

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

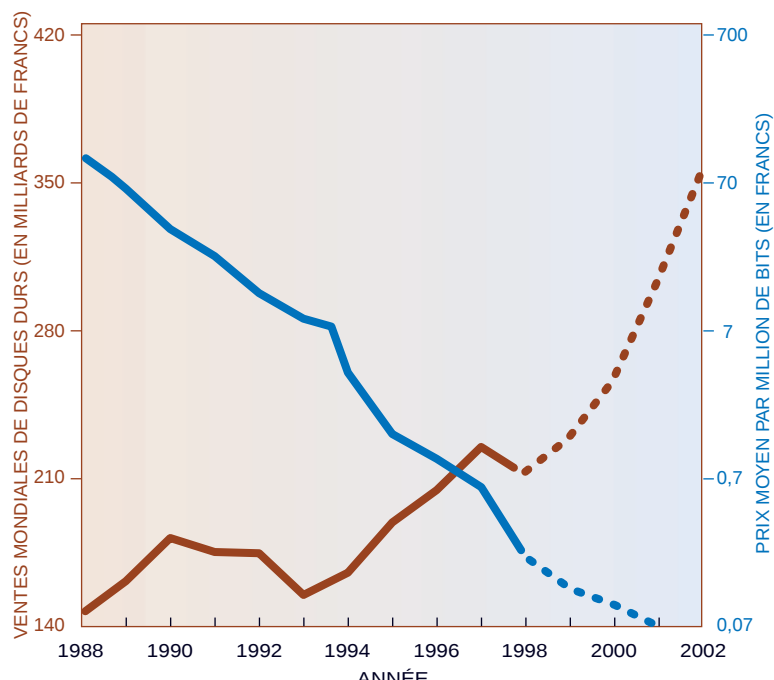
La plupart des têtes de lecture ont une forme de fer à cheval qui couvre la largeur d'une piste. Elles écrivent dans le sens longitudinal, c'est-à-dire le long de pistes circulaires, mais les champs magnétiques qu'elles créent s'étendent radialement, et des pistes insuffisamment

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.

Serrés, debout

Selon les ingénieurs de la Société *TeraS-tor* qui mettent au point de tels dispositifs, la limite qu'impose l'effet superparamagnétique peut alors être dépassée, et les capacités peuvent atteindre 30 milliards de bits par centimètre carré.

Dans ces disques durs, un laser chauffe une petite zone qui devient ainsi aimantable. La densité d'information est alors considérable, parce que le faisceau laser est concentré sur un point d'un diamètre inférieur à un micromètre, grâce à une «lentille à immersion solide». Cette lentille, inventée à l'Université de Stanford, a une forme de sphère tronquée, et son principe ressemble à celui qui est utilisé dans la microscopie à immersion liquide : la lentille et l'objet à observer sont placés dans un liquide, souvent de l'huile, dont l'indice de réfraction, différent de celui de l'air, augmente l'agrandissement en focalisant les rayons lumineux. Grâce à ce principe, le faisceau laser est ici concentré. En outre, dans la technique de «champ proche» qui est utilisée, la distance qui sépare la tête de lecture et d'écriture du support de mémorisation est inférieure à la longueur d'onde du faisceau laser, ce qui réduit la dispersion de la lumière (voir la figure 3).

Le support d'enregistrement est une couche de matériau magnétique déposée sur un disque de plastique. Les bits d'information sont inscrits perpendiculairement à la surface du disque, et non plus horizontalement. Ainsi, les champs magnétiques des bits se renforcent mutuellement et ne sont pas soumis à l'effet superparamagnétique.

En outre, les zones chauffées par le faisceau laser pour l'enregistrement de chaque bit se chevauchent : ces derniers ont alors une forme de croissant ; cette méthode d'enregistrement double le nombre de bits écrits linéairement sur une piste. La lecture utilise l'effet Faraday : l'aimantation modifie la polarisation d'un faisceau laser réfléchi sur le disque ; selon cette aimantation, on obtient des directions de polarisation différentes, qui codent des 0 ou des 1.

Ces nouveaux disques durs seront commercialisés à la fin de l'an 2000. Toutefois, leur capacité sera seulement de 20 milliards d'octets, sur des supports amovibles de la taille d'un disque compact, alors que les disques durs actuels ont déjà des capacités supé-

rieures à 70 milliards d'octets. Les premiers modèles remplaceront peut-être, dans un premier temps, les actuels produits de sauvegarde d'informations pour lesquelles la vitesse d'accès est importante (à bandes et optiques).

Les ingénieurs qui travaillent à ce projet espèrent atteindre ensuite des capacités supérieures à 300 milliards d'octets. Ils sont optimistes, et certains estiment que les perfectionnements des matériaux, des techniques de fabrication et du traitement du signal permettront, d'ici à quelques années, de fabriquer des disques durs avec de telles densités de mémorisation. Leurs prévisions se fondent sur l'examen des progrès passés : l'introduction des têtes à couches minces a demandé près de dix ans, la mise au point des têtes magnétorésistives a nécessité six ans de plus, notamment pour mettre au point des éléments de lecture et d'écriture séparés pour la tête. Pourtant le passage aux disques GMR s'est fait en quelques mois.

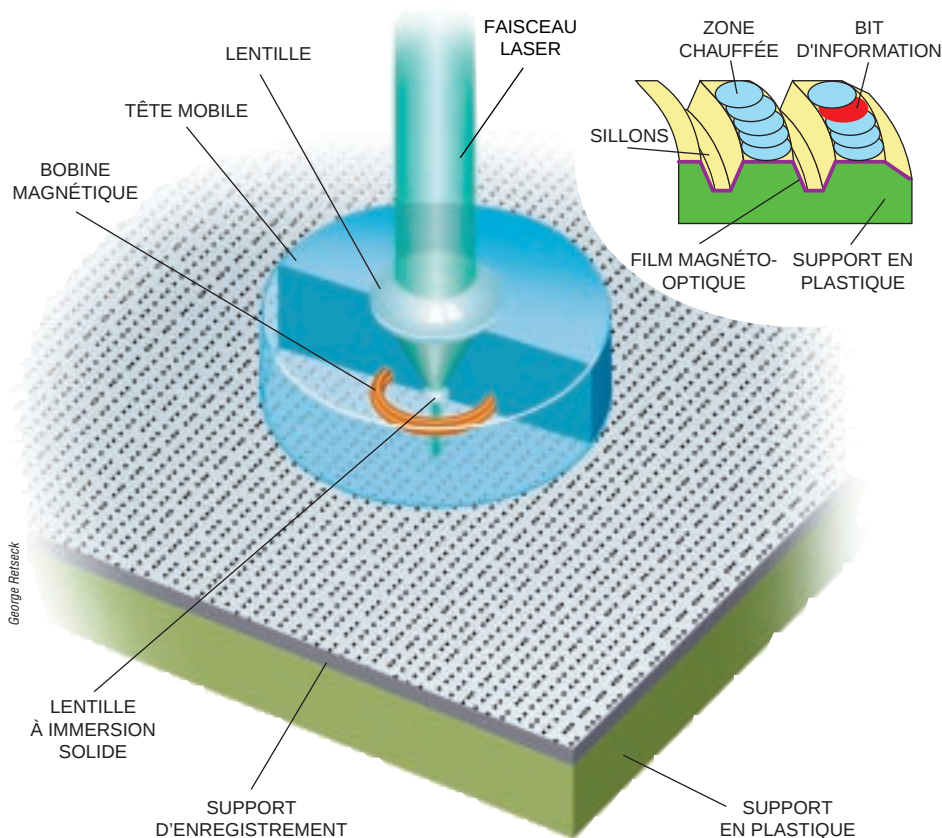
La transition a été rapide, car les têtes GMR n'imposaient que quelques

changements des composants périphériques des disques durs. L'augmentation des capacités jusqu'à plus de 20 milliards de bits par centimètre carré sera peut-être une simple évolution plutôt qu'une révolution.

Le problème de la vitesse

La performance des disques durs tient également à la vitesse d'accès aux données. Or, si la capacité des disques durs augmente de 130 pour cent par an, les vitesses d'accès ne progressent que de 40 pour cent.

Classiquement, les ingénieurs ont augmenté la vitesse de rotation des disques. Toutefois, lorsqu'un disque tourne plus vite, les turbulences de l'air et les vibrations entraînent parfois des erreurs d'enregistrement sur les pistes. Parmi les améliorations possibles, des paliers fluides dans le moteur peuvent remplacer les roulements à billes en acier et en céramique, qui s'usent et deviennent bruyants lorsque les plateaux tournent à plus de 10 000 tours par minute.



3. DANS LES SYSTÈMES MAGNÉTO-OPTIQUES, un faisceau laser chauffe un point minuscule sur le disque, ce qui permet à la tête de modifier les propriétés magnétiques du point. Une première lentille concentre le faisceau sur une lentille à immersion solide, laquelle focalise la lumière en un point d'un diamètre inférieur à un micromètre. Dans ce procédé, les zones chauffées se chevauchent : chaque bit, inscrit verticalement, a une forme de croissant (en haut à droite) ; la densité d'information est ainsi augmentée.