

PRINCIPE DU DISQUE DUR

L'un des organes centraux de l'ordinateur est son disque dur, dont le rôle est de stocker les données et de les conserver une fois l'alimentation coupée (on parle de mémoire morte, volatile ou ROM, Read-Only Memory). Il y a encore une trentaine d'années, la diffusion de cette technologie semblait encore impensable. Aujourd'hui, la capacité d'un disque dur est de l'ordre du téraoctet (To), l'équivalent de mille milliards de caractères ou d'un an et demi de musique compressée au format mp3... Avec les progrès de la miniaturisation, les disques durs ont envahi l'électronique grand public. Pour comprendre le fonctionnement de ces bijoux technologiques, il faut se pencher sur l'un des objets les plus fascinants de la physique : l'aimant.



1 Ce disque dur de 8 Go illustre bien le degré de miniaturisation atteint dans le domaine.

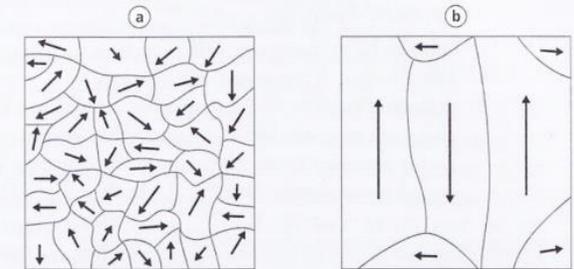
LES AIMANTS

Les aimants naturels sont connus depuis d'Antiquité grecque et chinoise : la magnétite – un oxyde de fer, Fe_3O_4 – a la propriété d'attirer le fer et d'autres métaux comme le nickel. La physique de ce phénomène n'est pourtant comprise que depuis quelques dizaines d'années. Il existe des aimants de toutes les formes, de toutes les tailles, dédiés aux usages les plus variés. Voici une expérience surprenante : sélectionnez le plus puissant et approchez-le d'une épingle de

couture en acier. Vous constaterez que cette dernière possède par la suite la propriété d'attirer d'autres épingles : l'épingle a été aimantée, l'aimant ayant modifié l'orientation de ses domaines de Weiss.

LES AIMANTS ET LES DOMAINES MAGNÉTIQUES

Les matériaux, naturellement aimantés ou qui peuvent conserver une aimantation de façon prolongée, sont dits « ferromagnétiques », leurs propriétés magnétiques étant semblables à celle du fer. Les aimants permanents, comme la magnétite ou les alliages modernes à base de samarium-cobalt ou de néodyme-fer-bore, sont des matériaux ferromagnétiques. Un tel matériau, par exemple un morceau de fer, est constitué d'un très grand nombre de domaines (appelés domaines de Weiss) aimantés dans des directions quelconques (figure 3.a). L'aimantation de chaque domaine résulte de certaines interactions complexes entre les électrons des atomes du matériau ferromagnétique.



3 Principe de l'orientation des domaines magnétiques d'un matériau ferromagnétique. En (a), le matériau n'est pas aimanté tandis qu'en (b), il est soumis à un champ magnétique d'intensité suffisante pour orienter dans sa direction l'aimantation à l'intérieur des différents domaines de Weiss, entraînant la fusion des domaines de même aimantation.

Approchons un aimant : son champ magnétique va orienter les domaines dans la même direction et donc les réunir en un seul grand domaine (figure 3.b). Le morceau de fer est alors aimanté et conserve cette

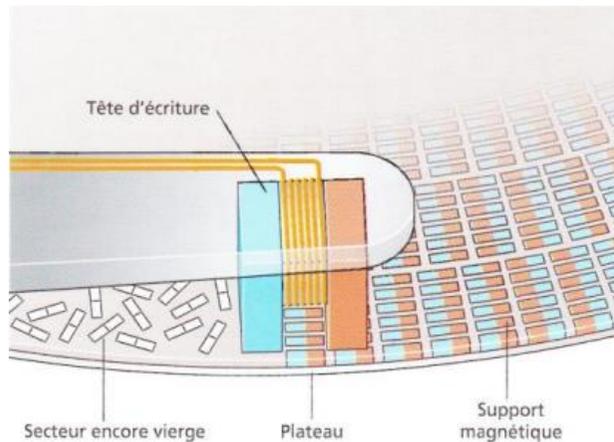
propriété. Un aimant possède deux pôles, qu'on appelle pôle nord et pôle sud. Quand on approche deux aimants, les pôles de même nom se repoussent tandis que les pôles de noms différents s'attirent.

ECRIRE ET LIRE DES DONNEES AVEC UN AIMANT

PRINCIPE D'ECRITURE

Imaginons à présent une surface recouverte d'une couche de matériau ferromagnétique. Initialement, le matériau n'a été exposé à aucun champ magnétique et les petits domaines qui le composent ne présentent aucune aimantation commune. Appliquons un champ magnétique : les domaines vont s'aimer dans la direction du champ imposé, créant ainsi des zones magnétiques où l'aimantation est unique. Ainsi, pour écrire des données sous forme binaire, il suffit de disposer d'un système capable de produire un champ magnétique de direction constante mais dont on peut choisir le sens. En imposant l'un des deux sens à différentes zones de la couche de matériau magnétique, on y enregistre les données, le 0 correspondant à un sens et le 1 à l'autre.

Comment produire un champ magnétique ? Par exemple en faisant circuler un courant électrique dans une bobine (le champ magnétique qui en résulte sera plus intense si l'on met un morceau de fer doux au centre de l'enroulement) : c'est le principe de l'électro-aimant. Si l'on inverse le sens du courant dans le bobinage, le champ magnétique change de sens. On peut ainsi définir une orientation d'aimantation spécifique pour chaque zone de la couche en fonction du sens du courant dans l'électro-aimant. C'est le principe du système d'écriture adopté pour tous les disques durs.

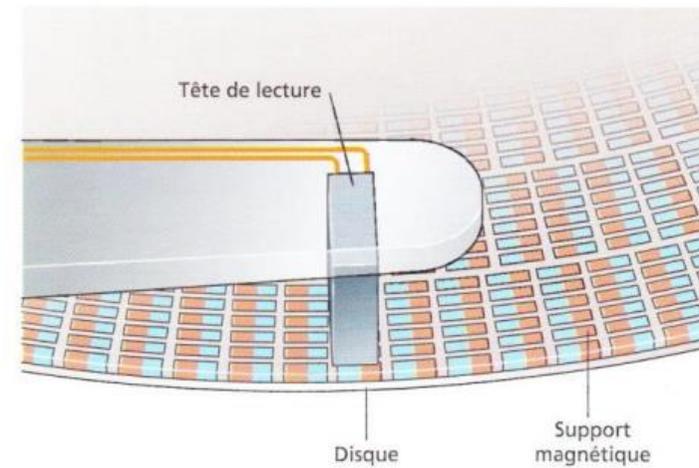


5 Principe de l'écriture des données sur un matériau ferromagnétique. La direction de l'aimantation à l'intérieur des différentes zones magnétiques est symbolisée par un code de couleurs : en gris sont représentés les domaines dont l'aimantation possède une orientation quelconque, ce qui correspond aux secteurs vierges du disque dur ; la couleur indique les domaines dont l'aimantation a été modifiée par la tête d'écriture pour y enregistrer des données.

PRINCIPE DE LECTURE

Le système de lecture des données d'un disque dur a beaucoup évolué. Initialement, les têtes de lecture exploitaient l'effet inverse de celui à l'œuvre pour l'écriture : le passage de la tête au-dessus d'une zone aimantée provoque la création d'un courant dans la bobine servant à l'écriture. Malheureusement, ce

courant induit est très faible, et la taille des zones enregistrées doit donc être grande, ce qui limite la quantité d'informations qu'on peut stocker. On fit alors appel à un principe un peu différent : la variation de la résistance de certains matériaux avec l'intensité du champ magnétique dans lequel ils sont plongés. La mesure de courant fut remplacée par une mesure de résistance, techniquement plus facile. On put ainsi diminuer la taille des zones à aimanter et augmenter la densité d'information.



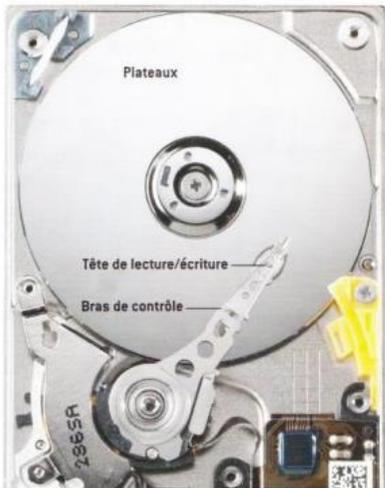
6 Principe de la lecture des données. La résistance d'un circuit électrique se déplaçant à proximité d'une zone magnétique varie lorsque l'orientation de l'aimantation de la zone change brusquement. Cet effet permet de lire les données inscrites sur le support magnétique.

C'est alors qu'en 1988, des chercheurs (un groupe français du CNRS autour d'Albert Fert, et un groupe allemand) découvrirent quasi simultanément un effet révolutionnaire : la « magnétorésistance géante » (GMR) qu'a récompensé le prix Nobel de physique 2007, et qui fut l'acte de naissance de la prometteuse électronique de spin (ou spintronique). Les têtes de lectures exploitent aujourd'hui toutes cet effet GMR. Il est intéressant de signaler que l'application fut extrêmement rapide puisque cette nouvelle génération de têtes de lecture apparut en 1997, soit seulement 7 ans après une découverte relevant strictement de la physique fondamentale.

LES ELEMENTS DU DISQUE DUR

LES PLATEAUX

Un disque dur est en réalité un empilement de plusieurs disques appelés plateaux. Ils sont constitués le plus souvent d'un substrat métallique (en aluminium) ou en verre, qui est recouvert d'une couche de matériau ferromagnétique. Cette couche d'enregistrement est protégée par une couche de carbone spécial (dont la densité est proche de celle du diamant), elle-même surmontée d'un film très fin de lubrifiant. En fonctionnement, les plateaux tournent à des vitesses impressionnantes, de l'ordre de plusieurs milliers de tours par minute : ainsi, un disque « 10 000 RPM » correspond à un tour de plateau en 6 millisecondes. Afin de limiter l'échauffement dû au frottement de l'air, important à de telles vitesses, la surface des plateaux est polie jusqu'à ce qu'elle devienne très lisse et réfléchissante. La capacité du disque dur est fonction du nombre de plateaux et de la qualité du revêtement ferromagnétique utilisé.



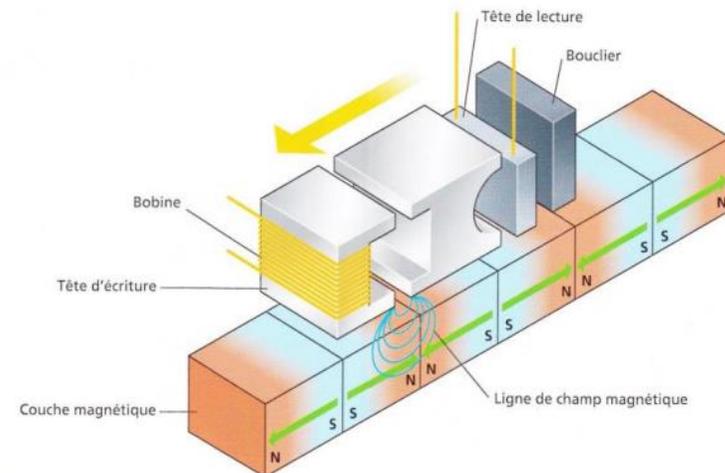
7 Cette photo de l'intérieur d'un disque dur montre les éléments indispensables à son fonctionnement : les plateaux et la tête de lecture/écriture à l'extrémité du bras de contrôle. On aperçoit également une partie de l'électronique du contrôleur qui transmet les données à l'ordinateur.



8 Plateau d'un disque dur en gros plan. Les plateaux sont polis afin de limiter l'échauffement provoqué par le frottement de l'air sur la surface. Il faut que cette surface soit parfaitement plane pour que les têtes de lecture, qui « volent » à une hauteur de 10 nanomètres au-dessus des plateaux, ne rencontrent aucun obstacle.

LA TETE DE LECTURE-ECRITURE

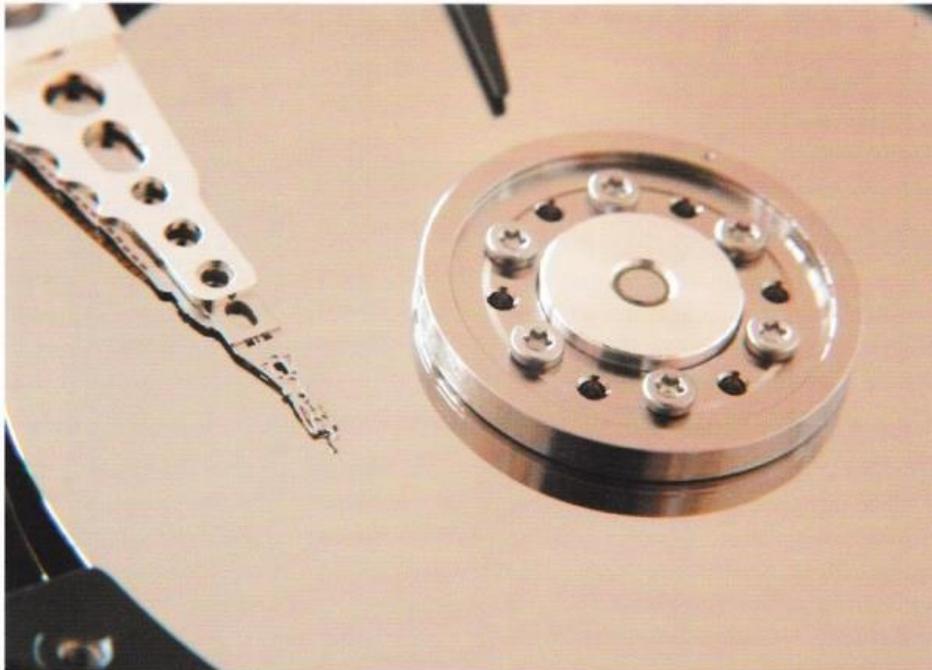
Chaque tête comprend à la fois des dispositifs d'écriture et de lecture, constitués respectivement d'une bobine et d'un circuit électronique. Afin d'augmenter la capacité des disques durs, les deux côtés du plateau sont exploités, les têtes prenant chaque plateau en sandwich. Les têtes de lecture/écriture volent au-dessus des plateaux à une hauteur d'environ 10 nm, reposant sur le coussin d'air provoqué par la rotation rapide. Pour vous figurer cette prouesse technique, imaginez un Airbus volant 1 mm au-dessus d'une piste d'atterrissage sur 3 km : une piste diablement plane ! De même, la surface d'un plateau de disque dur doit être parfaitement propre : la moindre poussière – un camion en travers de la piste à l'échelle de l'avion – ou même une trace de doigt – une belle bosse de 50 cm de haut – déstabiliserait à coup sûr le mouvement de la tête, qui risquerait alors d'entrer en contact avec le plateau ; les frottements endommageraient le plateau de manière irréversible et détruiraient le disque dur.



9 Détail de la tête de lecture/écriture. La tête d'écriture est constituée d'une bobine qui produit un champ magnétique suffisamment intense pour orienter les zones de la couche magnétique. La tête de lecture mesure la variation de résistance provoquée par le changement d'orientation de l'aimantation à l'intérieur de zones contiguës. Le bouclier magnétique limite les interférences avec les zones précédentes lors de la lecture des données.

LE BRAS DE CONTROLE

Le bras support les têtes de lecture/écriture. Léger, il doit pouvoir, grâce au dispositif de contrôle, être déplacé avec une précision de quelques micromètres (par comparaison, le diamètre d'un cheveu est de l'ordre de 100 μm). Un électro-aimant assure cette précision inouïe pendant que le bras effectue cinquante allers-retours par seconde du centre à l'extrémité du plateau ! L'ensemble est orchestré par un circuit intégré qui permet, en liaison avec le reste des éléments de l'ordinateur, de déterminer la position des données, en lecture comme en écriture.



10 Gros plan de la tête de lecture/écriture. On aperçoit le bras de contrôle qui permet de positionner la tête à la surface du disque avec une précision micrométrique.

Le terme anglais « solid-state » signifie que ce matériel est constitué de mémoires à semiconducteurs à l'état solide par opposition aux disques durs classiques. C'est une mémoire de masse à semi-conducteurs ré-inscriptible, c'est-à-dire une mémoire possédant les caractéristiques d'une mémoire vive mais dont les données ne disparaissent pas lors d'une mise hors tension. Ainsi, la mémoire flash stocke les bits de données dans des cellules de mémoire, mais les données sont conservées en mémoire lorsque l'alimentation électrique est coupée. Sa vitesse élevée, sa durée de vie et sa faible consommation (qui est même nulle au repos) la rendent très utile pour de nombreuses applications : appareils photo numériques, téléphones cellulaires, imprimantes, assistants personnels (PDA), ordinateurs portables ou dispositifs de lecture et d'enregistrement sonore comme les baladeurs numériques, clés USB. De plus, ce type de mémoire ne possède pas d'éléments mécaniques, ce qui lui confère une grande résistance aux chocs. Les SSD offrent un temps d'accès bien plus court qu'un disque dur à plateau (0,1 ms contre 13 ms), des débits augmentés jusqu'à 550 Mio/s en lecture et 500 Mio/s en écriture pour les modèles exploitant l'interface SATA III ou SAS 2.0, soit près de 4 fois les débits autorisés par les disques à plateaux mécaniques.



Le premier disque dur de l'histoire, construit par IBM dans les années 1950 et baptisé RAMAC (Random Access Method Accounting & Control), possédait à la façon d'un juke-box une unique tête de lecture/écriture qui accédait aux données réparties sur une cinquantaine de plateaux mobiles de 60 cm de diamètre. Sa capacité ? 4,4 Mo actuels environ... Pour mémoire, aujourd'hui, les plateaux font 6,3 (2,5") ou 8,9 cm (3,5").

ET LES SSD ?