

## LES MÉMOIRES PRINCIPES ET

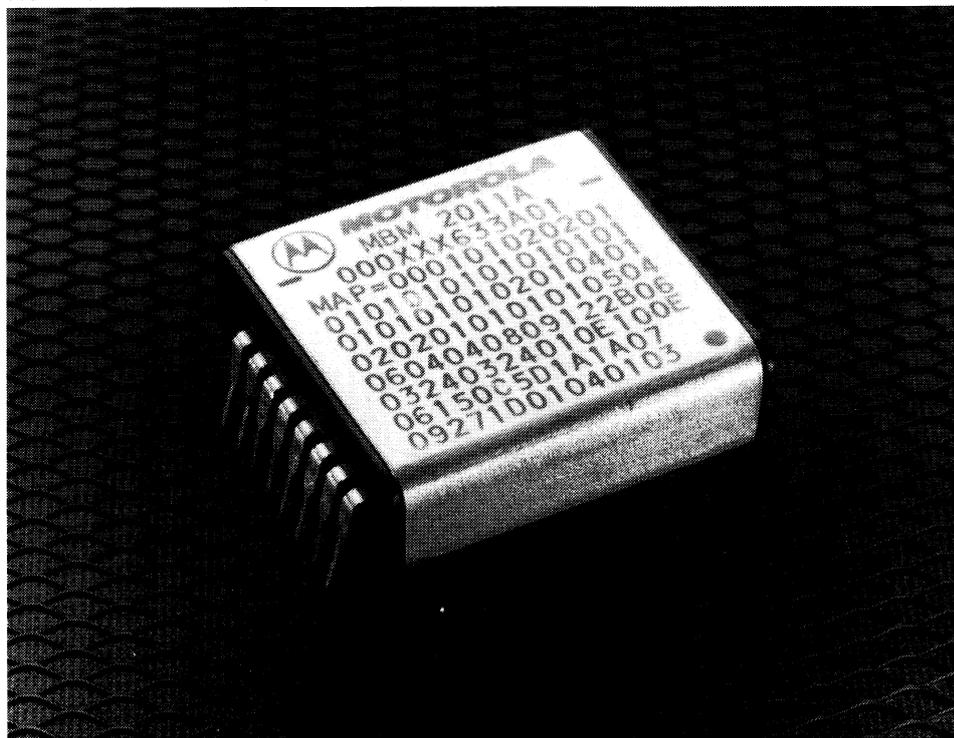
*Inventées par les laboratoires Bell (AT&T) à la fin des années 60, les mémoires à bulles ont fait, dans les années suivantes, l'objet de recherches intensives dans les laboratoires des grandes sociétés d'électronique. Après quelques déboires commerciaux, ces recherches ont finalement débouché, au début des années 80, sur un certain nombre de produits actuellement disponibles sur le marché dans l'optique du concepteur de systèmes industriels: « puces »-mémoire, mais aussi circuits périphériques associés et dispositifs prêts à l'emploi (cartes électroniques, cassettes, etc...)*

### **Principe de fonctionnement**

Le fonctionnement des mémoires à bulles repose sur un effet physique

spécifique des matériaux ferromagnétiques cristallins. Ces matériaux sont caractérisés par une anisotropie magnétique, qui se traduit par une direction d'aimantation privilégiée;

Vue d'une mémoire à bulles (Doc. Motorola).



# A BULLES: TECHNOLOGIES

une observation magnéto-optique d'une couche de ce matériau est représentée figure 1.

Si on place une tranche de ce matériau à l'intérieur d'un champ magnétique continu et perpendiculaire, en faisant croître lentement ledit champ à partir de zéro (figure 2), les bandes dont l'alimentation est opposée au champ incident conservent sensiblement la même largeur, mais se raccourcissent et s'éloignent les unes des autres.

Pour une certaine valeur du champ magnétique, les bandes sont devenues des cercles, et correspondent en fait à des domaines cylindriques dont l'aimantation propre est opposée à l'aimantation dans le reste de la couche ainsi qu'au champ magnétique extérieur de maintien (figure 3).

L'intensité du champ magnétique extérieur doit être contrôlée avec précision, car une valeur trop importante provoque une diminution progressive du diamètre des bulles, puis leur disparition brutale (champ de collapse).

Ces bulles sont dotées d'une certaine mobilité, et si le champ extérieur varie, les bulles se déplacent pour suivre le minimum de champ, avec une vitesse proportionnelle au gradient de ce champ.

La propagation des bulles est assurée par des motifs en permalloy (Fe Ni), dont l'aimantation crée des lignes de fuites qui diminuent localement le champ à l'une des extrémités pour l'augmenter à l'autre : la bulle se place alors au creux du champ magnétique. Selon l'orientation du champ tournant par rapport au motif, les minimums de champs se situent à des endroits différents, et la bulle se déplacera d'un pas de motif en une révolution du champ tournant (figure 4).

Les niveaux logiques 0 et 1 sont respectivement définis par l'absence ou la présence de bulles.

Pour davantage de détails sur le fonctionnement de ce type de composant, et en particulier pour les opérations de lecture, écriture ou effacement, on pourra se reporter à l'importante littérature spécialisée déjà parue sur ce sujet; les revues du groupe SPS

(« *Toute l'Electronique* » et « *Electronique Industrielle* ») ont du reste consacré plusieurs articles à ce thème, et on lira en particulier avec intérêt un article paru dans le numéro 58 (1.10.83) de « *Electronique Industrielle* » et rédigé par un important fabricant de mémoires à bulles (SAGEM).

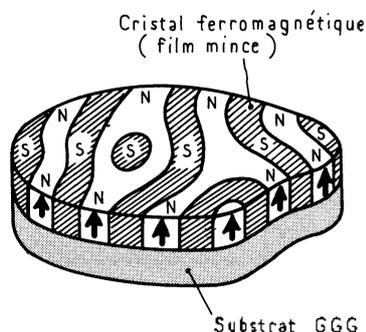


Fig. 1: Matériau ferro-magnétique en l'absence de champ externe (Doc. Fujitsu).

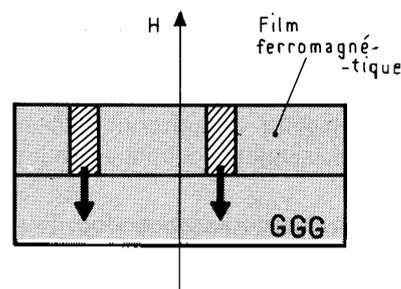


Fig. 2: Exposition à un champ magnétique extérieur (Doc. sagem).

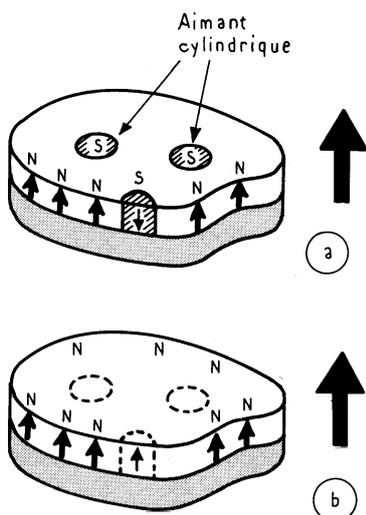


Fig. 3: Effet d'un champ magnétique extérieur (Doc. Fujitsu).

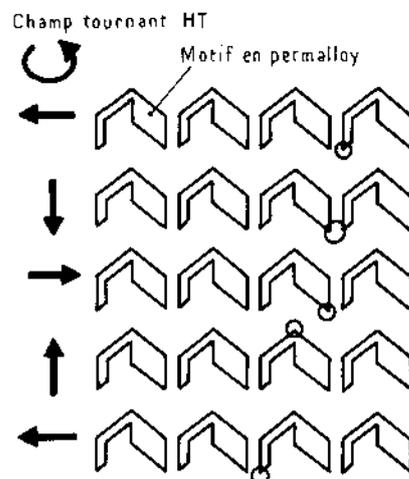
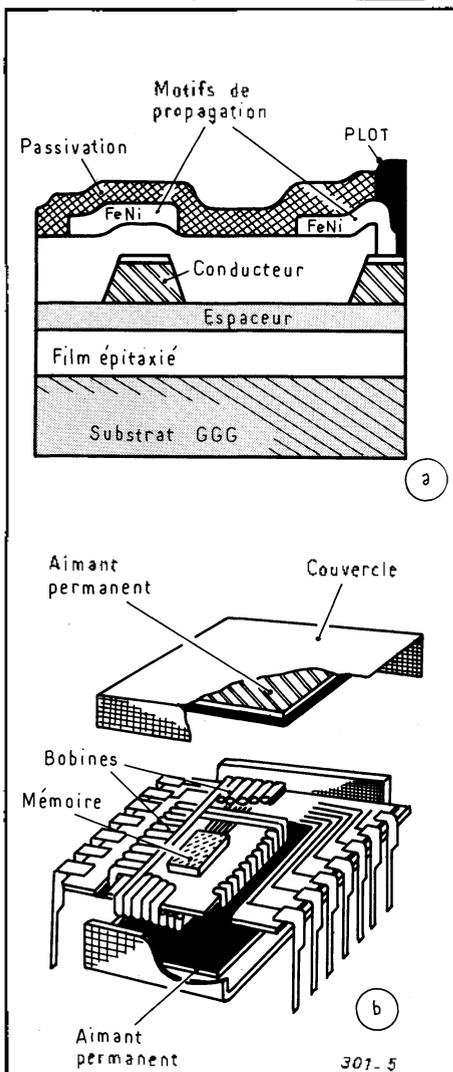


Fig. 4: Propagation des bulles en présence d'un champ tournant (Doc. Sagem).



Pour en terminer avec ce rappel consacré au principe de fonctionnement, on notera que le déplacement des bulles ne signifie aucunement le déplacement de matière, mais correspond simplement au déplacement progressif et guidé d'une anisotropie magnétique : une mémoire à bulles ne comporte intrinsèquement aucune pièce mobile, ce qui est un atout pour les applications à haut degré de fiabilité.

## Technologies et procédés de fabrication

Les mémoires à bulles sont réalisées à partir d'un substrat monocristallin non magnétique en grenat de gadolinium gallium (GGG), sur lequel est déposé par épitaxie un film magnétique dont la structure cristalline est compatible avec celle du substrat.

Les procédés de fabrication sont donc analogues à ceux utilisés en micro-électronique pour la réalisation des circuits intégrés, ce qui permet de reprendre des techniques parfaitement éprouvées (figure 5).

Les bulles utilisées dans les produits les plus courants ont un diamètre compris entre 2 et 3  $\mu\text{m}$ , de sorte qu'une puce de 100  $\text{mm}^2$  peut contenir entre 256 Kbits (32 Koctets) et 1 Mbits (128 Koctets).

De la même manière que pour les mémoires RAM dynamiques, la fabri-

cation de puces de cette taille ne permet pas d'assurer facilement un rendement (« yield ») acceptable : la solution adoptée est identique à celle des RAM 64 et 256 Kbits, à savoir l'introduction sur la puce d'éléments redondants, qui compensent les éléments trouvés défectueux lors du test final.

Les produits disponibles sur le marché offrent une gamme extrême de capacité comprise entre 64 Kbits et 4 Mbits (pour les circuits les plus récents), pour un temps d'accès variant entre 0,5 et 20 ms. Les

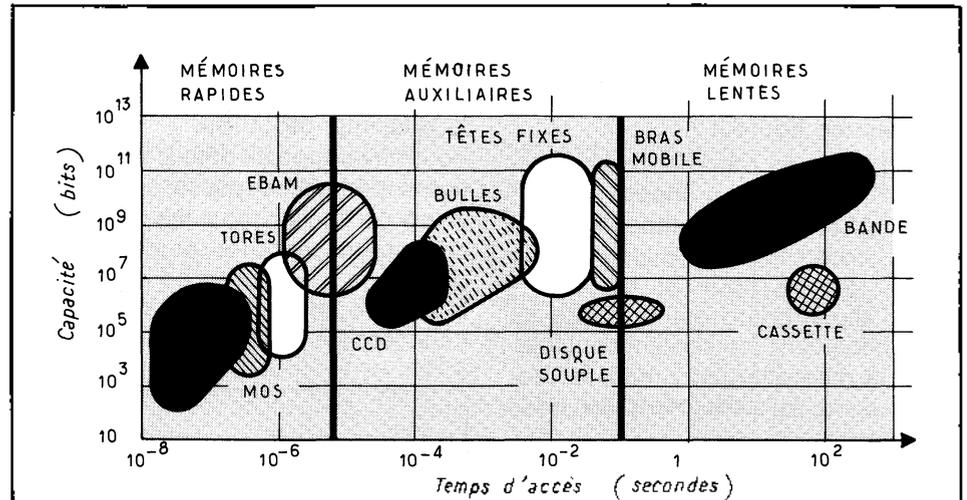


Fig. 6: Place des mémoires à bulles dans la hiérarchie des mémoires (Doc. Sagem).

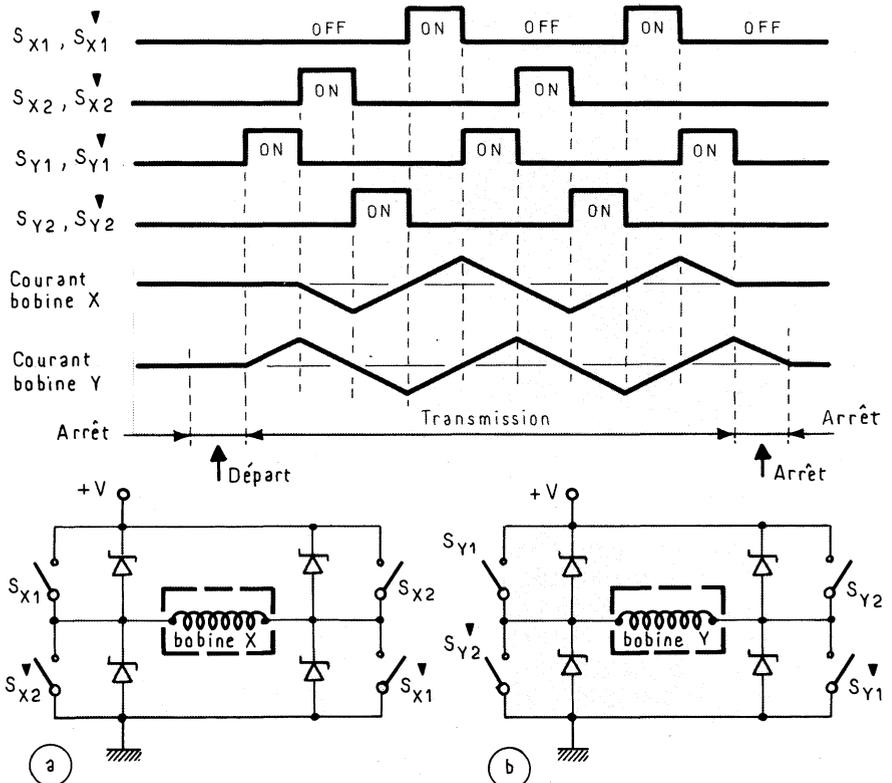


Fig. 7: Signaux de commande d'une mémoire à bulles (Doc. Sagem).