

TENDANCES

ÉLECTRONIQUE RUÉE SUR LES MÉMOIRES MAGNÉTIQUES

L'alliance de la microélectronique et du magnétisme, ou spintronique, s'avère prometteuse. Les géants du secteur s'intéressent notamment aux mémoires magnétiques.

Les industriels de la microélectronique se lancent dans la course aux mémoires magnétiques. Samsung a annoncé dès octobre 2017 que sa production de mémoires magnétiques (MRAM) utilisant la technologie de transfert de spin (STT) débuterait fin 2018. Objectif: réaliser des puces mémoires de faible capacité pour les microcontrôleurs, dispositifs et appareils mobiles qui utilisent actuellement la mémoire flash. D'autres acteurs majeurs de la microélectronique l'ont suivi, comme TSMC, GlobalFoundries, Micron ou encore Qualcomm. En France, STMicroelectronics, qui avait fait le choix d'une autre technologie de stockage alternative, la mémoire à changement de phase, envisage également désormais d'explorer les promesses de la spintronique, qui marie électronique et magnétisme. « Nous allons très probablement collaborer avec eux, dans un futur proche, autour de l'enregistrement magnétique et de l'intégration dans les microcontrôleurs », espère Bernard Diény, le directeur scientifique de Spintec, l'un des laboratoires français spécialisés dans la spintronique.

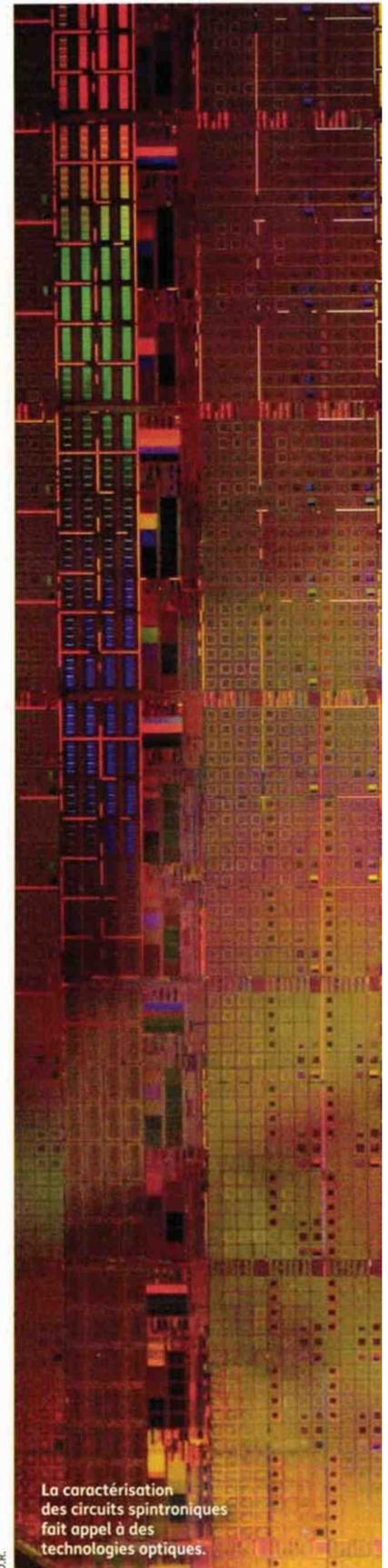
Il faut dire que les STT-MRAM ont de quoi séduire. Ces mémoires ont la particularité d'utiliser le moment magnétique de l'électron (le spin) au lieu de la charge. Elles n'ont donc pas besoin d'une alimentation électrique continue pour conserver l'information, utilisent peu d'énergie lorsqu'elles fonctionnent... et pas du tout à l'arrêt. Ce qui les rend attractives pour les applications ultra-basse consommation, comme les objets connectés.

Ceux-ci représentent justement un véritable casse-tête pour le secteur. Non seulement ils occasionnent une explosion des

données stockées, mais leurs concepteurs, comme ceux de nombreux autres produits électroniques grand public, multiplient les exigences: la lecture et l'écriture doivent être rapides, le dispositif doit consommer peu, être intégrable sur une puce et son coût de production doit être modéré. Disques durs, clés USB, mémoires flash, RAM... Les formes de stockage ont beau être multiples, elles peinent à relever ce défi multifactoriel, d'autant plus que la loi de Moore, qui prédisait le doublement des capacités des puces tous les deux ans, tend à s'essouffler.

IBM, pionnier des applications en spintronique

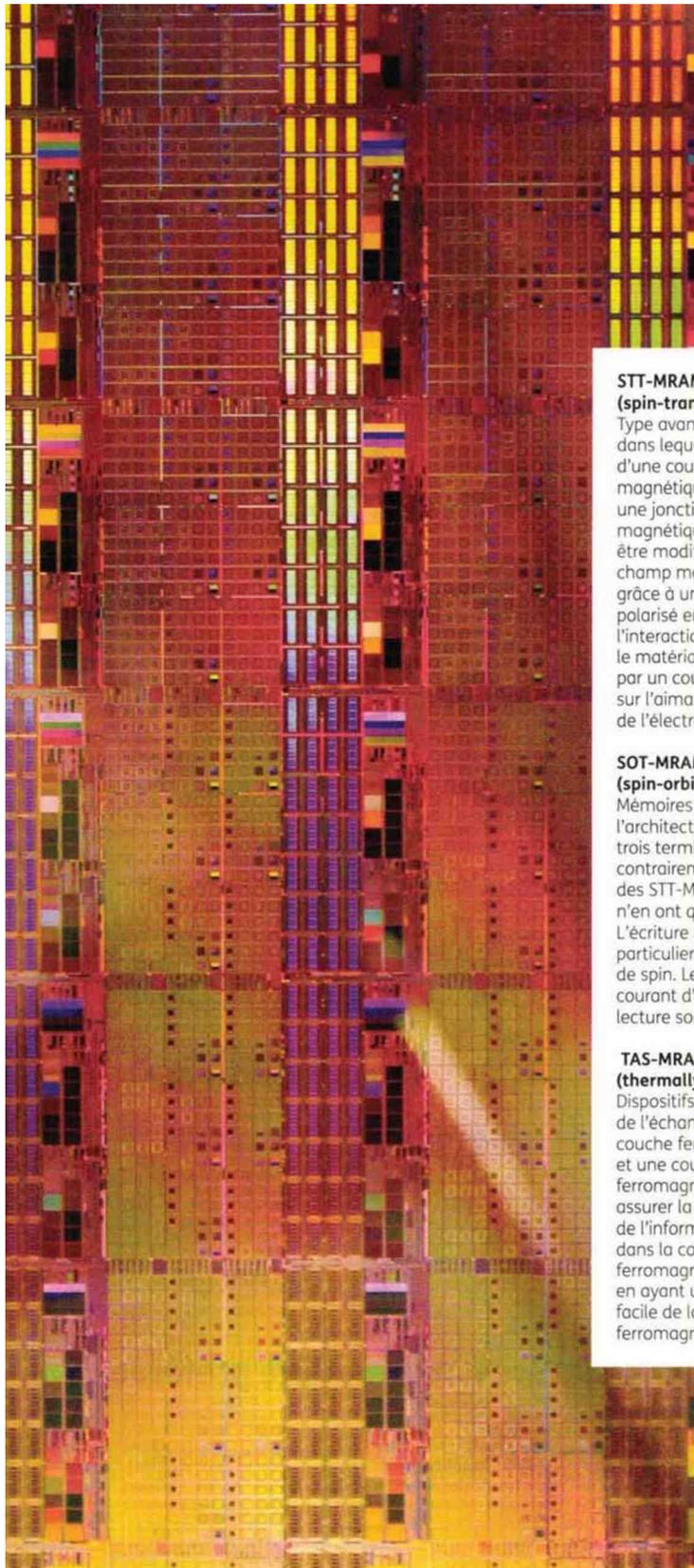
La spintronique constitue donc une piste à ne pas négliger. Apparue à la fin des années 1980, elle a donné lieu à ses premières applications dès 1989, lorsqu'une équipe dirigée par Virgile Speriosa, chercheur chez IBM, a mis au point des têtes de lecture reposant sur le phénomène tout juste découvert de magnétorésistance géante. Celui-ci permet de comparer le spin d'un électron à l'orientation du champ magnétique du matériau dans lequel il se déplace. Ultrasensibles aux champs magnétiques, ces têtes ont permis de réduire la dimension des bits magnétiques, augmentant ainsi significativement la densité des mémoires des disques. « À l'époque de ces recherches, j'étais chez IBM, se remémore Bernard Diény, sourire aux lèvres. J'ai contribué à mettre au point les capteurs à base de vanne de spin intégrés dans les têtes de lecture des disques durs. » La commercialisation du premier disque dur d'IBM a débuté en 1998. « En quittant IBM en 1992, j'ai continué à travailler sur les phénomènes de spintronic



La caractérisation des circuits spintroniques fait appel à des technologies optiques.

D.P.

TENDANCES



STT-MRAM (spin-transfer torque)

Type avancé de MRAM dans lequel l'orientation d'une couche magnétique dans une jonction tunnel magnétique peut être modifiée sans champ magnétique grâce à un courant polarisé en spin, dont l'interaction avec le matériau se traduit par un couple agissant sur l'aimantation de l'électrode.

SOT-MRAM (spin-orbite torque)

Mémoires dont l'architecture présente trois terminaux, contrairement à celle des STT-MRAM qui n'en ont que deux. L'écriture repose en particulier sur l'effet hall de spin. Les chemins de courant d'écriture et de lecture sont différents.

TAS-MRAM (thermally assisted)

Dispositifs tirant parti de l'échange entre une couche ferromagnétique et une couche anti-ferromagnétique pour assurer la conservation de l'information dans la couche anti-ferromagnétique, tout en ayant une écriture facile de la couche ferromagnétique.

nique. J'ai développé des liens avec le CEA Leti pour trouver des applications avec la spintronique. Il y avait alors un véritable fossé entre la recherche et les applications. » C'est de cette réflexion qu'est né l'un des trois principaux laboratoires français travaillant sur la discipline : Spintec, à Grenoble. Les deux autres sont l'Institut Jean Lamour à Nancy et le laboratoire du CNRS et de Thales à Palaiseau.

100 000 fois plus rapide en écriture que la mémoire flash

En 1995, un autre phénomène est découvert : la magnétorésistance tunnel (TMR) à température ambiante. Celle-ci survient dans des matériaux composés de couches magnétiques séparées par une couche isolante très fine faite d'oxyde, formant la barrière tunnel. Lorsque le courant électrique traverse, les électrons passent d'une électrode à l'autre par un phénomène quantique appelé effet tunnel, qui dépend de l'orientation de l'aimantation des électrodes. Lorsque celle-ci est parallèle, le courant passe mieux. La TMR a permis la lecture des mémoires magnétiques MRAM. L'effet de transfert de spin, qui intervient dans les STT-MRAM, utilise un courant électrique polarisé en spin - dont la majorité des électrons ont le spin orienté dans le même sens - pour modifier l'aimantation de nanostructures magnétiques. Le champ magnétique externe énergivore n'est alors plus nécessaire pour écrire des bits de mémoire.

En plus d'être peu énergivores, les STT-MRAM sont 100 000 fois plus rapides en écriture. De plus, elles ne nécessitent pas nécessairement une refonte des installations de production. Pour produire ses MRAM, Samsung a d'ailleurs annoncé utiliser son procédé existant FD-SOI de 28 nm destiné à la fabrication de ses circuits semiconducteurs basse consommation, en y apportant seulement quelques modifications (trois couches supplémentaires). Le groupe coréen a collaboré avec NXP sur ce projet pour produire en série la nouvelle génération de SoC (system on chip, ou système sur une puce) i.MX destinée à l'internet des objets. Dernier atout : les STT-MRAM ne vieillissent pas. « Pour la mémoire flash, au bout de 10 000 à 100 000 écritures, celle-ci se dégrade et ne fonctionne plus, souligne Bernard Dieny. Alors qu'avec le spin, il n'y a pas de vieillissement du point de mémoire. » Pour

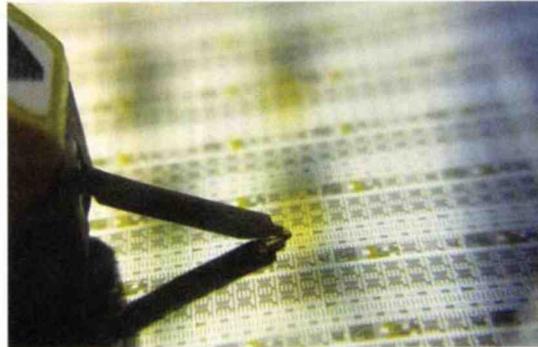


TENDANCES

►► autant, les mémoires flash ont encore de l'avenir. Même si elles sont moins endurantes et moins rapides que les MRAM, elles restent en effet moins coûteuses.

Des memristors aux biotechnologies

Les dispositifs issus de la spintronique pourraient bientôt remplacer la SRAM, la mémoire rapide proche des circuits logiques. « Pour cela, il est nécessaire d'écrire sous les trois nanosecondes, et la STT-MRAM n'est pas tout à fait prête, nuance toutefois Bernard Dieny. Plus on veut aller vite, plus il faut travailler sur les tensions électriques. Et on doit améliorer les matériaux des jonctions tunnel pour éviter le claquage électrique qui pèse sur la STT-MRAM quand on écrit avec des pulses de courant de l'ordre



Spintec contrôle ses composants spintroniques par des tests électriques.

de la nanoseconde. » La technologie la plus prometteuse est la MRAM avec couple spin-orbite torque (SOT-MRAM), développée par Antaios. Cette dernière permet d'écrire plus vite en séparant chemins de lecture et d'écriture.

Et après? Des memristors aux neurones artificiels, des dispositifs de radiofréquence pour les télécoms aux capteurs pour la mesure de champ magnétique, en

passant les biotechnologies et les nanorobots, les domaines à investir ne manquent pas. Prenons l'exemple d'une application en cours de développement par le Spintec, avec le CHU de Grenoble et Climatic. Les scientifiques travaillent sur un procédé qui pourrait permettre à l'organisme de lutter contre le cancer grâce à des particules magnétiques fonctionnalisées mises en contact avec les cellules cancéreuses. Ils ont appliqué un stress mécanique à une cellule, avec un champ magnétique basse fréquence, qui modifie l'échange ionique entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule. Celle-ci a alors détecté un dysfonctionnement et tué les cellules cancéreuses. Le mécanisme a été observé in vitro puis in vivo, avec un champ de 30 millitesla (contre 8 tesla pour l'IRM). Ce procédé, encore à l'étude, pourrait être associé à moins d'effets secondaires. « Les nanoparticules sont biocompatibles, donc injectables dans le corps humain, directement dans la tumeur », note le chercheur. Pas de doute, les promesses de la spintronique sont multiples! ●

Ces start-up qui se lancent dans les MRAM

Le Spintec de Grenoble a fait émerger nombre de start-up. **Crocus Technology** s'est fait connaître sur le marché des semi-conducteurs avec ses capteurs de champ magnétique et ses mémoires magnétiques à commutation thermiquement assistée (TAS-MRAM), conçus en

Californie. En 2015, cette société a ouvert une filiale en Russie, en partenariat avec Rosnano. L'un de ses plus gros clients est Morpho (groupe Safran). **Antaios** développe une nouvelle génération de mémoire avec effet de couple spin-orbite (SOT-MRAM) qui pourrait remplacer les mémoires

SRAM. **Hprob** fabrique des testeurs pour caractériser les propriétés des MRAM. **Evaderis** conçoit des circuits CMOS avec jonction tunnel magnétique. Citons enfin quelques start-up extérieures au Spintec, qui se sont aussi spécialisées dans ce domaine: **Avalanche**, **Everspin**, et **Spin Transfer Technology**.

D.P.

►► SÉVERINE FONTAINE
 sfontaine@industrie-technologies.com