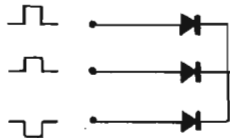


OUI



NON

$$1 + 1 = 10$$

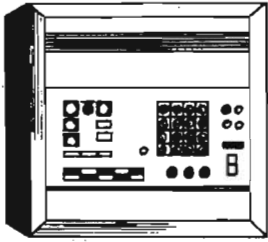
$$10 + 10 = 100$$

$$1000 - 100 = 100$$

$$11 \times 11 = 1001$$

ET

OU



INITIATION AU CALCUL ELECTRONIQUE

LES MÉMOIRES DE MASSE

(Suite voir n° 1 278)

La NCR a déjà plusieurs années d'expérience des mémoires à aiguilles : son ordinateur « 315 RMC » utilisait déjà cette technique. Profitant de cette expérience, les ingénieurs de la NCR ont constaté que l'emploi d'aiguilles courtes, mémorisant un bit par aiguille, donnait un meilleur rapport performance/prix et devait permettre l'emploi de techniques de production automatique réduisant encore les coûts de fabrication. Ces développements autorisaient la réalisation de mémoires sept fois plus rapides que les mémoires à tores de ferrite pour un prix quatre fois moins élevé, à capacité égale. Ce coût peu élevé permet de posséder une mémoire de plus grande capacité pour un même investissement. Etant donné l'importance que joue la taille de la mémoire dans les systèmes informatiques, l'augmentation de celle-ci procure des avantages, tant en programmation classique (performances des compilateurs et des program-

mes, temps de tri, etc.) que dans les systèmes avancés (multiprogrammation, temps réel, etc.).

LA MEMOIRE A AIGUILLES MAGNETIQUES DE L'ORDINATEUR « NCR-CENTURY »

Les aiguilles de l'ordinateur « NCR-Century » sont constituées d'un mince revêtement de fer-nickel sur un support de beryllium/cuivre. Seul le revêtement est magnétisable. Chaque aiguille mesure 2,7 mm de long et 0,15 mm de diamètre et est placée au centre d'un solénoïde formé par deux conducteurs bobinés parallèlement. Sous l'influence du courant passant dans ces conducteurs, l'aiguille peut prendre l'une des deux orientations magnétiques stables correspondant aux valeurs 0 et 1 binaires. L'orientation magnétique Nord correspond au 1 de la numération binaire, tandis que l'orientation magnétique Sud correspond à la valeur 0.

Chaque aiguille permet de mémoriser un bit d'information. Dans la mémoire, les aiguilles sont groupées par 9 (8 bits* d'information et 1 bit* de contrôle) pour former la plus petite quantité d'information adressable : l'octet.

Cette unité d'information peut contenir un caractère alphanumérique de 8 bits*, deux caractères numériques ou un nombre binaire de 8 bits*. Le neuvième bit est un bit de parité qui permet de vérifier l'exactitude de toutes les données à traiter.

Groupées ainsi par neuf, les aiguilles sont assemblées en plans, qui en contiennent chacun 4 608, soit l'équivalent de 512 octets.

* Rappelons qu'un bit, ou binary digit, correspond à l'information élémentaire : c'est 1 ou c'est 0.



Photo 4. — La mémoire centrale de l'ordinateur NCR Century est constituée de mini-aiguilles d'un diamètre de 0,15 mm et longues de 2,7 mm. Ces aiguilles sont sept fois plus rapides et quatre fois moins chères que les tores de ferrite.

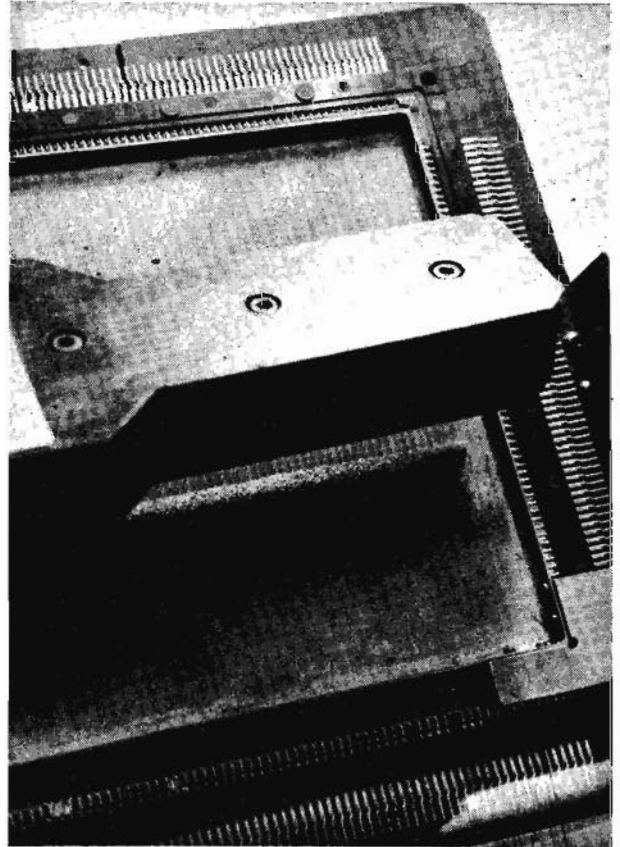


Photo 5. — La mémoire à aiguilles est fabriquée entièrement automatiquement. L'utilisation d'un champ magnétique permet à des milliers d'aiguilles de se dresser sur la pointe et de « marcher » sur le plan de mémoire. Les aiguilles viennent se planter au fur et à mesure dans chacun des trous du plan de mémoire. (Document NCR.)

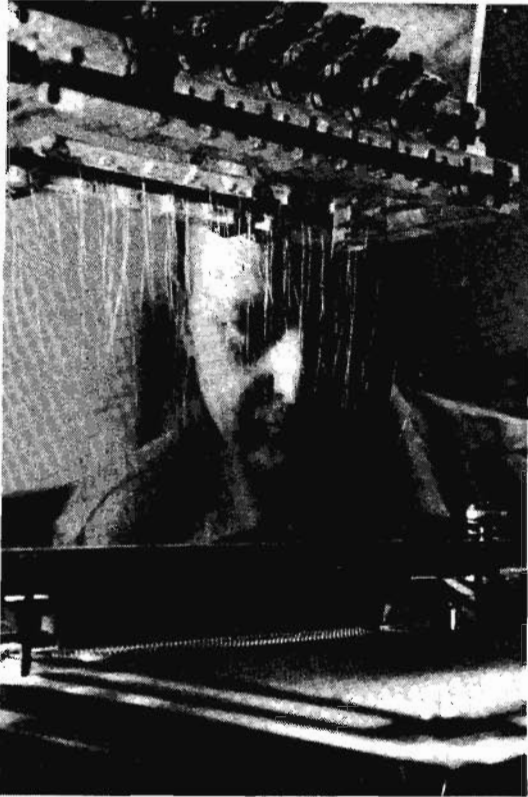


Photo 6. — Pour fabriquer les solénoïdes qui entourent chaque aiguille magnétique à couche mince, cette machine a été conçue : elle enroule 72 solénoïdes à la fois. (Document NCR.)

Les plans, scellés entre deux feuilles de plastique, sont ensuite empilés, à raison de seize par pile et deux constituent le module élémentaire de la mémoire interne du NCR Century. Chaque module élémentaire a ainsi une capacité de $512 \times 32 = 16\,384$ octets. La mémoire interne est donc modulaire, c'est-à-dire extensible. Sa capacité peut être étendue successivement de 16K (un module) à 32K, 64K, 128K, 256K ou 512K octets (la valeur de K est 1 024).

La mémoire contient le programme et l'emplacement de ses données au moment de son exécution. Ces informations sont rangées physiquement dans des cellules identiques, dont chacune est repérée par un numéro, appelé « adresse » de cette cellule. Dans la série NCR Century, les cellules de la mémoire sont des octets. Le cycle mémoire est le temps séparant deux demandes de lecture ou d'écriture d'une cellule. Celui du NCR Century 100 est de 800 nanosecondes pour un octet.

L'opération écriture se décompose en deux temps : mise à zéro de l'aiguille, puis écriture. Celle de lecture comprend également deux temps : lecture avec mise à zéro, puis régénération (réécriture). Comme pour les mémoires à tores de ferrite, la lecture conduit à la destruction de l'information : il faut réécrire le caractère après l'avoir lu.

Si l'on compare maintenant les mémoires à tores de ferrite aux

mémoires à aiguilles magnétiques, il apparaît que ces dernières offrent un certain nombre d'avantages : temps de basculement beaucoup plus court, fiabilité plus grande et insensibilité aux variations de température. Lors de la lecture ou de l'écriture, seul le revêtement extérieur de l'aiguille subit une modification d'orientation magnétique, alors que pour le tore de ferrite, c'est toute la masse qui subit une modification. Il en résulte : une consommation d'énergie réduite, un dégagement de chaleur plus faible et un temps de réponse plus court. Du fait de la durée exceptionnellement réduite des temps de commutation, aussi bien pour l'écriture des informations que pour leur lecture, les vitesses de traitement interne sont beaucoup plus rapides.

La fabrication des aiguilles, de même que celle des solénoïdes et l'assemblage des plans en modules de mémoire, se prête à une automatisation totale. Il en résulte que le prix de revient de la mémoire se situe à 62 centimes environ, c'est-à-dire 5 à 6 fois plus bas que les mémoires classiques. Par ailleurs, cette automatisation très poussée permet d'obtenir une identité très rigoureuse pour chaque solénoïde. Grâce à elle, également, les phases de fabrication des éléments ont pu être réduites à quelques opérations fondamentales dont le temps d'exécution pour chacune n'est que de quelques minutes.

LE DYNABIT

Au mois d'avril dernier, la firme américaine Hughes Aircraft Company annonçait la sortie d'une nouvelle mémoire de masse : le Dynabit. Il s'agit d'un tube sur lequel est enroulé un fil, « plus fin qu'un cheveu », et sur lequel on enregistre de grandes quantités d'informations, en créant des domaines magnétiques. Le tube fait environ 25 mm de diamètre et 20 cm de long, et il peut stocker plus de 6 000 bits d'information. Un petit prototype de mémoire Dynabit (128 éléments, stockant plus de 500 000 bits d'information) a été fourni très récemment à l'U.S. Army Electronics Command pour être testé en fonctionnement réel.

On voit la différence avec les autres mémoires magnétiques de masse : l'élément sensible est un fil — et non une couche mince — enroulé en hélice sur un substrat cylindrique. La manipulation du substrat n'est pas aussi difficile que celle des registres magnétiques à couche mince.

L'information est introduite dans la mémoire par une tête d'écriture fixe qui contrôle l'état du domaine magnétique à l'extrémité de l'entrée du fil mémoire. L'information pénètre donc par une extrémité du fil et elle se déplace vers l'extrémité de sortie du fil, grâce au mouvement des domaines magnétiques dans le fil. Une tête de « lecture » détecte l'état des domaines magnétiques qui passent sous elle. Le mouvement des domaines magnétiques est commandé par un enroulement dit de « propagation ».

LES BULLES MAGNETIQUES

Le composant qui vient ainsi d'être mis sur le marché fait partie d'un nouveau type de mémoire : les mémoires à domaines magnétiques, dont les promoteurs ont été les chercheurs des Bell Telephone Laboratories. Ces domaines magnétiques — de petites « bulles » magnétiques — doivent, d'après les spécialistes, abaisser le prix de revient des mémoires à un niveau très bas, tout en conduisant à la fabrication d'énormes mémoires de masse. Chaque bulle magnétique représente un bit d'information.

Une part importante de la technologie des mémoires à bulles magnétiques a été développée aux Bell Telephone Laboratories, où l'on a étudié le moyen de créer, de détecter et de faire propager de telles bulles magnétiques.

Un domaine magnétique est une région magnétisée dans un matériau magnétique. L'aimantation, dans le domaine, est alignée dans une direction différente des vecteurs aimantations des régions voisines.

En 1967, Paul C. Michaelis, des Bell Laboratories, annonçait la découverte d'une technique bidimensionnelle de propagation et d'interaction de domaines magnétiques isolés dans des films ferromagnétiques minces et anisotropes. Un tel film peut être aimanté plus aisément dans une direction privilégiée (l'axe aisé). Michaelis fut alors à même de contrôler le mouvement des domaines magnétiques le long de l'axe privilégié : ces études donnèrent l'idée de



Photo 7. — Des fils magnétiques, plus fins qu'un cheveu humain, sont employés dans la nouvelle mémoire de Hughes. D'après les premiers tests, il apparaît que cette mémoire est imperméable aux conditions environnantes les plus sévères.

réaliser des mémoires dans lesquelles l'information serait stockée sous la forme de domaines magnétiques que l'on déplacerait et placerait en des endroits adéquats dans le film.

Se basant sur les travaux de Michaelis, Andrew H. Bobeck, toujours des Bell Telephone Laboratories, trouvait que diverses feuilles d'orthoferrites (telles l'ytterbium, le thulium ou le samarium-terbium) convenaient très bien à la réalisation de mémoires de masse. Ces composés sont isotropes : on peut alors déplacer dans n'importe quelle direction la bulle magnétique, alors que dans le film de Michaelis, il n'y avait qu'une direction de déplacement privilégiée. Ces résultats ont fait dire aux techniciens des Bell Laboratories que l'on arrivera un jour à « construire un ordinateur entier sur une simple pastille de matériau actif ».

On est arrivé à visualiser les domaines magnétiques dans les feuilles d'orthoferrite, par l'effet Faraday : la lumière polarisée,

une autre manière de contrôler le mouvement des bulles.

On peut encore utiliser, dans un ordinateur, le fait que des domaines magnétiques se repoussent l'un l'autre, et qu'il est possible de les associer ou de les séparer sans pour autant modifier leur dimension.

Les bulles magnétiques ont encore beaucoup de chemin à faire avant d'être incorporées dans un ordinateur. Néanmoins, l'ordinateur qui les utilisera un jour sera petit et puissant : n'a-t-on pas écrit qu'il est possible, avec des bulles magnétiques, de fabriquer des mémoires capables de stocker des dizaines de milliers de bits par centimètre carré ? Et il est possible d'empiler des feuilles d'orthoferrite-mémoires, pour accroître encore la densité volumique des futures mémoires de masse.

POUR BIEN TOT : LES MEMOIRES A GAUFRE

Avant de voir apparaître ces mémoires superpuissantes, d'autres mémoires de masse vont faire pro-

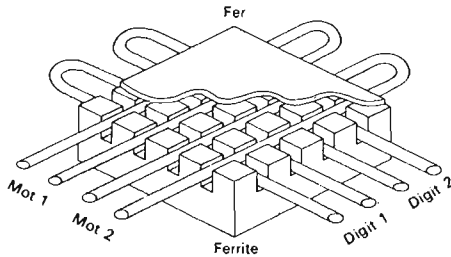


Fig. 8. — Mémoire à gaufre COFELEC.

qui frappe ces feuilles, est comme marquée par les régions où se trouvent des bulles magnétiques. Ce marquage de la lumière consiste en une rotation de la polarisation du faisceau lumineux.

Les bulles magnétiques — ou des groupes de bulles — peuvent accomplir un lot de fonctions fort utiles dans un ordinateur, simplement en faisant appel aux trois techniques suivantes :

— Des champs magnétiques, créés par un courant pulsé dans une rangée de conducteurs imprimés à la surface d'un orthoferrite, peuvent modifier la position de bulles et les amener en n'importe quel endroit de la mémoire.

— La dimension des bulles peut être modifiée en augmentant ou en diminuant le champ magnétique de polarisation, en présence d'un matériau aisément démagnétisable (le permalloy par exemple). En modulant les dimensions de bulles, on arrive également à déplacer les domaines magnétiques.

— Un champ tournant, créé par des pôles positifs et négatifs en forme de barres et de T (on utilise encore des pôles en permalloy), peut servir à attirer ou repousser les bulles magnétiques : c'est

chainement leur entrée sur le marché. L'une d'entre elles est mise au point par la COFELEC : c'est la mémoire à gaufre.

En fait, tous les laboratoires du monde cherchent actuellement à mettre au point de nouvelles mémoires, réalisées par une fabrication collective des cellules élémentaires : on cherche à « intégrer » les classiques tores de ferrite. Dans la mémoire à gaufre, la fonction mémoire est assurée par un film d'alliage magnétique dur très riche en fer. Le film a environ un micron d'épaisseur et est déposé par électrolyse sur un substrat conducteur.

Le film de fer est appuyé sur une pièce de ferrite portant deux familles de fentes perpendiculaires, ce qui lui donne l'aspect d'une gaufre. A l'opposé du film de fer, la ferrite est douce : elle laisse passer facilement le flux magnétique, mais sans en conserver la mémoire.

Les fils de commande passent dans les fentes de la gaufre : les parties actives du film métallique sont situées en face des intersections des fils, et un bit est stocké dans quatre intersections (Fig. 8).

La mémoire à gaufre cumule les avantages des mémoires métalliques et des mémoires à circuit magnétique fermé :

- très bonne tenue en température,
- vitesse élevée,
- courants de commande modérés,
- signal de sortie important,
- faible sensibilité aux parasites.

En outre, la redondance de quatre intersections par digit binaire assure une bonne compensation des bruits et une grande uniformité sur le plan.

La fabrication des mémoires à gaufre est assez aisée et ne

nosecondes, soit environ cinq fois moins que les mémoires à tores actuellement utilisées.

Ces résultats sont très encourageants, d'autant plus qu'une variante à lecture non destructive est en développement : moyennant quelques précautions, la mémoire à gaufre peut être rendue non destructive, c'est-à-dire que l'information n'est plus effacée après la lecture : le calculateur est alors accéléré puisqu'il n'est plus nécessaire de réinscrire l'information après chaque lecture, comme c'est encore le cas actuellement dans les premiers modèles de mémoires à gaufres, et dans les mémoires à tores classiques.

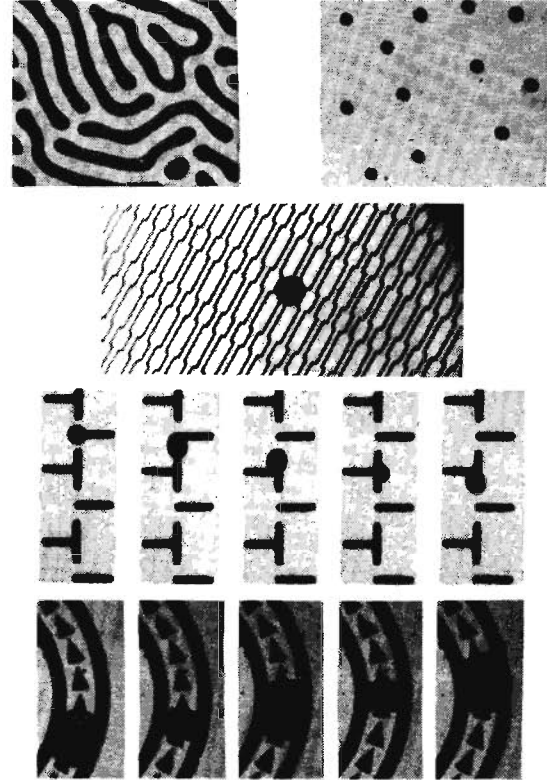


Photo 8. — Domaines magnétiques dans des matériaux à orthoferrites.

a) Bandes de domaines magnétiques (à gauche) vues par rotation Faraday de lumière polarisée, dans un film de terbium de 55 microns d'épaisseur. Ces domaines ont environ 90 microns de largeur. En appliquant perpendiculairement à la feuille d'orthoferrite, un champ magnétique de 50 œrstedes, des domaines cylindriques, ou bulles, apparaissent. Ces bulles ont 35 microns de diamètre environ (à droite).

b) Des bulles peuvent être placées dans un circuit imprimé de conducteurs et être déplacées : on a alors un registre de décalage qui manipule 3 000 000 de bits par seconde.

c) Bulle magnétique sur lequel agit un champ tournant ; elle se dirige vers un pôle.

d) L'interaction d'un domaine magnétique et d'anneaux et de dièdres en permalloy : il se produit un mouvement unidirectionnel de la bulle dans le sens inverse d'une montre.

(Cliché Bell Telephone.)

comprend aucune opération critique. Des plans de 2 000 à 4 000 points sont fabriqués en une seule « passe ». L'étape la plus délicate est le dépôt par électrolyse du film de fer, dont les propriétés doivent être rigoureusement contrôlées. Néanmoins, toutes les étapes de fabrication pourraient être facilement automatisées, pour conduire à un prix de revient très bas.

Par ailleurs, les performances obtenues avec ce type de mémoire sont excellentes : par exemple, l'écriture ou la lecture d'un point mémoire demande environ 100 na-

La mémoire à gaufre se présente ainsi comme une solution particulièrement avantageuse pour améliorer les performances de la nouvelle génération d'ordinateurs, actuellement en étude.

D'autres technologies ont été récemment mises au point pour « intégrer » les tores de ferrite : les Japonais viennent par exemple de mettre au point une mémoire dite à fils plaqués. C'est une amélioration de la mémoire à couche mince sur fil. Nous en reparlerons le mois prochain...

(A suivre.)

Marc FERRETTI.