

> entrée représentée par un vecteur de taille fixe, les réseaux neuronaux d'aujourd'hui peuvent traiter des entrées dont la taille est variable – listes, ensembles, arbres, graphes, etc.

Par ailleurs, certains algorithmes et architectures confèrent aux réseaux neuronaux un mécanisme dit d'attention diffuse, qui permet à chaque instant de focaliser le calcul sur un élément (ou un petit nombre d'éléments) de l'entrée qui est plus pertinent. Ces éléments peuvent être des positions dans une image, auquel cas on parle d'attention visuelle, des parties d'un graphe ou de tout autre ensemble d'éléments que l'ordinateur doit traiter.

Le mécanisme d'attention diffuse facilite l'entraînement du réseau neuronal et a été l'élément principal qui nous a permis d'obtenir une percée en traduction automatique, à partir de 2014-2015. On retrouve maintenant un tel système dans Google Translate, avec une qualité de traduction de loin supérieure à ce qui existait auparavant.

L'attention diffuse intervient aussi dans l'exploration moderne de mécanismes appris de raisonnement. Les chercheurs en apprentissage profond considèrent aujourd'hui le raisonnement comme une façon de combiner séquentiellement plusieurs éléments (des faits) afin de parvenir à une conclusion (un fait inféré ou déduit). Le mécanisme de raisonnement (par exemple, une règle d'inférence du type: « Si A et B, alors C ») lui-même n'est pas fixé d'avance, mais est appris par la machine, de façon à pouvoir résoudre les problèmes qui lui sont soumis et dont la solution exige un raisonnement.

APPRENTISSAGE NON SUPERVISÉ

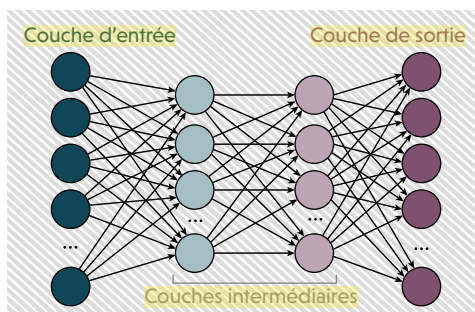
Pour s'approcher de l'intelligence humaine, il faudra découvrir des mécanismes d'apprentissage grâce auxquels la machine pourra réellement comprendre les rouages profonds de son environnement. Or il est impossible de compter sur les humains pour fournir une interprétation sémantique de toutes les données utilisées pour entraîner la machine. C'est pourquoi les chercheurs s'éloignent du cadre classique de l'apprentissage supervisé et se mettent à combiner apprentissage non supervisé et apprentissage « par renforcement ».

Dans l'apprentissage profond non supervisé, on fournit à la machine un ensemble de données ou d'exemples sans lui spécifier le résultat qu'elle doit assigner à chacun d'eux: l'algorithme doit permettre au système de classer de lui-même ces données (par exemple, à partir de nombreuses images de véhicules présentées lors de l'apprentissage, la machine pourra déterminer, sur une nouvelle image, si l'objet représenté est un véhicule ou quelque chose d'une autre nature).

Les chercheurs s'intéressent particulièrement à l'apprentissage profond non supervisé et « génératif », où l'ordinateur peut créer

RÉSEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS

Les réseaux de neurones artificiels sont des systèmes, étudiés dès la fin des années 1940, qui s'inspirent des propriétés des neurones biologiques et de leurs connexions.



aléatoirement de nouvelles données intéressantes, par exemple synthétiser de nouvelles images, de nouveaux sons, de nouvelles phrases. La tâche d'un tel ordinateur-artiste n'est pas aisée: il ne suffit pas de produire des pixels au hasard, ces pixels doivent être organisés d'une façon qui soit plausible, qui puisse, par exemple, correspondre à une image naturelle.

Quant à la démarche dite d'apprentissage par renforcement, elle consiste à apprendre à produire une séquence d'actions qui maximisent un ou plusieurs objectifs ou récompenses futures. C'est ainsi que, par exemple, l'enfant apprend une physique intuitive sans l'aide de ses parents, en jouant, en observant et en interagissant avec son environnement.

L'apprentissage non supervisé et par renforcement permettra peut-être à une machine de bien se représenter le monde qui l'entoure (c'est-à-dire de le comprendre) et ainsi de mieux planifier ses actions. Il est difficile d'évaluer le chemin qui reste à parcourir pour atteindre un tel niveau d'intelligence artificielle. Mais ce qui est sûr, c'est que de nombreuses applications utiles seront possibles dès demain grâce aux techniques d'apprentissage profond que nous connaissons déjà (d'où l'engouement de nombreuses entreprises pour ce domaine). Et que ces potentialités seront plus énormes encore quand les recherches fondamentales déboucheront sur de l'intelligence artificielle comparable à celle d'un humain. ■

Un neurone artificiel peut être un composant logiciel ou un composant matériel. À partir des signaux numériques qu'il reçoit d'autres neurones, il calcule, selon des règles simples, un résultat qu'il transmet aux neurones suivants. Ce signal est lui-même pondéré par la « force » – on dit aussi le « poids » – de la connexion par laquelle il passe.

Typiquement, un réseau neuronal est constitué d'une couche de neurones d'entrée, d'une couche de sortie et d'une ou plusieurs couches intermédiaires ou « cachées » (jusqu'à plusieurs centaines dans les réseaux profonds). Les neurones d'entrée recueillent les données (par exemple les valeurs des pixels d'une image), ceux de sortie transmettent un résultat (qui code par exemple le type d'objet que le réseau a reconnu dans l'image).

Dans le processus d'apprentissage, où un grand nombre d'exemples sont présentés au réseau, les poids des connexions sont modifiés peu à peu selon un algorithme approprié, afin d'obtenir des performances optimales de reconnaissance.