

# Biomimétisme

## Quatre technos inspirées du cerveau

JULIETTE RAYNAL [1]

*Confrontés à des limites technologiques, les chercheurs s'inspirent du fonctionnement du cerveau pour concevoir de nouveaux composants et de nouvelles architectures et méthodes de calculs afin de doper l'intelligence des machines, tout en limitant leur consommation énergétique.*

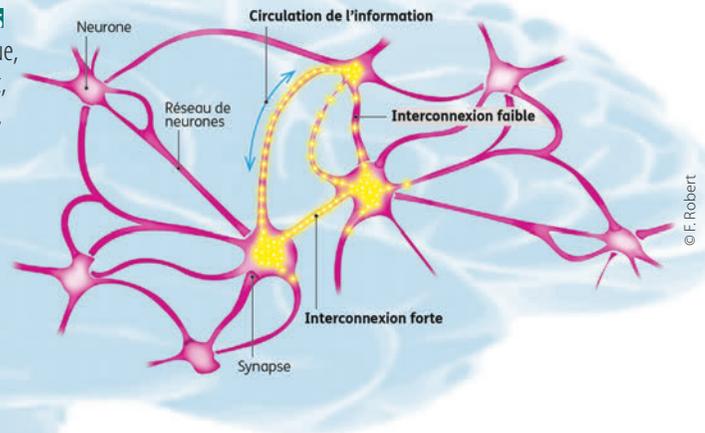
### Le cerveau, un superordinateur biologique

Dans notre cerveau, l'information ne circule pas en continu mais par impulsions, déclenchées lors d'un événement particulier. Ce fonctionnement permet de nombreux calculs en parallèle... avec une consommation énergétique inférieure à celle d'une ampoule de 25 watts !

Par ailleurs, lors de l'apprentissage d'une nouvelle tâche, le cerveau programme des « poids synaptiques », correspondant à la force des interconnexions entre différents neurones. Ainsi, si deux neurones sont souvent excités simultanément, leur interconnexion est forte. Cette modulation renforce la capacité de calcul. ■

#### mots-clés

électronique, composant, innovation, réseau



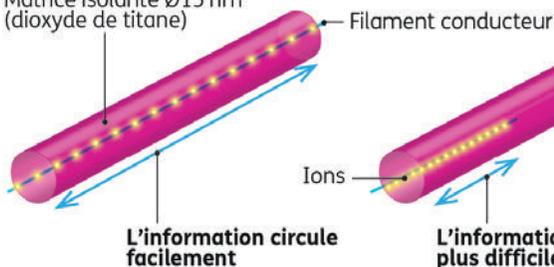
© F. Robert

### 1. Le memristor, une synapse artificielle

#### TENSION NÉGATIVE

La valeur de la résistance diminue

Matrice isolante Ø15 nm (dioxyde de titane)



#### TENSION POSITIVE

La valeur de la résistance augmente

L'information circule plus difficilement

Le memristor mime le rôle des synapses dans l'établissement d'interconnexions plus ou moins fortes entre les neurones, via une résistance plus ou moins importante. La valeur de cette résistance est modulée par l'application d'une tension. Même lorsqu'il n'est plus sous tension, le memristor se souvient de sa valeur de résistance car la position des ions reste

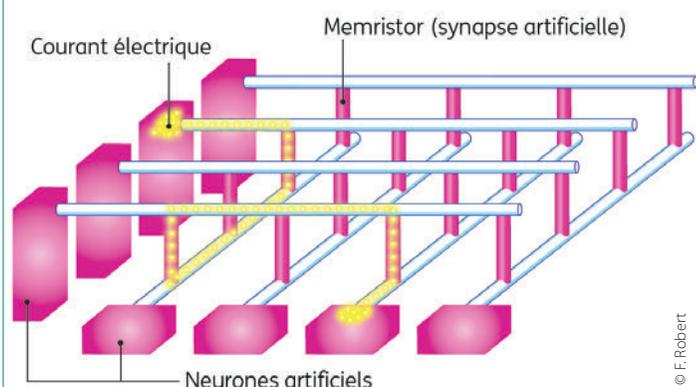
fixe. Grâce à cette propriété, le memristor se comporte comme une synapse et permet de simuler la force des connexions inter neuronales. Les travaux se concentrent sur des memristors à base de matériaux oxydes, ferroélectriques, spintroniques ou à changement de phase.

© F. Robert

Schémas réalisés avec l'aide de Rodolphe Hélot, ancien chercheur au CEA, Julie Grollier, directrice de recherche au laboratoire CNRS/Thales et Yann Ollivier, chercheur au CNRS.

[1] Article extrait de la revue *Industrie & technologies*, n° 980, octobre 2015.

## 2. Crossbar, les memristors en réseau

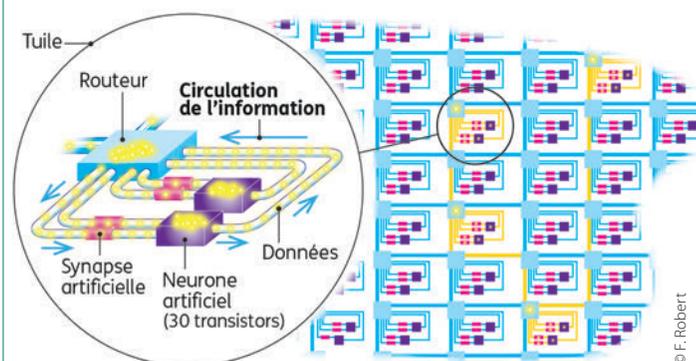


Les memristors peuvent être interconnectés dans des réseaux de neurones artificiels appelés crossbars. IBM a réussi à construire un réseau de 165 000 memristors. Le principal défi dans leur conception consiste à limiter les fuites de courant propres aux nanotechnologies. Plus globalement, l'objectif est

de créer un réseau extrêmement dense de memristors pour obtenir un arrangement permettant de représenter le réseau de synapses de notre cerveau, soit  $10^{15}$  synapses. À terme, cette technologie pourrait être utilisée pour la reconnaissance vocale, de visages, la classification et la prévision.

© F. Robert

## 3. Puce neuromorphique, un réseau de neurones électronique



La puce neuromorphique, ou puce cognitive, s'inspire de la circulation de l'information au sein d'un réseau de neurones, et l'applique à un circuit électronique. Il existe de nombreuses architectures neuromorphiques différentes, selon l'application que l'on souhaite émuler. Une équipe du CEA en a par exemple développé une, composée de 25 tuiles, pour la détection de

mouvements, la reconnaissance d'objets ou de contours dans une image et la surveillance vidéo. Les interconnexions plus ou moins fortes entre neurones y sont reproduites sous forme de charges élémentaires au niveau des synapses artificielles. Pour ces applications, l'efficacité énergétique de cette puce est 100 fois supérieure à celle d'un processeur classique.

© F. Robert

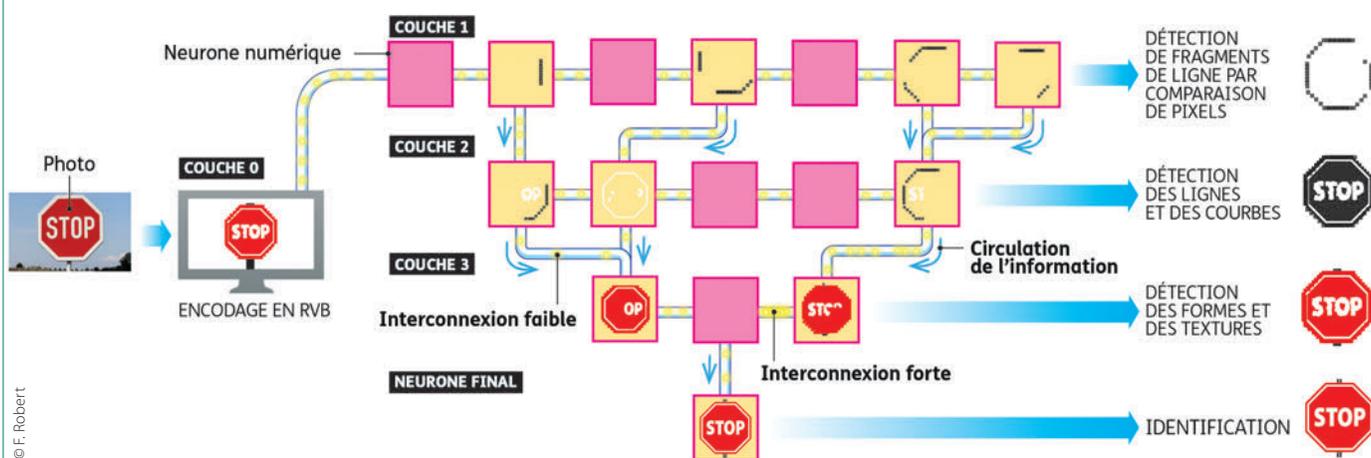
## 4. Le deep learning, un apprentissage hiérarchisé

L'apprentissage automatique par *deep learning* implique des unités de calculs distribuées en réseau, comme les neurones. Ces neurones artificiels, dont chacun effectue des

calculs simples, sont répartis par couches hiérarchisées : les résultats de chaque couche servent de données d'entrée pour la couche suivante. Cette méthode permet

notamment une reconnaissance très efficace des images. Le système s'améliore avec le temps : le réseau de neurones peut être entraîné par des réponses

permettent d'optimiser la circulation de l'information, en modulant la force des interconnexions entre neurones.



© F. Robert