

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

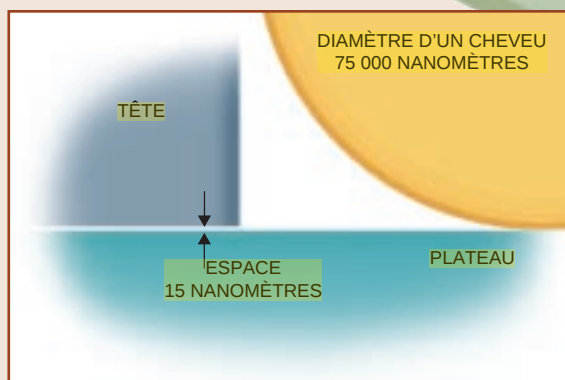
Fonctionnement d'un disque dur

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.

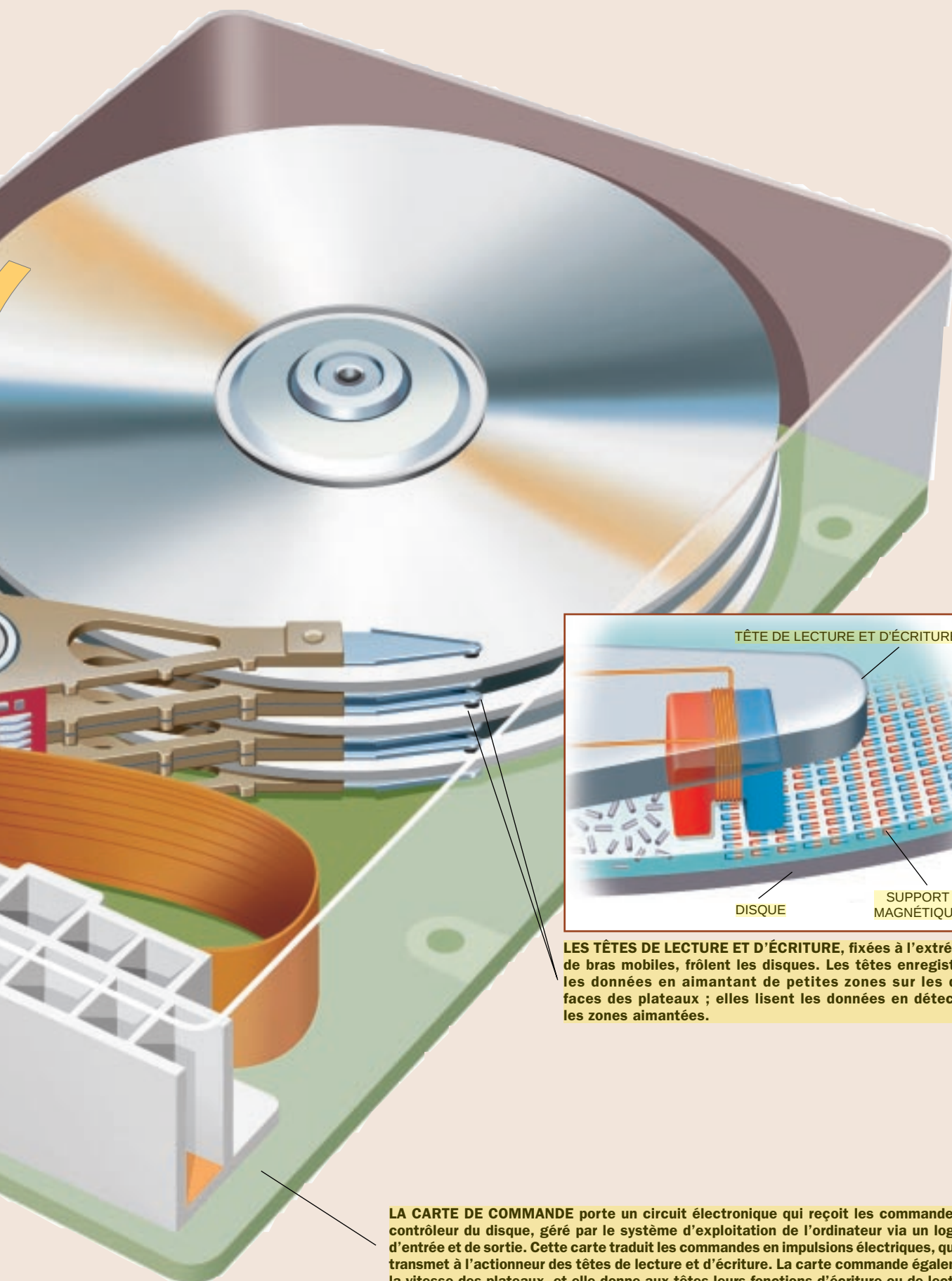
LES PLATEAUX, constitués de métal ou de verre, sont recouverts d'une couche magnétique. Ils tournent à une vitesse de plusieurs milliers de tours par minute, entraînés par un moteur électrique. La capacité du disque dépend du nombre de plateaux (jusqu'à huit) et du revêtement magnétique.

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.



TÊTE DE LECTURE ET D'ÉCRITURE

DISQUE

SUPPORT
MAGNÉTIQUE

LES TÊTES DE LECTURE ET D'ÉCRITURE, fixées à l'extrémité de bras mobiles, frôlent les disques. Les têtes enregistrent les données en aimantant de petites zones sur les deux faces des plateaux ; elles lisent les données en détectant les zones aimantées.

LA CARTE DE COMMANDE porte un circuit électronique qui reçoit les commandes du contrôleur du disque, géré par le système d'exploitation de l'ordinateur via un logiciel d'entrée et de sortie. Cette carte traduit les commandes en impulsions électriques, qu'elle transmet à l'actionneur des têtes de lecture et d'écriture. La carte commande également la vitesse des plateaux, et elle donne aux têtes leurs fonctions d'écriture ou de lecture.

cobalt/samarium. En jargon industriel, ces métaux dont la coercivité est élevée sont nommés matériaux «durs».

Toutefois, l'écriture sur les matériaux durs est difficile : ceux-ci sont «ramollis» par un laser qui, en les chauffant, réduit la coercivité des grains ; les données sont alors écrites (voir la figure 4). Lorsque le matériau refroidit, son «durcissement» protège les informations contre l'effet superparamagnétique.

La largeur des pistes

Comment lire les informations stockées dans des zones réduites ? La plupart des têtes expérimentales ont une largeur de trois pistes, de sorte qu'elles captent du bruit indésirable pendant la lecture.

Néanmoins, si les têtes étaient plus étroites, leur disposition au-dessus des pistes devrait être plus précise. On pourrait utiliser un laser de guidage, mais celui-ci augmenterait la complexité et le coût de l'ensemble du disque.

Une autre solution est l'utilisation d'un support composé d'une couche de mémoire permanente, placée au-dessous d'une couche de lecture : pour lire les informations, on effacerait l'aimantation de la couche de lecture, puis un laser bien focalisé chaufferait la piste appropriée de la couche de mémoire, afin de transférer les données dans la couche de lecture par un procédé de couplage magnétique. Seules les informations transférées dans la couche de lecture seraient alors lisibles, et les informations des autres pistes ne perturberaient pas le signal enregistré. Une tête de lecture large suffirait.

Évidemment, le guidage du faisceau laser doit être très précis : on doit éviter de chauffer accidentellement des bits adjacents à ceux que l'on écrit, car on effacerait des informations mémorisées antérieurement. Afin d'éviter cet écueil, les ingénieurs de la Société *Seagate* utilisent un disque sur lequel des sillons séparent les pistes circulaires de bits. En augmentant la surface qui sépare deux pistes, ces

sillons empêchent la chaleur du laser de se propager aux pistes voisines.

Des ingénieurs d'autres sociétés explorent d'autres moyens d'augmenter la capacité des disques durs en organisant les supports de mémoire, par exemple en séparant les bits de mémoire par des barrières. On étudie ainsi des «supports structurés», où le disque porte des bosses et des creux à sa surface ; chaque relief mémorise un bit. En théorie, un bit de données (un 0 ou un 1) peut être mémorisé dans un seul grain magnétique. Ainsi, avec un diamètre de grain de sept à huit nanomètres, ce type de support contiendrait plus de 1 500 milliards de bits (ou 1,5 téraoctet) par centimètre carré (voir la figure 3).

Pour créer les reliefs et les creux, les ingénieurs s'inspirent des procédés photolithographiques utilisés par l'industrie micro-électronique : un laser ou un faisceau d'électrons impressionne une couche photosensible, puis l'attaque chimique des couches non exposées laisse des reliefs à la surface du disque. Cependant, les procédés photolithographiques actuels créent au mieux des reliefs d'environ 80 milliardièmes de mètre de diamètre, dix fois plus larges que le diamètre requis.

La capacité des disques augmentera ainsi avec le raccourcissement des zones élémentaires de stockage de l'information, mais aussi avec un rétrécissement des pistes qui portent ces zones. Aujourd'hui, les disques portent envi-

ron 8 000 pistes par centimètre ; elles sont distantes d'environ 100 nanomètres. Cette limite est imposée par la résolution des têtes d'enregistrement et par la précision du système de détection de la position sur les différentes pistes.

Des têtes bien faites

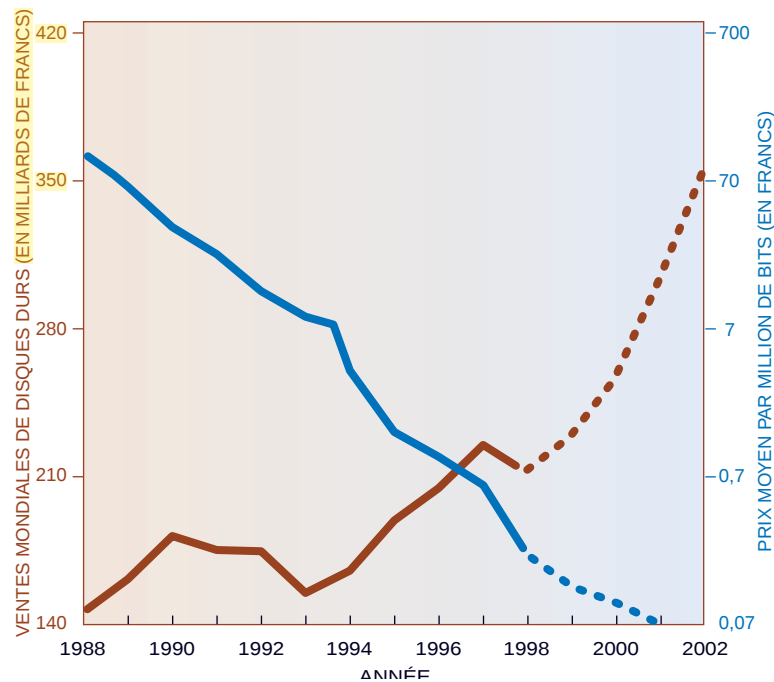
La plupart des têtes de lecture ont une forme de fer à cheval qui couvre la largeur d'une piste. Elles écrivent dans le sens longitudinal, c'est-à-dire le long de pistes circulaires, mais les champs magnétiques qu'elles créent s'étendent radialement, et des pistes insuffisamment

espacées entraînent la perte d'informations sur des pistes adjacentes.

Peut-on fabriquer des têtes d'enregistrement plus petites ? Si un faisceau abrasif d'ions peut affiner et équilibrer la tête d'écriture, ce qui réduit la largeur de la piste sur laquelle elle écrit, la tête de lecture, qui est une superposition de plusieurs éléments, est plus complexe à obtenir. En outre, une densité de 60 000 pistes par centimètre requiert des pistes de moins de 170 nanomètres de largeur : une telle taille demandera un positionnement plus précis ; un second actionneur différentiel, qui sera au premier ce que le poignet est à l'épaule, ajustera la position de la tête.

De surcroît, si l'on stocke les informations sur des secteurs plus courts des pistes plus étroites, les signaux seront plus faibles : la séparation de ces signaux et du bruit de fond nécessitera de nouveaux algorithmes pour retrouver les informations avec précision. Les programmes actuels analysent un rapport signal sur bruit de fond inférieur à celui requis pour des densités de mémorisation supérieure à 15 milliards de bits par centimètre carré.

Puisqu'on ne peut indéfiniment réduire la taille des domaines qui stockent les bits individuels, quand l'aimantation est parallèle à la surface des disques, pourrait-on aimanter les disques verticalement, c'est-à-dire en créant des champs perpendiculaires à la surface ?



2. LES VENTES DE DISQUES DURS ont considérablement augmenté, à mesure que le coût de l'unité de mémoire diminuait.