

d'après les messages échangés, qui est, de l'un ou de l'autre de ces interlocuteurs, une machine. Le contenu des messages est libre : il est possible de parler de tous types de sujets. Alan Turing a prédit que, en l'an 2000, des ordinateurs avec 128 Mo de mémoire seraient capables de tromper environ 30 % des juges humains durant une mise à l'épreuve de cinq minutes. On en est loin.

Des biais ne sont pas exempts du test de Turing. Jean-Paul Delahaye, chercheur en informatique à Lille (et auteur des articles des pages 60 et 76), explique par exemple qu'une simple question de calcul est susceptible de démasquer l'interlocuteur-programme : l'humain sera laborieux, alors que la machine excellera. Mais, pourrait-on rétorquer, rien n'empêche de programmer la machine pour qu'elle fasse exprès de se tromper...

Toujours est-il que faire passer le test de Turing reste un graal pour tous les concepteurs d'agents conversationnels. Depuis 1990, il existe même une compétition annuelle, le prix Hugh Loebner, qui couronne les systèmes satisfaisant le mieux les critères du test de Turing, c'est-à-dire avec lesquels il est le plus difficile de déterminer s'il s'agit d'un humain ou d'une machine. Les meilleurs programmes n'effectuent qu'un simulacre de conversation qui, malgré de récents progrès (systèmes capables de répondre dans des domaines ouverts, adaptables à différents interlocuteurs, dotés de certains traits de personnalité et de détection des émotions...), font rarement illusion très longtemps.

SURVEILLER LA COÉVOLUTION DES HUMAINS ET DES MACHINES

Il reste donc à trouver des façons pertinentes d'évaluer les diverses capacités, tant cognitives qu'émotionnelles, des machines. Pour ce qui est du cognitif, de nombreux chercheurs imaginent des scénarios inspirés du test de Turing, mais composés de plusieurs épreuves dans des contextes différents. Dans des versions scolaires, les machines passent des examens, comme des écoliers. D'autres évaluations portent sur la capacité à démêler des ambiguïtés du langage naturel, sur la préhension d'objets, etc. Quant aux capacités émotionnelles, la conception de tests en la matière constitue un nouveau chantier de la recherche en intelligence artificielle.

Ainsi, avec des *chatbots* munis de facultés que l'on considérerait comme le propre des humains il n'y a pas si longtemps, des variantes

du test de Turing ou des batteries d'examens sont à développer – qui pourront être à la base d'une sorte d'autorisation de mise sur le marché et de contrôle technique pour robots tout au long de leur vie. C'est un axe important des recherches actuelles et de défis pour la normalisation. Enfin, il est nécessaire de surveiller la coévolution et la coadaptation des humains et des machines dans leurs interactions. Les *chatbots* pourront nous manipuler ou nous mentir pour notre bien-être, mais encore faudra-t-il s'assurer que c'est bien le cas. Il faut se préoccuper de l'évolution, à long terme, du comportement des humains vis-à-vis des agents conversationnels, afin d'éviter l'isolement social, un attachement démesuré à la machine ou des manipulations abusives. C'est aussi dans cette direction que doit évoluer le test de Turing. Il doit porter non seulement sur les capacités des machines, mais aussi sur leur propension à modifier nos croyances et notre comportement vis-à-vis d'elles.

Ajoutons, pour finir, qu'une bonne information sur les capacités de ces assistants conversationnels, sur la façon dont ils fonctionnent, sur les biais qu'ils peuvent présenter, permettrait aux utilisateurs de prendre plus de recul et de se comporter de façon adéquate pour relever ce grand défi : bien vivre avec les machines.

— L'autrice —

> Laurence Devillers

est professeuse en intelligence artificielle à Sorbonne Université et dirige une équipe de recherche au CNRS-LISN (Saclay), où elle est responsable de la chaire IA HUMAINE (<https://humaine-chaireia.fr>).

— À lire —

> D. Adiwardana *et al.*,

Towards a Human-like Open-Domain Chatbot, 2020. arxiv.org/abs/2001.09977

> L. Devillers, Des robots et des hommes : mythes, fantasmes et réalité, Plon, 2017.

> Vivre avec les robots, vidéo réalisée par le Limsi-CNRS : youtu.be/p1ID-gvUnWs

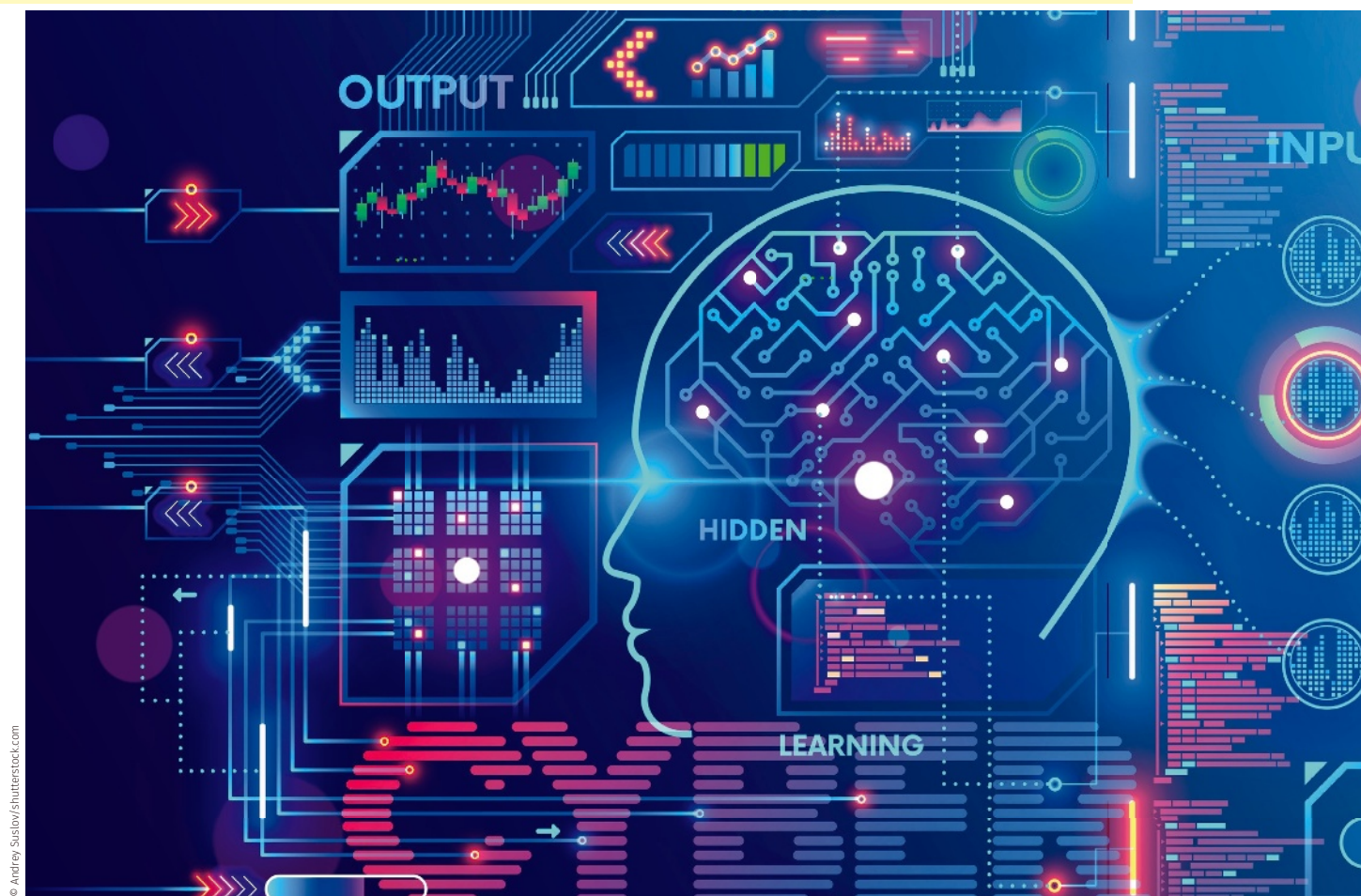
> Les robots en quête d'humanité, Dossier Pour la Science, n° 87, avril-juin 2015.

> A. M. Turing,

Computing machinery and intelligence, *Mind*, 1950.

S'inspirer du cerveau pour mieux l'imiter

102



© Andrey Suslov/shutterstock.com

En matière d'énergie, le cerveau est beaucoup plus efficace que les ordinateurs actuels pour mémoriser, calculer ou apprendre. Est-il possible de s'inspirer de cet organe pour réaliser des dispositifs plus performants et mieux adaptés à l'intelligence artificielle? Oui, en s'appuyant sur le spin des électrons...

Julie Grollier et Damien Querlioz

Les algorithmes d'intelligence artificielle ont fait des progrès considérables ces dernières années, et l'on peut les découvrir dans les articles de ce numéro. Cependant, pour parvenir à de telles performances, ces algorithmes consomment des quantités très élevées d'électricité, beaucoup plus que notre cerveau pour des tâches équivalentes. Par exemple, les modèles d'intelligence artificielle de traitement du langage humain, comme BERT (ou sa version française FlauBERT) nécessitent une énergie de 1 000 kilowattheures pour être entraînés. C'est autant que consomme le cerveau humain en six ans!

L'intelligence artificielle moderne, qui s'appuie sur des réseaux de neurones artificiels dits «profonds», s'inspire pourtant partiellement de la structure du cerveau (voir les Repères, page 6). Pourquoi donc un tel contraste dans les performances? Les programmes d'intelligence artificielle fonctionnent aujourd'hui sur des ordinateurs classiques, ou sur leurs cousins, les cartes graphiques, dont l'architecture et le principe de calcul sont bien différents de ceux du cerveau.

Pour résoudre ce défi énergétique, chercheurs et industriels travaillent à une électronique dont le fonctionnement serait vraiment calqué sur celui du cerveau. C'est le cas de la spintronique, fondée sur certaines propriétés quantiques des électrons. Des dispositifs reposant sur cette technique sont capables de simuler le comportement des neurones du cerveau et des synapses qui les relient. Le stade de l'industrialisation d'une solution complète fondée sur la spintronique est encore loin, mais les premiers résultats sont déjà très prometteurs.

Dans les ordinateurs actuels, l'obstacle majeur pour économiser de l'énergie et gagner en vitesse est lié au fait que les informations sont stockées dans une mémoire physiquement séparée des processeurs, où les données sont transformées en suivant les instructions du programme. Or les algorithmes d'intelligence artificielle comportent des millions, voire des milliards, de paramètres. Lorsqu'un tel programme opère, il doit sans cesse chercher des informations en mémoire puis les additionner ou les multiplier dans le processeur, avant de les replacer dans la zone de stockage. Ce flux permanent de données par une voie de communication unique consomme une quantité d'électricité considérable.

RAPPROCHER CALCUL ET MÉMOIRE

Dans le cerveau, le fonctionnement est très différent. La mémoire est partout: elle est distribuée et stockée dans les synapses, les connexions entre les neurones qui, eux, exécutent des opérations sur les données. Chaque neurone est connecté en moyenne à dix mille synapses, ce qui permet notamment des calculs en parallèle. Cette juxtaposition entre calcul et mémoire, doublée d'un traitement parallèle, est d'une redoutable efficacité énergétique.

La nature même du calcul est une autre source de gain considérable d'énergie. Nos ordinateurs manipulent des données très précises, chacune étant codée sous la forme de bits d'information. Les opérations sur ces données se

