

Les mémoires du FUTUR

Comment stocker et traiter le déluge d'informations produites au quotidien ? Les mémoires numériques actuelles se rapprochant de leurs limites, les scientifiques développent de nouveaux dispositifs.

Luca Parniola

En 2012, l'industrie a fabriqué plus de puces électroniques de mémoire que l'agriculture n'a produit de grains de riz ! Une telle production est indispensable pour stocker et traiter les énormes quantités d'informations créées tous les jours. Dans le monde, $2,72 \times 10^{21}$ octets de données ont ainsi été produits en 2012. Les dispositifs actuels sont-ils capables de soutenir la croissance rapide du volume de données ? Cela implique des capacités de stockage importantes et des dispositifs qui permettent d'accéder rapidement aux données. Or les techniques utilisées aujourd'hui semblent proches de leurs limites. Aussi les laboratoires développent-ils une nouvelle génération de mémoires numériques, plus performantes et moins coûteuses.

La nécessité de conserver des informations a débuté très tôt dans l'histoire de l'humanité. Les premiers supports étaient analogiques – parmi les nombreux dispositifs, on trouve les tablettes d'argile, les parchemins ou les livres. Ils avaient pour principal inconvénient d'être encombrants. L'émergence du

L'ESSENTIEL

■ **Les appareils numériques utilisent des mémoires rapides d'accès pour interagir avec le microprocesseur et des mémoires à grande capacité de stockage, mais plus lentes. Chaque type a ses avantages et ses limites.**

■ **Les mémoires universelles, rapides et capables de stocker de grands volumes de données, n'existent pas.**

■ **Les scientifiques conçoivent de nouveaux dispositifs, fondés sur des effets physiques différents, qui seront rapides d'accès, fiables, économes en énergie...**

numérique a bouleversé cet état de fait. Toute donnée – musique, texte, image – est convertie en une séquence de bits (des « 0 » et des « 1 ») qui permet, entre autres avantages, un gain de place important, un traitement automatisé, la consultation à distance, etc.

Le premier exemple de mémoire numérique est celui des cartes perforées utilisées sur les métiers à tisser Jacquard à partir du début du XIX^e siècle. Ces cartes présentaient une suite de trous (un trou correspondant, par exemple, à 0 et son absence à 1). Elles contrôlaient le mouvement des crochets du métier à tisser et ainsi automatisaient la fabrication des textiles. Ces cartes perforées se limitaient à indiquer une succession d'instructions.

En 1834, le mathématicien anglais Charles Babbage a eu l'idée d'utiliser les cartes perforées avec sa machine à calculer. Les cartes contenaient les instructions et les données pour les opérations à effectuer. Cette innovation a conduit à l'invention des ordinateurs et au développement des supports de mémoire numériques. Ceux-



© Vasya Kobelew/shutterstock

ci ont connu un essor important au cours des dernières décennies. Ils représentent aujourd'hui l'essentiel des supports de mémoire. Durant ces 20 dernières années, les performances de ces dispositifs ont aussi encouragé la production massive de données (voir la figure 1). La mise en mémoire étant devenue simple et peu chère, il n'y avait plus besoin de limiter le volume de données à stocker.

Les mémoires universelles : utopiques ?

Si l'accroissement du volume d'informations à stocker se poursuit au même rythme, les mémoires d'aujourd'hui seront-elles à la hauteur, en capacité de stockage comme en rapidité d'accès ? Il est probable que non. Les ingénieurs rêvent de mémoires dites universelles qui seraient notamment rapides d'accès, capables de stocker de grands volumes de données, fiables et économes en énergie. Malheureusement, un tel dispositif relève plus de l'idéal vers lequel tendre que d'une réalité concrète.

Les systèmes numériques d'aujourd'hui associent toujours plusieurs dispositifs : des mémoires dites de travail (ou « mémoires vives »), qui conservent de petits volumes de données mais qui ont des temps d'accès très courts, et des mémoires de stockage, qui peuvent enregistrer d'énormes quantités d'information, mais au prix d'un temps d'accès plus long. En associant ces deux types de mémoires, il est possible de construire un système qui peut exécuter des opérations en peu de temps et conserver un grand volume de données.

De nombreux concepts sont à l'étude et certains pourraient être opérationnels dans les années à venir. Pour comprendre l'intérêt de ces dispositifs, il faut commencer par s'intéresser aux mémoires utilisées aujourd'hui, avec leurs qualités et leurs limites. Je présenterai ensuite quelques solutions techniques qui pourraient succéder aux dispositifs actuels d'ici cinq à dix ans.

Comme je l'ai évoqué, nous ne savons pas fabriquer de mémoires universelles. La nature ne semble pas faire mieux dans ce domaine. Il existe, par exemple, différents modèles théoriques de la mémoire du cer-

veau humain. Dans tous les cas, la mémoire est subdivisée en sous-systèmes spécialisés en différentes tâches. On observe ainsi de nombreuses analogies entre la mémoire biologique et les mémoires artificielles. Dans un modèle classique des années 1960, on distingue la mémoire sensorielle qui retient une grande quantité d'informations provenant des différents sens pendant un temps très bref et sans faire d'interprétation. Certaines informations sont ensuite transmises à la mémoire à court terme, dont la capacité est limitée et où les informations sont disponibles pendant plusieurs dizaines de secondes. Cette mémoire permet, entre autres, à un lecteur de ne pas oublier le début de la phrase pour pouvoir en comprendre le sens.

Enfin, une mémoire à long terme permet de conserver des informations longtemps et en quantités importantes. L'évolution a probablement conduit à cette structure qui permet par exemple de traiter rapidement une information perçue, comme quand nous sommes confrontés à un prédateur ou à un autre danger.

Depuis les années 1960, ce modèle de la mémoire humaine a subi des modifications et s'est enrichi de sous-catégories (voir l'article de Franck Chaillan dans ce numéro). Cependant, la conclusion est que le cerveau n'est pas une mémoire universelle et que la combinaison de mémoires spécialisées semble présenter des avantages.

L'industrie suit un schéma similaire, puisqu'elle associe différents types de mémoires. Si, à plusieurs reprises, de nouveaux dispositifs ont été présentés comme universels, des études approfondies les ont toujours mis en défaut. Quoi qu'il en soit, les fabricants se concentrent sur l'amélioration de leurs caractéristiques : la durée de vie, la fiabilité, etc. Une propriété importante est le temps d'accès, la durée nécessaire pour la lecture ou l'écriture d'une information sur une mémoire ; elle est comprise entre la nanoseconde et la milliseconde, suivant les dispositifs.

Le processeur d'un ordinateur, qui exécute des calculs, a besoin d'obtenir très rapidement les instructions et les données nécessaires à l'opération. Il doit donc être associé à des mémoires de travail à temps d'accès très court, pour ne pas ralentir les performances du processeur. De telles mémoires coûtent cher, et leur densité d'information stockée est faible : elles ne peuvent pas emmagasiner de grands