

pièges, les chercheurs ont mené une comparaison avec des sujets humains. Chacune des personnes d'un groupe de 23 participants a écouté 1500 séquences sonores pièges sans être informée de ce qu'il fallait trouver. Dans 89% des cas, la reconnaissance par les sujets humains n'a pas été affectée, alors que la machine s'est trompée dans 100% des cas.

CORRIGER LES MÉTHODES

Ce qu'on a découvert donne des pistes pour créer de nouvelles méthodes d'apprentissage plus résistantes. L'idée la plus simple consiste, après la première période d'apprentissage, à construire de nombreuses images pièges et à les faire apprendre en complément au réseau en lui indiquant les bonnes réponses, tout comme un professeur de langue indique les faux amis à l'étudiant qui, averti, ne commettra pas l'erreur associée à ces expressions trompeuses.

Une autre idée simple fournit facilement une première protection : la compression de données. Gintare Dziugaite, de l'université de Cambridge, et ses collègues ont noté dès 2016 l'intérêt et les effets des méthodes de compression informatique pour se protéger des images pièges. Avant de faire apprendre une image au réseau, on lui appliquera un algorithme de compression d'images d'usage courant. Cela modifie un peu certains pixels, mais la compression, en simplifiant l'image, la débarrasse des caractéristiques inutiles que le réseau pourrait prendre en compte alors qu'elles ne sont qu'accidentelles. Ce lissage ramène à ce qui est essentiel dans l'image.

On se retrouve une fois encore dans une situation où le perfectionnement des armes conduit aux perfectionnements des protections. Quelle sera l'issue finale de cette coévolution du glaive et du bouclier ? Nul ne le sait, mais cela fera globalement progresser la science de l'apprentissage automatique.

LE POSSIBLE ET L'IMPOSSIBLE

Les réseaux de neurones artificiels sont formidables pour une catégorie de tâches particulières que Andrew Ng, chercheur principal chez Baidu, entreprise chinoise, décrit comme suit : « Si un individu moyen est capable de réaliser une certaine tâche en moins de une seconde, alors il est probable que vous pourrez l'automatiser. » En revanche, leur mode de fonctionnement et leur programmation par apprentissage à base d'exemples entraînent des caractéristiques dont plusieurs sont des limitations.

Gary Marcus, professeur de psychologie à l'université de New York, énumère dans une prépublication (arXiv:1801.00631, 2018) dix problèmes liés aux réseaux de neurones profonds qui nous aident à percevoir ce qu'il faudrait faire pour aller au-delà.

1. L'apprentissage profond exige énormément de données : lors de la phase d'apprentissage, il faut donner au système plus d'exemples que n'en aurait besoin un humain.

2. L'apprentissage à l'aide de réseaux de neurones profonds est en réalité superficiel ; l'utilisation de l'adjectif *profond* concerne la structure des réseaux utilisés, mais pas la nature de ce qui est appris et maîtrisé.

3. L'apprentissage profond ne sait pas, jusqu'à présent, traiter de manière directe les structures hiérarchiques ou impliquant une combinatoire complexe entre éléments (par exemple le fonctionnement d'un moteur de voiture).

4. L'apprentissage profond est inefficace pour mener des raisonnements logiques enchaînés, comme déduire de « Lucie est la mère de Jacques et la fille de Jean » que « Jacques est le petit-fils de Jean ». On sait construire des méthodes symboliques (non neuronales) qui réussissent ces tâches de raisonnement qu'il faudra probablement associer aux méthodes neuromimétiques.

5. L'apprentissage profond est opaque. Lorsque le réseau a appris à mener une certaine tâche, des milliers de paramètres ont été fixés et, sauf dans les cas les plus simples, il est impossible de les interpréter et de comprendre pourquoi ils ont les valeurs retenues : ils vous donnent une réponse, contentez-vous en !

6. L'apprentissage profond ne permet pas, jusqu'à présent, d'intégrer des connaissances *a priori* ou formulées abstraitement, par exemple du type : « Si sur le dos de l'animal il y a une selle, il est assez probable que c'est un cheval. » Les humains ne comprennent pas tout à l'aide d'exemples, ils intègrent aussi des connaissances élaborées par d'autres auxquels ils font confiance, leurs enseignants par exemple.

7. L'apprentissage profond ne distingue pas une corrélation d'une cause. Il repère des liens, mais n'est pas en mesure de les analyser.

8. L'apprentissage profond suppose un monde stable, ce qui est ennuyeux dans un univers en mouvement ou en évolution rapide.

9. L'apprentissage profond ne garantit pas les résultats. La découverte de méthodes insoupçonnées qui engendrent des exemples pièges en a été une preuve spectaculaire.

10. L'apprentissage profond n'est pas facile à mettre en œuvre, car on ne sait pas à l'avance ce qui marchera, et à chaque nouvelle application, il faut ajuster les paramètres généraux (profondeur du réseau, nombre de neurones, technique d'apprentissage, etc.) sans savoir *a priori* ce qui fonctionnera le mieux.

Vive l'intelligence artificielle, et bravo pour ses succès récents grâce à l'apprentissage profond... Mais restons lucides sur ce qui est fait et reste à faire avant de parler de machines en tout point meilleures que les humains. ■

BIBLIOGRAPHIE

N. Akhtar et A. Mian, **Threat of adversarial attacks on deep learning in computer vision : A survey**, prépublication arXiv:1801.00553, 2018.

M. Alzantot et al., **Did you hear that ? Adversarial examples against automatic speech recognition**, prépublication arXiv:1801.00554, 2018.

Y. Bengio, **La révolution de l'apprentissage profond**, Pour la Science Hors-Série n° 98, pp. 43-48, février-mars 2018.

A. Géron, **Machine Learning avec Scikit-Learn et Deep learning avec TensorFlow**, Dunod, 2017.

G. K. Dziugaite et al., **A study of the effect of jpg compression on adversarial images**, prépublication arXiv:1608.00853, 2016.

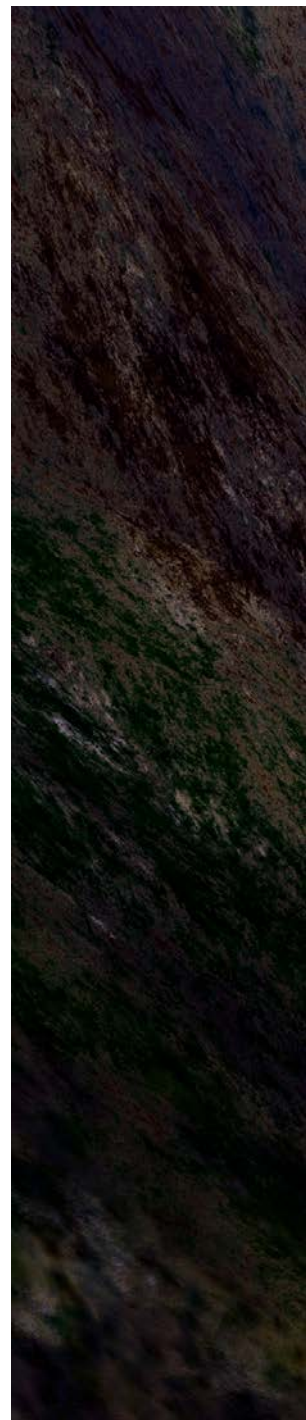
A. Ng, **What artificial intelligence can and can't do right now**, Harvard Business Review, vol. 9, 2016.

C. Szegedy et al., **Intriguing properties of neural networks**, International Conference on Learning Representations, 2014, prépublication arXiv:1312.6199, 2014.

L'AUTEUR

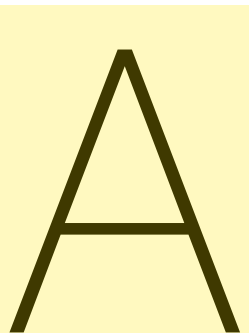


LOÏC MANGIN
rédacteur en chef adjoint
à *Pour la Science*



UN PAYSAGE PLUS VRAI QUE NATURE

Un artiste espagnol détourne un logiciel de création de paysages tridimensionnels pour composer des mondes virtuels réalistes à partir de toiles de peintres classiques. Invitation au voyage dans l'irréel.



André Derain, pionnier du fauvisme au début du **xx^e siècle** avec Henri Matisse, Maurice de Vlaminck, Georges Braque... est une figure incontournable de l'art moderne. *Bosquet*, l'une de ses toiles, peinte en 1912 et conservée au musée de l'Ermitage, à Saint-Petersbourg, en Russie, est visible au Grand Palais, à Paris, jusqu'à cet été (*voir page ci-contre*). Pas convaincu par ce que vous voyez? Rien d'étonnant: l'œuvre (*voir ci-dessus*) est passée entre les mains de l'artiste espagnol Joan Fontcuberta. Plus déconcertant

encore, elle est présentée dans le cadre d'une exposition intitulée *Artistes & Robots!* Le mystère s'éclaircira.

La manifestation propose une quarantaine d'œuvres pour lesquelles les artistes se sont adjoint l'aide de machines, de robots, de programmes informatiques, d'intelligence artificielle. Des machines à peindre bricolées par le Suisse Jean Tinguely dans les années 1960 jusqu'aux œuvres les plus récentes conçues grâce à l'«apprentissage profond», l'autonomie du créateur humain s'estompe à mesure que l'on progresse dans l'exposition, laissant une place toujours plus grande à la technologie. De même, l'interactivité avec le public va croissant. L'œuvre s'échappe et vit sa propre vie.

Chemin faisant, les questions surgissent, nombreuses. Une intelligence artificielle peut-elle avoir de l'imagination? Que peut faire un robot qui soit inaccessible à un humain? Une œuvre

Le Bosquet d'André Derain interprété en un paysage 3D par un logiciel informatique.

d'art est-elle nécessairement d'origine humaine? Jusqu'où une machine peut-elle revendiquer le statut d'artiste? Et bien d'autres encore.

Et l'on découvre le travail de Joan Fontcuberta. Dans son projet *Orogenesis* (qui concerne la naissance des montagnes), il utilise des logiciels, notamment Terragen, qui traduisent des informations bidimensionnelles en paysages tridimensionnels virtuels et réalistes. Ces programmes ont d'abord été mis au point pour des applications