

# Quand le processeur copiera le cerveau

L'électronique du futur va se doter de neurones situés au coeur des puces, mais aussi de synapses. Objectif : mieux faire tourner les applications d'intelligence artificielle.

---

Les Echos · 8 jenn. 2019 · Frank Niedercorn @FNiedercorn

---

Un circuit électronique en forme de cerveau... L'affiche de la conférence IEDM (International Electron Devices Meeting), grand-messe mondiale de l'électronique qui se tenait à la fin de l'année dernière à San Francisco, posait bien l'enjeu. L'ordinateur du futur prendra le cerveau pour modèle. « Cette approche, mineure par le passé, devient prépondérante et la majeure partie des présentations y était consacrée », explique Damien Querlioz, chercheur au Centre de nanosciences et de nanotechnologies de Saclay, qui dépend du CNRS.



Certes, avec les réseaux de neurones du « deep learning » (apprentissage automatique profond), l'intelligence artificielle s'inspire déjà de notre cerveau. « Les réseaux de neurones actuels sont virtuels. Ce sont des algorithmes, constitués de lignes de codes qui permettent de résoudre un problème ou d'obtenir un résultat en fonctionnant sur des puces classiques. A l'inverse, une puce neuromorphique reproduit physiquement un réseau de neurones, avec du code écrit dans l'architecture », précise Julie Grollier, directrice de recherche à l'unité mixte de physique CNRS/Thales, où elle coordonne l'équipe « traitement cognitif de l'information ».

L'intérêt de cette fièvre de l'industrie ? L'énergie. Le gros problème auquel se heurte l'informatique cognitive, c'est sa voracité. Watson, le programme d'intelligence artificielle d'IBM qui a remporté le jeu télévisé « Jeopardy! » en 2011, utilisait 80.000 watts. AlphaGo, de DeemMind, qui en 2016 a battu le meilleur joueur de go faisait à peine mieux avec 20.000 watts. Une gabegie énergétique face au cerveau humain, qui consomme environ... 20 watts, soit autant qu'une ampoule électrique. Un handicap que l'ordinateur doit à son

architecture héritée des années 1950, où les unités de calcul et la mémoire sont séparées. « Les applications d'intelligence artificielle exigent de faire circuler de grandes quantités de données entre la mémoire et le microprocesseur. Cela consomme de 100 à 1.000 fois plus d'énergie que le calcul lui-même », insiste Manuel Le Gallo, chercheur au sein du département memory & cognitive technologies d'IBM Research à Zurich. Avec ses 100 milliards de neurones reliés par des synapses 10.000 fois plus nombreuses, le cerveau est infiniment plus efficace, puisqu'il « traite l'information à l'intérieur des réseaux de neurones, sans aucune séparation entre le calcul et la mémoire », précise Manuel Le Gallo. Le transistor, à la base de l'informatique actuelle, est peu adapté à cette révolution. Fonctionnant comme un simple interrupteur, il en faut plusieurs pour reproduire le fonctionnement d'un seul neurone. Conséquence, une carte électronique qui entasserait suffisamment de transistors pour rivaliser avec un cerveau humain mesurerait... 300 mètres de côté, selon les calculs de Julie Grollier.

### Synapses artificielles

En conséquence, les scientifiques parient sur de nouveaux matériaux capables, à la différence des transistors, de stocker des données et de calculer. « Ils permettront de réaliser des neurones et synapses artificiels avec une très haute densité et en consommant très peu d'énergie », assure Manuel Le Gallo. Le laboratoire zurichois d'IBM privilégie les mémoires à changement de phase. Plusieurs équipes de recherche se sont lancées dans la course et deux autres matériaux sont privilégiés : les mémoires magnétiques et les mémoires à effet « redox ». La piste la plus couramment explorée consiste logiquement à s'intéresser à la fabrication de synapses artificielles. « Les développements ont été plus rapides que prévu et je pense que l'on va voir de nouvelles annonces d'industriels dès cette année », annonce Damien Querlioz. STMicroelectronics et Intel ont annoncé, l'an dernier, les premiers prototypes utilisant des mémoires à changement de phase. D'ici à quelques années, ces futures puces neuromorphiques pourraient autoriser une consommation cent fois moins importante pour des traitements cent fois plus rapides.

Les chercheurs voient pourtant déjà plus loin. « Ce domaine de l'informatique inspirée du cerveau est plus large que celui des puces neuromorphiques. Il étend les concepts d'apprentissage et cherche à se rapprocher du fonctionnement du cerveau avec des notions comme les "spikes", ces impulsions de notre cortex cérébral, les représentations symboliques ou encore les phénomènes d'oubli », explique Fabien Clermidy, chef du service calcul & systèmes numériques au CEA Leti. Une piste sur laquelle s'est lancée la start-up AnotherBrain de Bruno Maisonnier (ancien fondateur d'Aldebaran Robotics, revendu à SoftBank en 2012) avec le chercheur en électronique Patrick Pirim et qui a levé 10 millions d'euros il y a tout juste un an. « Notre objectif n'est pas de reproduire le schéma trop complexe du cerveau avec ses 100 milliards de neurones. Notre approche, plus globale, s'appuie sur les neurosciences qui ont montré que le cortex est organisé autour de groupements de neurones possédant des fonctions bien identifiées », résume Charlotte Saglier, bras droit de Bruno Maisonnier.

### Nanoneurones en réseau

Les chercheurs sont aussi sur des pistes encore plus innovantes : matériaux supraconducteurs ou organiques, mais aussi procédés optiques photoniques. L'équipe mixte CNRS-

Thales dirigée par Julie Grollier a choisi de mimer le fonctionnement des neurones grâce à des composants de taille nanométrique qui communiquent entre eux par radio en utilisant les propriétés de la spintronique et du magnétisme. L'intérêt est de se passer de toute connexion filaire entre les composants. « On se rapproche du fonctionnement du cerveau dans lequel les neurones communiquent à coups de petites impulsions électriques », précise Julie Grollier.

Dans un article publié dans « Nature » en 2017 et cosigné avec Damien Querlioz, l'équipe a démontré sa technologie avec un nanoneurone capable de reconnaître des chiffres parlés de 0 à 9. L'équipe avait utilisé une astuce puisque le même composant réalisait le travail de chacun des 400 neurones successivement. L'an dernier, les chercheurs ont fabriqué un réseau de 4 nanoneurones qui reconnaissait les voyelles prononcées par différentes personnes. « Nous avons surtout montré que les nanoneurones avaient une capacité d'apprentissage en communiquant et en modifiant leur comportement », résume Julie Grollier. L'électronique classique ne va pourtant pas disparaître prédit Julie Grollier : « L'ordinateur du futur combinera sans doute les processeurs actuels multitâches, programmables et adaptés aux grands traitements arithmétiques, et ces puces neuromorphiques qui traiteront l'intelligence artificielle. Des puces qui devraient se répandre partout. L'objectif est de rendre les grands ordinateurs centraux moins gourmands et les objets du quotidien plus intelligents. » ■

Une carte électronique qui entasserait suffisamment de transistors pour rivaliser avec un cerveau humain mesurerait...

300 mètres de côté.