionnement d'une mémoire flash Nand :

Pour écrire une donnée, on doit faire passer un courant électrique (7 V) entre les deux électrodes (drain et source) et une tension plus élevée (aux environs de 12 V) dans la grille de contrôle. L'effet Fowler-Nordheim implique qu'une partie des électrons qui passent entre les électrodes va se déplacer vers la grille flottante, à travers l'oxyde. Une fois la grille saturée avec des électrons, elle devient isolante et est considérée comme un 0 binaire.

L'effacement d'une cellule s'effectue de la même façon, mais en faisant passer une tension négative dans la grille de contrôle. Les électrons se déplacent alors de la grille flottante vers le substrat. Une fois la grille flottante « vidée » de ses électrons, elle est considérée comme un 1 binaire.





Le point mémoire est constitué de deux transistors MOS disposés en sandwich, à l'intersection de la ligne de mot, sélectionnée par l'adresse du mot que l'on veut atteindre et de la ligne de bit, correspondant au bit dans le mot. Ces deux transistors constituent respectivement la grille de commande et la grille flottante. La tension sur la grille de la ligne de mot (grille de commande) agit sur le courant en bas (ligne grise). Lorsque la mémoire est livrée il n'y a pas de charge dans la grille flottante, ce qui correspond à la valeur 1. Pour mettre cette cellule à 0 il faut appliquer une tension entre source et drain qui créera un courant si une tension est également appliquée sur la grille de commande. Si ce courant est suffisant, un certain nombre des électrons de ce courant traversent la couche d'oxyde (en rouge) et restent piégés dans la grille flottante même après que la tension a été coupée.

Pour la lecture, c'est assez simple : il faut mesurer la résistance de la grille flottante, en faisant passer une tension faible (5 V) dans la grille de contrôle et dans une des électrodes. Si les électrons passent entre la grille de contrôle et l'électrode, la grille flottante n'est pas isolante, on a un 1 binaire. Si le courant ne passe pas, on a un 0 binaire. La lecture est donc plus rapide que l'écriture ou l'effacement, car on ne doit pas remplir ou vider la grille flottante avec des électrons.

Durée de vie

Le nombre de cycles écriture/lecture est limité aujourd'hui à 100.000 environ. La raison en est que ces écritures nécessitent l'application de tensions élevées qui endommagent peu à peu la zone écrite. En revanche, les lectures même répétées ne lui causent aucun dommage.

Les cartes mémoires

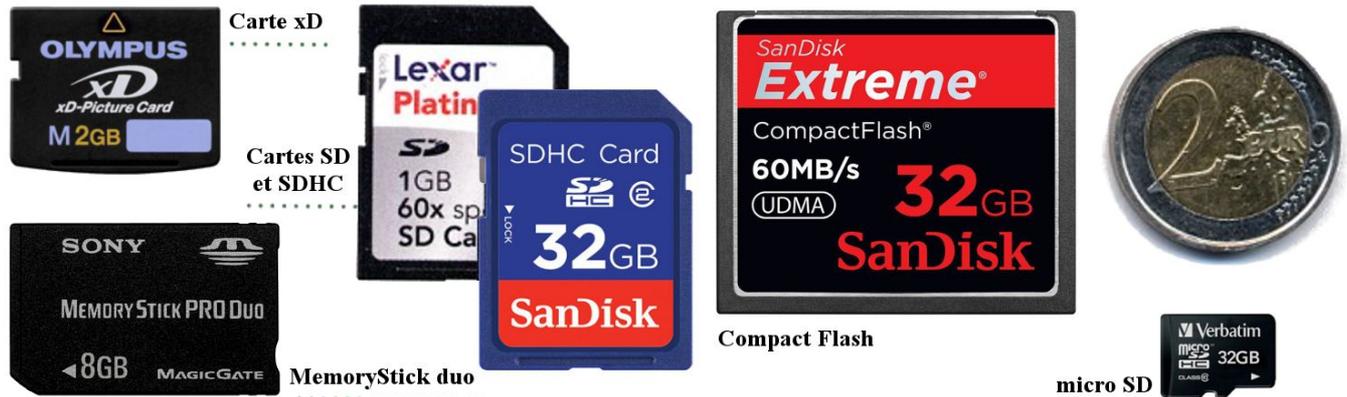
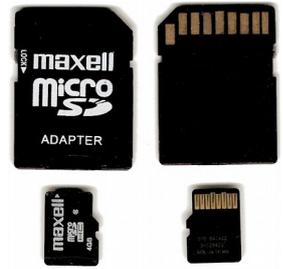
Les appareils photos, caméras numériques, lecteurs de musique, smartphones actuels sont équipés de cartes mémoires, elles aussi de type flash.

Tout les formats suivants sont basés sur des mémoires Flash :

- CompactFlash (CF) : Il s'agit en fait de cartes PCMCIA raccourcies. On distingue les cartes CompactFlash de type I (CFI) et de type II (CFII) qui se distinguent par l'épaisseur. Dans les cartes CompactFlash, on trouve aussi les Microdrive.
- SmartMedia cards (SM)
- xD Card : Nouveau format développé par Olympus et Fujifilm, censé remplacer les SmartMedia.
- MultiMedia cards (MMC) : Cartes en voie d'obsolescence au profit de la SD.
- Secure Digital (SD) : Elles ont le même format physique que les MMC et sont compatibles avec celles-ci. Elles s'en distinguent par la possibilité de chiffrer les données et de gérer les « droits d'auteurs ».



- Mini SD : version réduite de la SD classique, utilisée dans certains téléphones mobiles anciens, elle est généralement livrée avec un adaptateur pour les lecteurs SD classiques.
- Micro SD ou Transflash : version minuscule de la SD, souvent utilisée dans les téléphones portables et également vendue avec un adaptateur pour les SD classiques.
- SDHC : (SD High Capacity) SD version haute capacité, pour pallier la limite des 4 Go des SD classiques, elles sont déclinées dans les 3 formats SD, Mini SD et Micro SD
- SSD : Solid State Drive . c'est une unité de stockage à base de Flash
- MemoryStick : Développé par Sony Corporation et SanDisk. Il existe un nouveau format, le « MemoryStick Duo » et aussi « MemoryStick Pro Duo ».
- MemoryStick Micro M2 : Mémoire minuscule utilisée dans les téléphones portable Sony Ericsson, généralement vendue avec un adaptateur pour les lecteurs memorystick classiques.



4.6 Les supports optiques (CD, DVD, ...)

Le disque compact repose sur une méthode optique : un faisceau de lumière cohérente (laser : « Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation », en français, « amplification de la lumière par émission stimulée de rayonnement ») vient frapper le disque en rotation. Les irrégularités (cavités) dans la surface réfléchissante de celui-ci produisent des variations binaires. Le rayon réfléchi est enregistré (ou non) par un capteur selon l'angle d'incidence.



Histoire

Le disque compact fut inventé conjointement par les firmes Philips et Sony Corporation. Il est à l'origine exclusivement dédié à la musique avant d'être utilisé en informatique sous l'appellation CD-ROM.

Ce CD-ROM (abréviation de Compact Disc Read Only Memory) est un disque compact contenant toutes sortes de données numériques destinées à être lues par un ordinateur. Le CD-ROM est une évolution du disque compact original, qui est dédié aux données numériques musicales prévues pour un lecteur de CD de chaîne Hi-fi. Les cédéroms ont supplanté les disquettes dans la distribution des logiciels et autres données informatiques avant d'être à leur tour supplantés aux cours des années 2000 par le téléchargement et les mémoires flash.

Description

Un CD-ROM ne contient que des données non modifiables : il peut être lu par un lecteur de disque optique (lecteur CD), mais ne peut être écrit que par un graveur industriel.

C'est un disque optique en matière plastique, de 12 cm de diamètre pour 1,2 mm d'épaisseur. Cela en fait un support très léger, pouvant contenir de 650 ou 700 Mo de données informatiques, soit

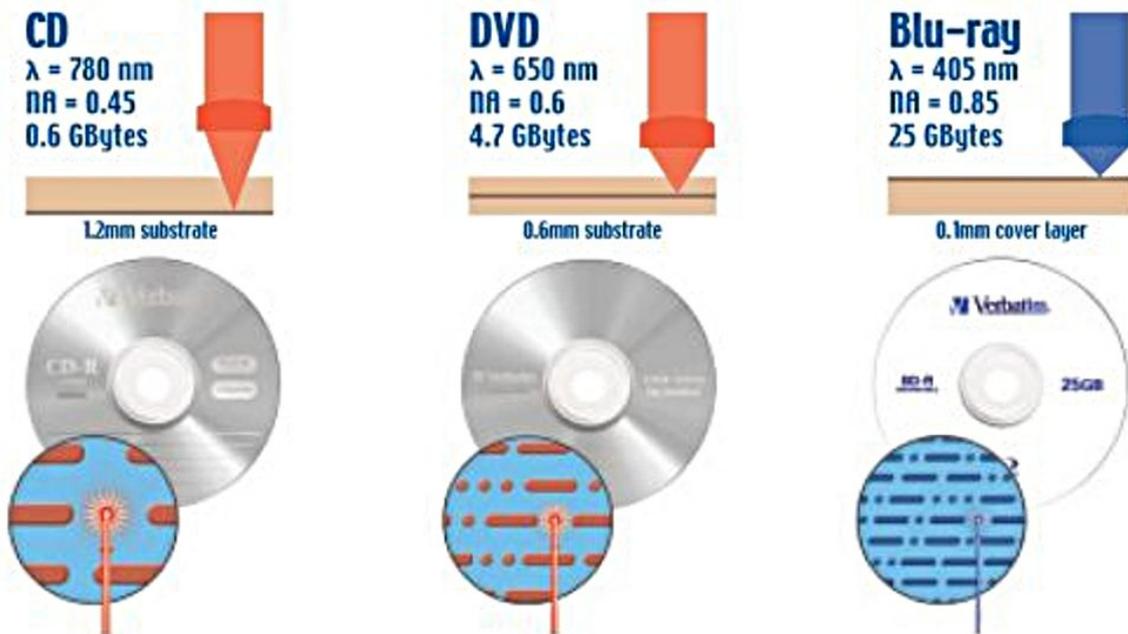
respectivement 74 ou 80 minutes d'enregistrement audio dans le format de données des disques compacts originaux (16 bits, stéréo, non compressé, 44 100 Hz).

Comme le procédé de lecture est optique (fait à l'aide de lumière), il n'est pas soumis à l'usure mécanique directe.

Dans la pratique, il est en fait assez modérément fiable : s'il est censé conserver les données durant une centaine d'années, cet argument a été sur-vendu et la réalité se rapprocherait plutôt des dix, voire cinq ans, même en entourant le produit de protections adaptées. Le matériau plastique est en effet sensible aux rayonnements ultraviolets contenu dans la lumière, à la chaleur, et aux rayures de surface (frottements durant les manipulations) qui entraînent rapidement des erreurs de lectures, puis l'impossibilité totale de le lire.

Les différents formats.

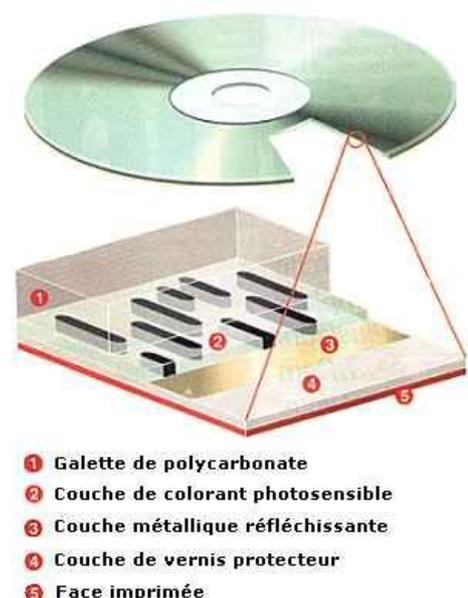
La technologie va évoluer et les CD-ROM vont peu à peu céder leur place aux DVD puis aux Blu-ray. Il va aussi exister des disques sur lesquels on pourra lire et surtout écrire des données, soit une seule fois (CD-R ou DVD-R) soit de nombreuses fois (CD-RW ou DVD-RW).



Technologie

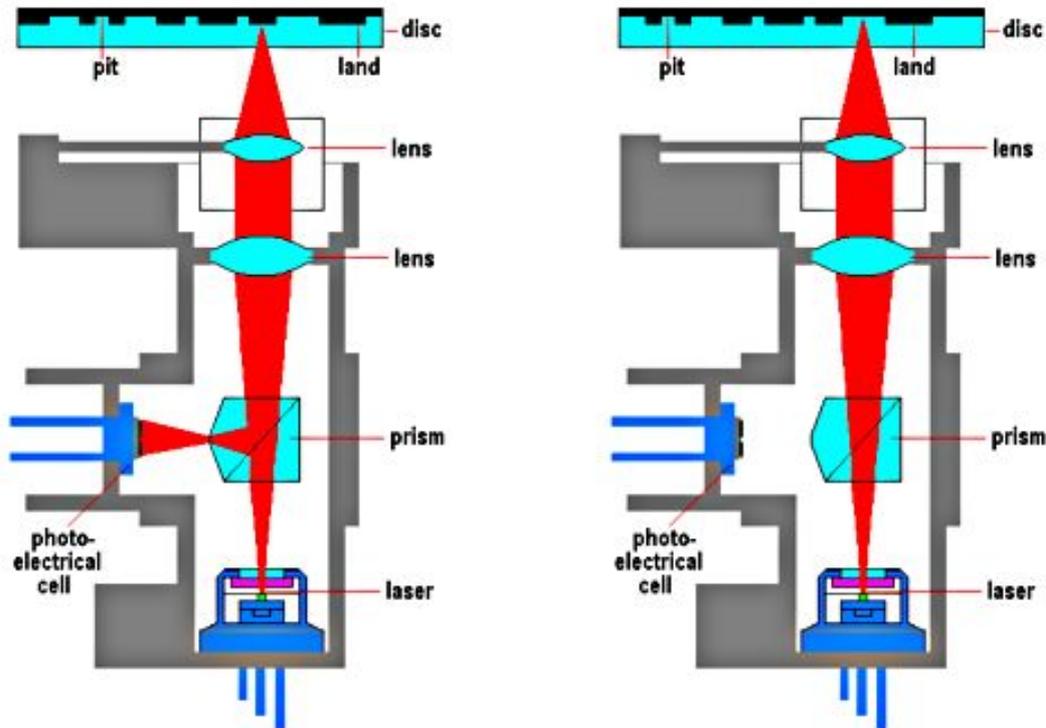
Les disques compacts sont constitués d'une galette de polycarbonate (plastique) de 1,2 millimètre d'épaisseur recouverte d'une fine couche d'aluminium (ou d'or sur les disques à longue durée de vie) protégée par un film de laque (vernis). Ce film peut aussi être imprimé pour illustrer le disque.

Les informations sont codés sous forme de bosses ou creux. Les creux et les bosses ne représentent pas directement les «0» et les «1» des informations binaires. C'est le passage d'un creux à une bosse ou d'une bosse à un creux qui indique un «1». S'il n'y a pas de passage bosse-creux, alors il s'agit d'un «0». On appelle cela un «front». La taille d'un bit sur le CD correspond à la distance parcourue par le faisceau lumineux en 231,4 ns (nanosecondes).

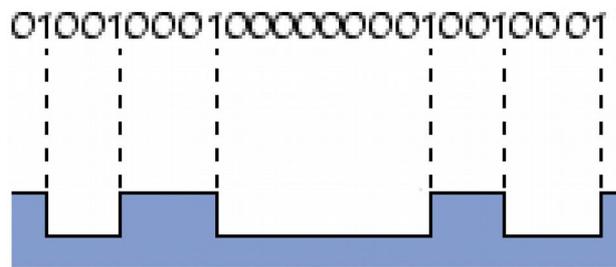


Principe :

Une diode laser émet un faisceau. Ce faisceau traverse un miroir semi-réfléchissant et va frapper la surface du disque sur laquelle il se réfléchit. Suivant le changement de type de surface rencontré (alternance plat/bosse), le faisceau lumineux est réfléchi différemment. L'onde réfléchie atteint ensuite un capteur de lumière associé à un système électronique qui convertit le signal en 0 ou 1.



En détail : un faisceau de lumière cohérente (laser) vient frapper le disque en rotation. Les irrégularités (appelées « pits », cavités dont la longueur oscille entre $0,833$ et $3,56 \mu\text{m}$, et la largeur de $0,6 \mu\text{m}$) dans la surface réfléchissante de celui-ci produisent des variations binaires. Le rayon réfléchi est enregistré par un capteur. Plus précisément, lorsque le faisceau passe de la surface plane à cette cavité, il se produit des interférences : lorsque le faisceau ne rencontre qu'une surface plane, la longueur d'onde reçue par le capteur est identique à celle émise par la diode, et fait correspondre à cet état la valeur binaire 0 ; quand le faisceau passe sur le pit (front : creux puis bosse), le capteur détecte les interférences et la valeur binaire 1 est attribuée.



V. Organisation et structures des données

Un **système de fichiers** (abrégé « FS » pour File System en anglais) ou système de gestion de fichiers est une façon de stocker les informations et de les organiser dans des fichiers. Il existe de multiples façon de structurer un système de fichiers. L'objectif du système de fichiers est de permettre l'accès au contenu des fichiers stockés (l'ouverture du fichier, son enregistrement sa copie ou son déplacement dans un second emplacement, ou sa suppression) à partir de leur chemin d'accès, formé d'un nom précédé d'une liste de répertoires imbriqués.

Différentes méthodes permettent d'associer un nom de fichier à son contenu. Dans le cas du système de fichiers FAT, ancien système de fichiers de MS-DOS et de Windows encore largement utilisé sur les supports amovibles comme les clés USB, chaque répertoire contient une table associant les noms de fichiers à leur taille et un index pointant vers la table d'allocation de fichiers, une zone réservée du disque indiquant pour chaque bloc de données l'index du bloc suivant du même fichier.

L'organisation du système de fichiers **NTFS** apparu au début des années 2000 est plus complexe, fonctionnant un peu à la façon d'une base de données.

Dans le cas des systèmes de fichier d'Unix, les fichiers et les répertoires sont identifiés par un numéro unique, le numéro d'inode. Ce numéro permet d'accéder à une structure de données (inode) regroupant toutes les informations sur un fichier à l'exception du nom, notamment la protection d'accès en lecture, en écriture ou des listes de dates, ainsi que le moyen d'en retrouver le contenu. Le nom est stocké dans le répertoire associé à un numéro d'inode. Cette organisation présente l'avantage qu'un fichier unique sur disque peut être connu du système sous plusieurs noms.

Le système de fichier Apple est le **HFS** (Hierarchical File System) ou HFS+.

Chaque constructeur, fabricant, entreprise y va quasiment de son propre système de gestions de fichiers (Microsoft, unix, Apple, Samsung, ...). Quand on va choisir de formater un système de stockage informatique (par exemple un disque dur) il va falloir choisir le système de fichier car ils ne sont pas compatibles entre eux et certains systèmes n'en lisent qu'un seul type (celui de leur concepteur) alors que d'autres peuvent en lire plusieurs.

Un premier exemple : le système de fichier FAT16

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 (c'est une sorte de sommaire). Étant 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.

Le système de fichiers FAT est donc un système 16 bits, cela signifie qu'il ne peut pas adresser les clusters (un cluster ou bloc est la plus petite unité de stockage d'un système de fichiers) 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 ($32 \times 2^{16} = 2097152 \text{Ko} = 2048 \text{Mo} = 2 \text{Go}$).

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 16Ko seront perdus par fichier...

- clusters de 512 octets : partitions de 2 à 32 Mo ($512 \times 2^{16} = 32\text{Mo}$) ;
- clusters de 1 Ko : partitions de 4 à 64 Mo ($1024 \times 2^{16} = 64\text{Mo}$);
- clusters de 2 Ko : partitions de 8 à 128 Mo ;
- clusters de 4 Ko : partitions de 16 à 256 Mo ;
- clusters de 8 Ko : partitions de 32 à 512 Mo ;
- clusters de 16 Ko : partitions de 64 à 1 024 Mo, c'est-à-dire 1 Go ;
- clusters de 32 Ko : partitions de 128 à 2 048 Mo, c'est-à-dire 2 Go ;

La table d'allocation des fichiers

La Table d'Allocation de Fichiers est une liste de valeurs numériques permettant de décrire l'allocation des clusters d'une partition, c'est-à-dire l'état de chaque cluster de la partition dont elle fait partie. La table d'allocation est en fait un tableau dont chaque cellule correspond à un cluster. Chaque cellule contient un chiffre qui permet de savoir si le cluster qu'elle représente est utilisé par un fichier, et, le cas échéant, indique l'emplacement du prochain cluster que le fichier occupe. On obtient donc une chaîne FAT, c'est-à-dire une liste chaînée de références pointant vers les différents clusters successifs, jusqu'au cluster de fin de fichier. Chaque entrée de la FAT a une longueur de 16 ou 32 bits (selon qu'il s'agit d'une FAT16 ou d'une FAT32). Les deux premières entrées permettent de stocker des informations sur la table elle-même, tandis que les entrées suivantes permettent de référencer les clusters. Certaines entrées peuvent contenir des valeurs indiquant un état du cluster spécifique. Ainsi la valeur 0000 indique que le cluster n'est pas utilisé, FFF7 permet de marquer le cluster comme défectueux pour éviter de l'utiliser, et les valeurs comprises entre FFF8 et FFFF spécifient que le cluster contient la fin d'un fichier. Chaque partition contient en réalité deux copies de la table, stockées de manière contiguë sur le disque, afin de pouvoir la récupérer si jamais la première copie est corrompue.

L'évolution FAT32 :

Utilisant des adresses sur 28 bits (et non pas 32!), il permet de constituer des unités d'allocation de taille réduite sur des disques de taille importante

La capacité des partitions peut s'élever jusqu'à 2 To :

- clusters de 4 ko : partitions de 1 To ($2^{28} \times 4\text{ko} = 1\text{ To}$);
- clusters de 8 ko : partitions de 2 To ;

L'évolution exFAT (FAT64) :

Le système de fichiers exFAT (Extended File Allocation Table) est l'évolution du système FAT32 pour les mémoires flash et les supports de stockage externes (disques durs et assimilés) de grandes capacités. Cela permet notamment d'avoir des fichiers dont la taille dépasse 4Go (la limite de FAT32) et des partitions jusqu'à 64 Zio (1 Zio est équivalent à environ 1 milliard de Tio ou 1,1 milliards de To, 1 073 741 824 plus exactement) contre 2 To pour FAT32

La suite : NTFS :

NTFS (New Technology File System) est un système de fichiers développé par Microsoft Corporation pour sa famille de systèmes d'exploitation Windows NT, à partir de Windows NT 3.1, Windows 2000 et tous leurs successeurs à ce jour (XP, Server 2003, 7, 8, etc.). NTFS est le successeur du système de fichiers FAT comme système de fichiers de prédilection des systèmes d'exploitation Microsoft Windows. Il est sur 64 bits. Le nom des fichiers peut aller jusqu'à 255 caractères. Il rajoute une notion de sécurité

Taille des clusters = 512b, 1kb, 2kb, 4kb, 8kb, ...64kb

Taille max : 16 EiB

L'exbibyte est une unité d'information de stockage informatique.

Il est une contracture de EXa BInary BYte. Son abréviation est EiB. 1 exbibyte = 2^{60} bytes

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

VI. Le cloud

Le cloud computing, ou l'informatique en nuage (Cloud = nuage en anglais), est l'exploitation de la puissance de calcul et surtout de stockage de serveurs informatiques distants par l'intermédiaire d'un réseau, généralement l'internet. Ces serveurs sont loués à la demande, le plus souvent par tranche d'utilisation selon des critères techniques (puissance, bande passante, etc.).

Pour les fournisseurs, le développement du cloud computing entraîne le développement des centres de données ou datacenters. Les fournisseurs de service doivent augmenter leurs infrastructures (serveurs, bande passante, surface au sol...) pour faire face aux besoins croissants des clients.

Pour les utilisateurs, particuliers et entreprises, la location de services associée au cloud computing permet généralement de réaliser des économies à court terme. Mais le coût total à moyen et long terme peut se révéler, au bout de quelques années, supérieur au coût d'une application hébergée en interne. Cela dépend du mode d'utilisation (fréquence, nombre d'utilisateurs...) et de la durée de vie de l'application.



Avantages

Le cloud computing peut permettre d'effectuer des économies, notamment grâce à la mutualisation des services sur un grand nombre de clients. Certains analystes indiquent que 20 à 25 % d'économies

pourraient être réalisées par les gouvernements sur leur budget informatique s'ils migraient vers le cloud computing.

L'abonnement à des services de cloud computing peut permettre à l'entreprise de ne plus avoir à acquérir des actifs informatiques comptabilisés dans le bilan et nécessitant une durée d'amortissement. Les dépenses informatiques peuvent être comptabilisées en tant que dépenses de fonctionnement.

La maintenance, la sécurisation et les évolutions des services étant à la charge exclusive du prestataire, dont c'est généralement le cœur de métier, celles-ci ont tendance à être mieux réalisées et plus rapidement que lorsque sous la responsabilité du client (principalement lorsque celui-ci n'est pas une organisation à vocation informatique).

Les données sont accessibles facilement et de partout (il suffit d'avoir un accès au réseau internet).

Inconvénients

Plusieurs catégories d'inconvénients existent :

- L'utilisation des réseaux publics, dans le cas du cloud public, entraîne des risques liés à la sécurité du cloud. En effet, la connexion entre les postes et les serveurs applicatifs passe par le réseau internet, et expose à des risques supplémentaires de cyberattaques, et de violation de confidentialité. Le risque existe pour les particuliers, mais aussi pour les entreprises, qui ont depuis longtemps protégé leurs serveurs et leurs applications des attaques venues de l'extérieur grâce à des réseaux internes cloisonnés.
- Le client d'un service de cloud computing devient très dépendant de la qualité du réseau pour accéder à ce service. Aucun fournisseur de service cloud ne peut garantir une disponibilité de 100 %.
- Les entreprises perdent la maîtrise de l'implantation de leurs données. De ce fait, les interfaces inter-applicatives (qui peuvent être volumineuses) deviennent beaucoup plus complexes à mettre en œuvre que sur une architecture hébergée en interne.
- Les entreprises n'ont plus de garanties (autres que contractuelles) de l'utilisation qui est faite de leurs données, puisqu'elles les confient à des tiers.
- Les questions juridiques posées notamment par l'absence de localisation précise des données du cloud computing. Les lois en vigueur s'appliquent, mais pour quel serveur, quel data center, et surtout quel pays ?
- Du fait que l'on ne peut pas toujours exporter les données d'un service cloud, la réversibilité (ou les coûts de sortie associés) n'est pas toujours prise en compte dans le cadre du projet. Le client se trouve souvent « piégé » par son prestataire et c'est seulement lorsqu'il y a des problèmes (changement des termes du contrat ou des conditions générales d'utilisation, augmentation du prix du service, besoin d'accéder à ses données en local, etc.) qu'il se rend compte de l'enfermement propriétaire dans lequel il se trouve.
- L'impact écologique est important (datacenters fonctionnant 24h/24). À titre d'illustration, si l'ensemble des datacenters du cloud constituaient un pays, celui-ci viendrait au quatrième rang mondial des plus grands consommateurs d'énergie.

Au final on peut, comme certains le disent, considérer que l'informatique dans le nuage « est un piège ». En effet les utilisateurs perdent le contrôle de leurs applications et de leurs données.

VII. Redondances des données (RAID,....)

Le système RAID est :

- soit un système de redondance qui donne au stockage des données une certaine tolérance aux pannes matérielles (ex : RAID1).
- soit un système de répartition qui améliore ses performances (ex : RAID0).
- soit les deux à la fois, mais avec une moins bonne efficacité (ex : RAID5).

Ce système de contrôle peut être purement logiciel ou utiliser un matériel dédié.

Le RAID matériel

Dans le cas du RAID matériel, une carte ou un composant est dédié à la gestion des opérations. Le contrôleur RAID peut être interne à l'unité centrale (carte d'extension) ou déporté dans une baie de stockage.

Un contrôleur raid est en général doté d'un processeur spécifique, de mémoire, éventuellement d'une batterie de secours, et est capable de gérer tous les aspects du système de stockage RAID grâce au microcode embarqué (firmware).

Du point de vue du système d'exploitation, le contrôleur RAID matériel offre une virtualisation complète du système de stockage. Le système d'exploitation considère chaque volume RAID comme un disque et n'a pas connaissance de ses constituants physiques.

Avantages :

- Les contrôleurs RAID matériels permettent la détection des défauts, le remplacement à chaud des unités défectueuses et offrent la possibilité de reconstruire de manière transparente les disques défectueux. Mais les systèmes d'exploitation évolués permettent également cela si le matériel le permet.
- La charge système (principalement l'occupation du bus) est allégée. (surtout dans des configurations avec beaucoup de disques et une forte redondance)
- Les vérifications de cohérence, les diagnostics et les maintenances sont effectués en arrière-plan par le contrôleur sans solliciter de ressources système.

Inconvénients :

- Les contrôleurs RAID matériels utilisent chacun leur propre système pour gérer les unités de stockage. En conséquence, au contraire d'un RAID logiciel, des disques transférés d'un système à un autre ne pourront pas être récupérés si le contrôleur RAID n'est pas exactement le même (firmware compris). Il est donc conseillé de posséder une deuxième carte en cas de panne de la première.
- Les cartes d'entrée de gamme possèdent des processeurs de puissance bien inférieure à celle des ordinateurs actuels. On peut donc avoir de bien moins bonnes performances pour le même prix qu'un RAID logiciel.

Remarque : le contrôleur RAID est lui-même un composant matériel, qui peut tomber en panne. Son logiciel (firmware) peut contenir des erreurs, ce qui constitue un autre risque de panne.

Les différents types d'architecture RAID sont numérotés à partir de 0 et peuvent se combiner entre eux (on parlera alors de RAID 0+1, 1+0, etc.).

Les RAID les plus courants :

RAID 0 : volume agrégé par bandes

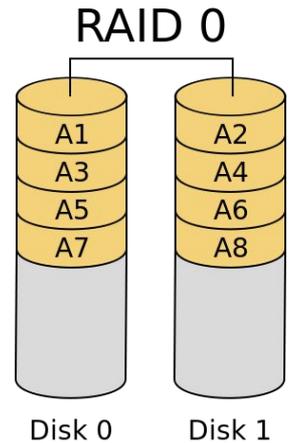
Le RAID 0, également connu sous le nom d'« entrelacement de disques » ou de « volume agrégé par bandes » (striping en anglais), est une configuration RAID permettant d'augmenter significativement les performances de la grappe (ensemble de disques durs) en faisant travailler n disques durs en parallèle.

Capacité :

- La capacité totale est égale à celle du plus petit élément de la grappe multiplié par le nombre d'éléments présent dans la grappe, car le système d'agrégation par bandes se retrouvera bloqué une fois que le plus petit disque sera rempli (voir schéma). L'espace excédentaire des autres éléments de la grappe restera inutilisé. Il est donc conseillé d'utiliser des disques de même capacité.

Fiabilité :

- Le défaut de cette solution est que la perte d'un seul disque entraîne la perte de toutes ses données.



RAID 1 : Disques en miroir

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

Capacité :

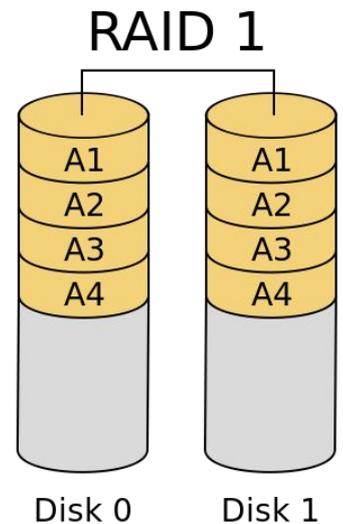
- La capacité totale est égale à celle du plus petit élément de la grappe. L'espace excédentaire des autres éléments de la grappe restera inutilisé. Il est donc conseillé d'utiliser des éléments identiques.

Fiabilité :

- Cette solution offre un excellent niveau de protection des données. Elle accepte une défaillance de n-1 éléments.

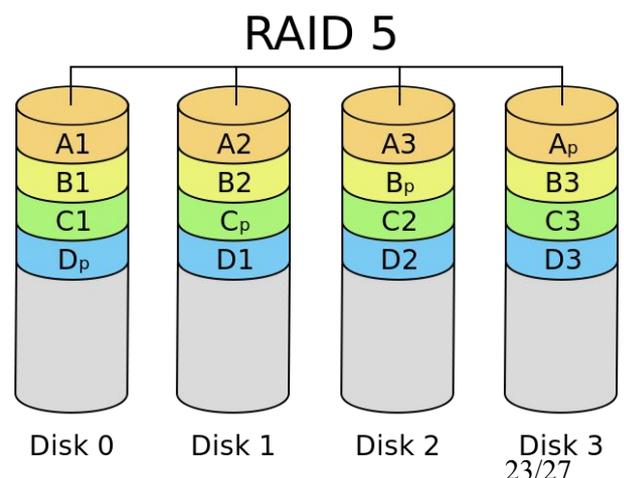
Coût :

- Les coûts de stockage sont élevés et directement proportionnels au nombre de miroirs utilisés alors que la capacité utile reste inchangée. Plus le nombre de miroirs est élevé, et plus la sécurité augmente, mais plus son coût devient prohibitif.



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. Il s'agit là d'un ensemble à redondance N+1. La parité, qui est incluse avec chaque écriture se retrouve répartie circulairement sur les différents disques. Chaque bande est donc constituée de N blocs de données et d'un bloc de parité. Ainsi, en cas de défaillance de l'un des disques de la grappe, pour chaque



bande il manquera soit un bloc de données soit le bloc de parité. Si c'est le bloc de parité, ce n'est pas grave, car aucune donnée ne manque. Si c'est un bloc de données, on peut calculer son contenu à partir des N-1 autres blocs de données et du bloc de parité. L'intégrité des données de chaque bande est préservée. Donc 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 parité contenues sur les autres disques.

On voit donc que le RAID 5 ne supporte la perte que d'un seul disque à la fois. Ce qui devient un problème depuis que les disques qui composent une grappe sont de plus en plus gros (1 To et plus). Le temps de reconstruction de la parité en cas de disque défaillant est allongé. Il est généralement de 2 h pour des disques de 300 Go contre une dizaine d'heures pour 1 To. Pour limiter le risque il est courant de dédier un disque dit de spare. En régime normal il est inutilisé. En cas de panne d'un disque, il prendra automatiquement la place du disque défaillant. Cela nécessite une phase communément appelée "recalcul de parité". Elle consiste pour chaque bande à recréer sur le nouveau disque le bloc manquant (données ou parité).

Parité et redondance

La mise en miroir 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.

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.

VIII. Exercices

Exercice 1 :

On veut écrire la phrase suivante "Je suis en 1ère STI 2D" sur une bande perforée de 8 bits (on utilisera les codes ASCII) :

0	<NUL>	32	<SPC>	64	@	96	`	128	Ä	160	†	192	ı	224	‡
1	<SOH>	33	!	65	A	97	a	129	Å	161	°	193	ı	225	·
2	<STX>	34	"	66	B	98	b	130	Ç	162	¢	194	ı	226	,
3	<ETX>	35	#	67	C	99	c	131	É	163	£	195	√	227	„
4	<EOT>	36	\$	68	D	100	d	132	Ñ	164	§	196	f	228	%
5	<ENQ>	37	%	69	E	101	e	133	Ö	165	•	197	≈	229	À
6	<ACK>	38	&	70	F	102	f	134	Ü	166	¶	198	Δ	230	Ê
7	<BEL>	39	'	71	G	103	g	135	á	167	ß	199	«	231	Á
8	<BS>	40	(	72	H	104	h	136	à	168	®	200	»	232	Ë
9	<TAB>	41	)	73	I	105	i	137	â	169	©	201	…	233	È
10	<LF>	42	*	74	J	106	j	138	ä	170	™	202	…	234	Í
11	<VT>	43	+	75	K	107	k	139	ā	171	ˆ	203	À	235	Î
12	<FF>	44	,	76	L	108	l	140	â	172	˜	204	Ã	236	İ
13	<CR>	45	-	77	M	109	m	141	ç	173	≠	205	Ö	237	ı
14	<SO>	46	.	78	N	110	n	142	é	174	Æ	206	Œ	238	Ó
15	<SI>	47	/	79	O	111	o	143	è	175	∅	207	œ	239	Ô
16	<DLE>	48	0	80	P	112	p	144	ê	176	∞	208	-	240	•
17	<DC1>	49	1	81	Q	113	q	145	ë	177	±	209	—	241	Ò
18	<DC2>	50	2	82	R	114	r	146	í	178	≤	210	"	242	Ú
19	<DC3>	51	3	83	S	115	s	147	ì	179	≥	211	"	243	Û
20	<DC4>	52	4	84	T	116	t	148	î	180	¥	212	'	244	Ü
21	<NAK>	53	5	85	U	117	u	149	ï	181	µ	213	'	245	ı
22	<SYN>	54	6	86	V	118	v	150	ñ	182	∂	214	÷	246	ˆ
23	<ETB>	55	7	87	W	119	w	151	ó	183	Σ	215	◊	247	˜
24	<CAN>	56	8	88	X	120	x	152	ò	184	Π	216	ÿ	248	˘
25		57	9	89	Y	121	y	153	ô	185	π	217	ÿ	249	˙
26	<SUB>	58	:	90	Z	122	z	154	ö	186	∫	218	/	250	˚
27	<ESC>	59	;	91	[	123	{	155	ø	187	ª	219	€	251	¸
28	<FS>	60	<	92	\	124	|	156	ú	188	º	220	<	252	˝
29	<GS>	61	=	93	]	125	}	157	ù	189	Ω	221	>	253	˞
30	<RS>	62	>	94	^	126	~	158	û	190	æ	222	fi	254	˟
31	<US>	63	?	95	_	127		159	ü	191	ø	223	fi	255	ˠ

1. Dessiner la bande perforée que l'on obtiendrait
2. Sachant que la largeur d'une série de perforation (pour un code) vaut 0.5cm, quelle sera la longueur de la bande nécessaire pour écrire cette question.

Exercice 2 :

Soient les supports d'informations suivants :

- Disque dur de capacité 2To.
- Clé USB 32 Go
- Disquette de capacité 1,44 Méga octets.
- CD ROM de capacité 700 Méga octets.

1. Donnez la capacité de chaque support en kilo octets.
2. De combien de disquettes le disque dur est-il l'équivalent ?
3. De combien de CD ROM le disque dur est-il l'équivalent ?
4. Combien de caractères (codés en ASCII) peut contenir ces 4 supports ?

Exercice 3 : système de fichiers (FAT16/FAT32)

Avant d'utiliser un disque dur, on doit le partitionner et le formater :

1. En prenant 8 Ko comme taille d'un cluster, quelle est le nombre de clusters nécessaire à l'enregistrement d'un fichier de 2 Mo ?

2. Compléter le tableau suivant en précisant la taille maximale d'une partition suivant la taille des clusters et du système de fichiers utilisé.

Taille d'un cluster	Taille maximale de la partition	
	Système de fichier FAT16	Système de fichier FAT32
1 Ko	64 Mo	xxxxxx
4Ko	256 Mo	8 Go
8Ko		
16Ko		
32Ko		

Exercice 4 : Serveur en mode RAID 5

- Combien de disque au minimum avez-vous besoin pour mettre en place un RAID 5 au niveau de notre serveur?
- Notre serveur dispose de 5 disques durs de 500 Go chacun. Ces disques sont montés en RAID5. Quel est l'espace disque total utilisable ?

On dispose d'un 2^{ème} serveur composé de 3 disques durs dont la répartition des données est la suivante:

Disque 1	Disque 2	Disque 3
Bloc 1	Bloc 2	Parité (blocs 1-2)
Parité (blocs 3-4)	Bloc 3	Bloc 4
Bloc 5	Parité (blocs 5-6)	Bloc 6
.....

3. Le 2^{ème} disque dur tombe en panne. Retrouvez les données perdues :

Disque 1	Disque 2	Disque 3
0		1
1		1
1		0
0		0
1		1
1		0
0		0

On dispose d'un autre serveur qui est cette fois en RAID combiné : RAID 0 +1
la répartition des données est la suivante:

Disque 1	Disque 2	Disque 3	Disque 4
Bloc 1	Bloc 2	Bloc 1	Bloc 2
Bloc 3	Bloc 4	Bloc 3	Bloc 4
.....

Chaque disque dur a une capacité de 500Go.

4. Quelles est la capacité totale de stockage sur ce serveur ?

5. Le disque 3 tombe en panne : retrouvez les données perdues :

Disque 1	Disque 2	Disque 3	Disque 4
0	1		1
1	1		1
1	0		0
0	0		0
1	1		1
1	0		0
0	0		0

6. Quel est le gros inconvénient du RAID 0+1 par rapport au RAID 5 ?