

La mémoire des disques durs

JON TOIGO

Les physiciens et les ingénieurs de l'industrie micro-électronique devront mettre en œuvre des principes physiques nouveaux pour augmenter la capacité des disques durs

Dans de nombreuses entreprises, le volume de données informatiques stockées double chaque année. Regroupant des informations sur plusieurs disques durs, de nombreuses organisations gèrent aujourd'hui jusqu'à des téraoctets d'information (un téraoctet correspond à environ 10 000 milliards de chiffres 0 ou 1). Grâce à des programmes qui récupèrent les données et les analysent, les sociétés analysent des tendances, améliorent les services qu'elles proposent, coordonnent leurs lignes de production, etc. Parallèlement, les utilisateurs d'ordinateurs personnels conservent sans compter d'importantes quantités d'informations : messages électroniques, photographies, logiciels de jeux...

Ces applications ne sont possibles que grâce aux disques durs magnétiques qui ont été mis au point ces dernières années. L'évolution est fulgurante : aujourd'hui, la capacité de ces disques performants et peu onéreux double tous les neuf mois, alors que les performances des puces électroniques, qui suivent la loi de Moore, ne doublent que tous les 18 mois. Le prix moyen par million d'octets (un octet est égal à huit bits, ou chiffres binaires 0 ou 1), pour les disques durs, est passé de 70 francs en 1988 à 10 centimes en 1999, et l'on prévoit qu'il sera à moins de 2 centimes en 2002. Le marché des disques durs est considérable : 145 millions de disques durs ont été vendus en 1998 et 170 millions en 1999 (voir la figure 2).

Cette croissance se poursuivra-t-elle ? Et des progrès techniques sont-ils encore possibles ? On découvre aujourd'hui que la technique atteint

une limite due à l'« effet superparamagnétique ». Cet effet apparaît quand l'énergie utilisée pour le stockage magnétique d'un chiffre binaire 0 ou 1 est comparable à l'énergie d'agitation thermique : les fluctuations perturbent le stockage. Cherchant à accroître la capacité des disques durs, les ingénieurs ont rétréci les zones magnétiques et s'approchent à grands pas de la barrière fatidique. La limite due à cet effet devrait être atteinte vers 2005. Comment progresser encore ? Plusieurs solutions sont étudiées.

Des merveilles magnétiques

Les disques durs contiennent aujourd'hui des piles de plateaux, formés chacun d'un support en aluminium ou en verre, recouvert de matériau magnétique et de couches protectrices. De part et d'autre de chaque plateau, des têtes d'écriture enregistrent des informations en aimantant de petits secteurs, nommés domaines, alignés dans le sens de la longueur selon des pistes concentriques (voir l'encadré des pages 68 et 69) ; des têtes de lecture récupèrent l'information en détectant les aimantations. Des bras mécaniques pilotés par des moteurs déplacent les têtes avec précision au-dessus des pistes, tandis qu'un système hydrodynamique ajuste la hauteur des têtes à quelques fractions de micromètres au-dessus de la surface des disques. Un moteur fait tourner la pile de disques à une vitesse de 3 600 à 10 000 tours par minute.

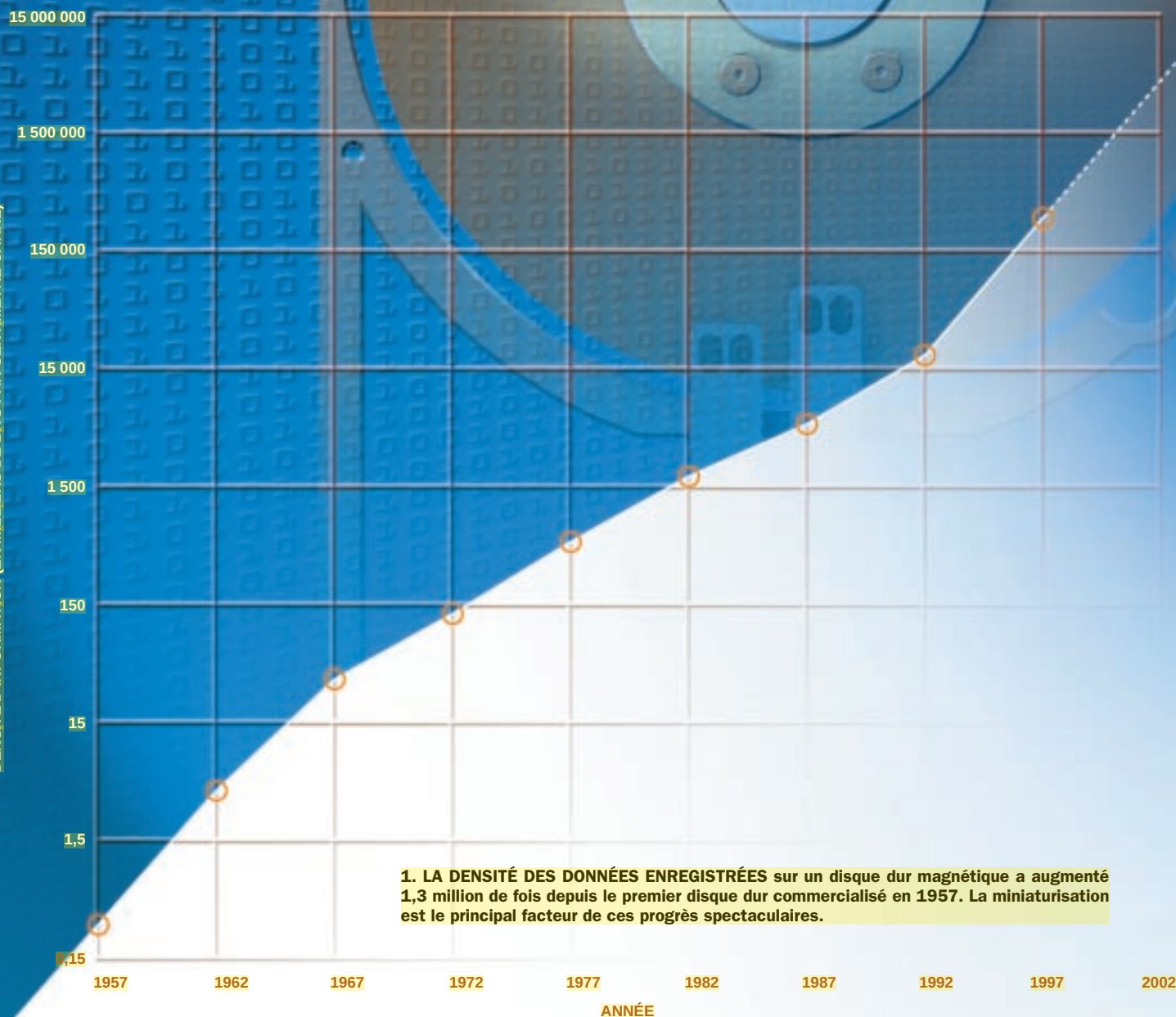
Quel progrès ! Le premier disque dur pesait une tonne : le RAMAC construit

par la Société IBM en 1956 stockait seulement cinq millions d'octets. De celui-ci jusqu'aux derniers disques durs d'ordinateurs de bureau, d'une capacité de plus de 70 milliards d'octets, les progrès ont essentiellement consisté en une miniaturisation : les têtes de lecture et d'enregistrement sont plus petites, les disques plus minces, les distances entre têtes et plateaux réduites...

Les premières têtes de lecture et d'écriture étaient en ferrite (un oxyde de fer et d'autres métaux). À partir de 1979, les ingénieurs mirent au point des procédés de fabrication des têtes à couches minces par les mêmes méthodes que celles de fabrication des puces micro-électroniques ; ces têtes lisaient et écrivaient des bits sur des domaines plus petits. Au début des années 1990, les têtes à couches minces qui lisaient directement les informations en détectant un courant électrique induit par le survol des zones aimantées ont été remplacées par des systèmes qui captent les infimes modifications de résistance électrique dues au champ magnétique. Observé pour la première fois par Lord Kelvin en 1857, cet effet de magnétorésistance conduit à des têtes plus sensibles, de sorte qu'on a rétréci les domaines de mémorisation des données.

Puis, en 1997, une équipe de la Société IBM perfectionna les têtes de lecture magnétorésistives en alternant deux couches de matériaux magnétiques avec une couche non magnétique. Ces têtes, nommées GMR (*Giant Magnetoresistive*, soit « magnétorésistance géante ») sont environ quatre fois plus sensibles, car les deux couches magnétiques, à la manière

DENSITÉ D'INFORMATION (EN MILLIERS DE BITS PAR CENTIMÈTRE CARRÉ)



1. LA DENSITÉ DES DONNÉES ENREGISTRÉES sur un disque dur magnétique a augmenté 1,3 million de fois depuis le premier disque dur commercialisé en 1957. La miniaturisation est le principal facteur de ces progrès spectaculaires.

d'un polariseur et d'un analyseur de lumière, augmentent artificiellement la magnétorésistance de la tête : selon l'orientation du domaine lu, les électrons diffusent facilement ou non d'une couche magnétique de la tête à l'autre. Les disques durs stockèrent alors jusqu'à 15 milliards de bits par centimètre carré.

En 1998, certains experts avaient fixé la barrière de l'effet superparamagnétique à 4,5 milliards de bits par centimètre carré, mais les têtes GMR semblent fixer cette limite à 23 milliards de bits par centimètre carré : cette valeur est, pour les ingénieurs, l'objectif à atteindre, voire à dépasser.

Plus courts, donc plus denses

Jusqu'ici, c'est l'amélioration de la sensibilité des têtes de lecture qui a conduit à l'augmentation des capacités des disques. Cependant, des ingénieurs s'attachent à réduire la taille des éléments binaires jusqu'à la limite de l'effet superparamagnétique. La stabilité thermique du support devient alors l'élément primordial, ainsi que sa coercivité (sa résistance aux champs magnétiques ambiants). La question fondamentale est la suivante : combien de grains, c'est-à-dire de petits cristaux magnétiques, sont-ils nécessaires pour obtenir une aimantation qui résiste à l'effacement thermique ? La réponse dépend de l'organisation des grains

Jusqu'ici, 500 à 1 000 grains de matériau magnétique étaient utilisés pour l'enregistrement d'un bit. Toutefois, en mars 2000, des ingénieurs de la Société IBM ont mis au point un procédé d'auto-assemblage de cristaux magnétiques de cobalt et de platine grâce à des micelles (de microscopiques gouttes de lipides) qui sont déposées sur le disque, puis éliminées. Les grains sont alors plus réguliers, plus petits et mieux organisés : un bit requiert moins de grains, et les densités peuvent être supérieures à 20 milliards de bits par centimètre carré.

La réduction de la taille des bits de données à l'aide de grains de matériau magnétique plus petits et moins nombreux semble une façon évidente d'augmenter la capacité des disques durs. Cependant, on doit simultanément empêcher l'interférence des bits adjacents : des ingénieurs étudient ainsi certaines terres rares et des éléments de transition très stables magnétiquement, tels des alliages fer/platine ou

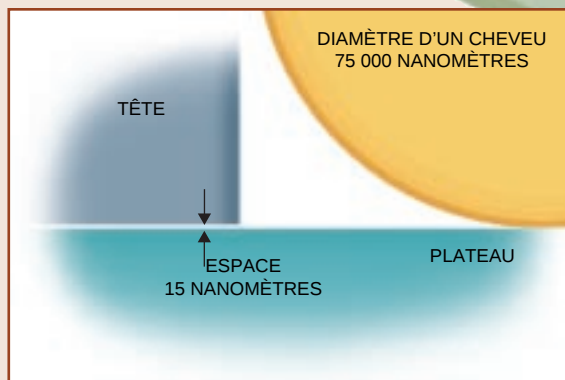
Fonctionnement d'un disque dur

Le disque dur actuel contient un empilement de plateaux en rotation sur lesquels les données sont mémorisées et lues par plusieurs têtes. Les données sont codées par l'aimantation d'une couche disposée à la surface des plateaux. Un même fichier peut être réparti sur plusieurs zones et plusieurs plateaux.

LES PLATEAUX, constitués de métal ou de verre, sont recouverts d'une couche magnétique. Ils tournent à une vitesse de plusieurs milliers de tours par minute, entraînés par un moteur électrique. La capacité du disque dépend du nombre de plateaux (jusqu'à huit) et du revêtement magnétique.

L'ACTIONNEUR DE LA TÊTE déplace et aligne avec précision les bras des têtes de lecture et d'écriture près des pistes concentriques à la surface des plateaux.

BOÎTIER DE PROTECTION



L'ESPACE entre la tête de lecture et d'écriture et la surface du plateau est 5 000 fois inférieur au diamètre d'un cheveu humain.