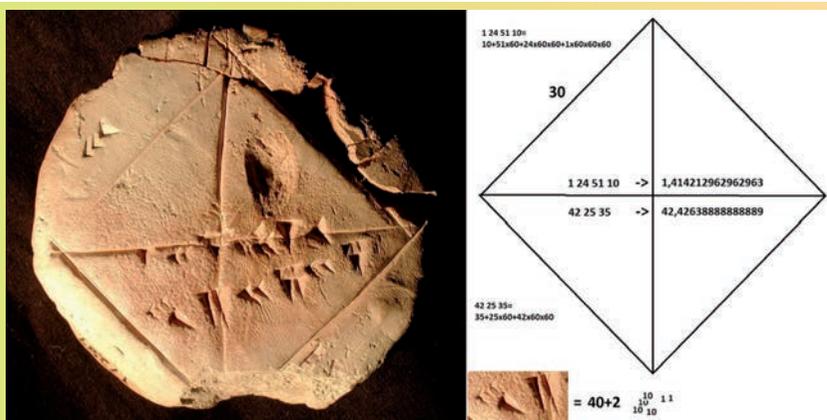


Algorithmes et intelligence artificielle : l'information derrière les données

Cédric Villani

*Directeur de l'Institut Henri Poincaré,
lauréat de la médaille Fields*

Les algorithmes mathématiques ont probablement plus de quatre mille ans d'âge, comme le suggèrent les tablettes qui nous sont parvenues de la Babylone antique. Ils ont grandi en sophistication et diversité en même temps que les théories mathématiques, mais c'est au milieu du XX^e siècle qu'ils ont pris une ampleur toute particulière. D'une part, pour la première fois sans doute dans l'histoire, le sort d'un événement géopolitique majeur (la Seconde Guerre mondiale) dépendait de la mise au point d'algorithmes sophistiqués, en l'occurrence par les services secrets britanniques. D'autre part, dès les années 1950, les bases de l'informatique moderne furent posées, avec la découverte des transistors et les travaux d'Alan Turing, Claude Shannon, John von Neumann, Norbert Wiener et d'autres.



L'un des plus anciens algorithmes connus,
le calcul de la racine carrée de 2, représenté sur une tablette d'argile
par un scribe il y a près de quatre mille ans.

© Yale Babylonian Collection, n° 7289, université de Yale (États-Unis)

Depuis, les progrès algorithmiques ont été fulgurants, aboutissant au monde que nous connaissons, où des secteurs entiers de l'activité humaine ont été révolutionnés par l'algorithmique. Peut-être est-ce en finance que cette révolution est la plus vertigineuse, comme on peut le voir dans les ouvrages 6|5 d'Alexandre Laumonier (Zones Sensibles, 2014), avec des fortunes s'évaporant en une fraction de seconde et des opérations menées à un rythme surhumain par des algorithmes mystérieux qui s'affrontent comme dans un jeu de rôles. Impossible de savoir si cela s'étendra à l'ensemble des secteurs d'activité, mais il est certain que les algorithmes joueront un rôle de plus en plus important dans notre économie, nos sociétés et nos vies.

Les statisticiens n'ont jamais été autant demandés...

Un chapitre important dans la longue montée en puissance de l'algorithmique est l'émergence de l'intelligence artificielle. D'un côté, ce n'est qu'une partie de l'algorithmique; mais elle vient avec tant de paramètres inconnus et de potentiel que certains n'hésitent pas à la nommer la « quatrième révolution industrielle ». Pourtant, c'est un domaine assez ancien, puisque l'intelligence artificielle (IA pour les intimes) naît dans les années 1950 avec les travaux d'Alan Turing et de Claude Shannon. De part et d'autre de l'Atlantique, les deux mathématiciens ont eu, de fait, des convergences d'intérêts assez remarquables.

Cependant l'intelligence artificielle a connu une alternance de périodes de progrès rapide et de stagnation désespérante. Les phases de progrès ont engendré de grands espoirs et de grandes peurs, comme dans *2001 : l'Odyssée de l'espace* de Stanley Kubrick (Warner Bros, 1968). Nous sommes actuellement dans une phase de progrès rapide, due à la convergence de plusieurs facteurs :

- l'augmentation des capacités et performances des ordinateurs a permis de franchir certains seuils importants, permettant une vraie différence qualitative dans l'efficacité des algorithmes;
- la généralisation des communications et bases de données a permis l'émergence de quantités énormes de données et d'exemples à l'échelle mondiale;
- les grandes données (Big Data) ont donné une nouvelle impulsion aux méthodes d'apprentissage automatique fonctionnant par exemples.

L'intelligence artificielle d'aujourd'hui accorde une place bien plus importante aux exemples, au détriment, pourrait-on dire, de la recherche de sens et de modèles.

Le domaine a récemment explosé dans la sphère des affaires, de l'innovation technologique ; les questions liées à l'intelligence artificielle et à l'apprentissage machine sont parmi les plus demandées pour la prospective et la stratégie. Il a aussi propulsé la statistique au sommet des compétences mathématiques les plus valorisées et les plus demandées, un renversement des rôles pour une discipline qui avait longtemps souffert d'être considérée avec une certaine condescendance.

De la difficulté de définir un système «intelligent»

Qu'est-ce qu'un système intelligent ? C'est d'abord un système qui recherche de «bonnes» solutions face à un problème ; le premier champ mathématique qui vient à l'esprit est donc celui de l'optimisation. De fait, les algorithmes d'IA empruntent énormément aux techniques d'optimisation. Une méthode générale consiste à partir d'une solution insatisfaisante et à la modifier de proche en proche pour l'améliorer. Un savant dosage d'outils déterministes et de méthodes aléatoires est nécessaire. Prenons une analogie simple : pour trouver le plus haut sommet dans un paysage, la première méthode qui vient en tête consiste à suivre la plus grande pente ; mais si l'on fait ainsi, on va vite se retrouver coincé au sommet d'une petite colline, plutôt que d'une haute montagne. Si l'on s'autorise parfois quelques déviations aléatoires, avant de remonter, on a plus de chances de parvenir au but.

Un système intelligent c'est aussi un système qui apprend, et qui s'adapte au contexte. Les environnements sont très variables, et on ne peut espérer avoir une méthode infaillible qui fonctionne dans tous les cas : il s'agit, avec des méthodes simples, de trouver une solution qui soit, probablement, presque optimale.

Claude Shannon
en train de manipuler
la souris «Thésée»
dans son labyrinthe.

© Bell Labs, 1952



C'est ainsi que l'apprentissage automatique (ou *machine learning*) s'est imposé comme une composante clé de l'intelligence artificielle : la capacité d'un algorithme de passer en revue l'information disponible et d'en tirer une amélioration de son propre fonctionnement. Thésée, la souris mécanique de Shannon, qui apprenait à sortir d'un labyrinthe, est l'un des plus anciens exemples d'apprentissage machine.

Réseaux de neurones, apprentissage profond et données énormes

L'intelligence, c'est aussi apprendre à classer les situations et les objets, ou encore plus généralement à reproduire une fonction d'intérêt. Un phénomène se produit encore et encore, et vous voulez lui donner un nom, ou un sens, ou trouver une règle sous-jacente simple. Pour accomplir cette classification, les algorithmes d'apprentissage machine utilisent de nombreuses règles et méthodes. Au fur et à mesure des années, les méthodes vedettes changent : aujourd'hui ce sont, sans conteste, les *réseaux de neurones* qui tiennent le devant de la scène. Leur principe général consiste à reproduire une fonction observée en optimisant des réseaux de « neurones », reliés les uns aux autres, chacun collectant des signaux, les combinant en leur attribuant plus ou moins de poids, et transmettant un signal résultant. Le réseau de neurones reçoit un signal en entrée, et en fournit un en sortie ; il s'optimise lui-même de façon à être au plus proche d'une fonction observée et connue par des exemples.

Il y a encore dix ans, les réseaux de neurones étaient considérés avec le plus grand scepticisme par les meilleurs experts du sujet, mais la ténacité de scientifiques bricoleurs, comme Yann Le Cun, les a ramenés sur le devant de la scène. Les techniques en jeu font intervenir un nombre assez important de « couches » de neurones, ce qui justifie le nom d'*apprentissage profond* (ou *deep learning*) pour le sujet.

Dans tout ce sujet, on se retrouve face à des nombres gigantesques : par la quantité énorme de bases de données que l'on utilise pour calibrer les algorithmes, mais aussi par l'extrême complexité des phénomènes représentés, qui se traduit par de très grandes dimensions. Par exemple, dans une analyse du sens des mots, on utilise couramment des espaces de dimension 300 ou davantage !

Pourtant, un pari majeur de l'IA consiste à postuler que, derrière cette grande complexité, il suffit en pratique d'un nombre restreint de paramètres pour « extraire du sens ». Par exemple, le populaire modèle OCEAN (pour « ouverture, conscienciosité, extraversion, agréabilité, neuroticisme ») en psychologie utilise seulement cinq paramètres pour



En 1996, le champion d'échecs Garry Kasparov perd contre une intelligence artificielle.

© History.com, 1996

En 2016, le champion de go Lee Sedol s'incline lui aussi devant une intelligence artificielle.

© Lee Jin-man & Associated Press, 2016

représenter les personnalités humaines dans toute leur diversité ! C'est ainsi que des phénomènes complexes se retrouvent bien plus prédictibles qu'on ne l'aurait cru. Un autre pari consiste dans la foi de l'algorithme à identifier les paramètres pertinents.

Promesses et peurs : l'IA appliquée dans tous les secteurs

L'IA est maintenant utilisée régulièrement pour nombre d'activités : reconnaissance automatique de formes et d'images, prédiction (d'élections, de mouvements de foule, d'évolution de pathologies), diagnostic, classification, compositions artistiques par imitation... Dans le domaine de l'éducation, du perfectionnement de la relation humaine, de la gestion des environnements complexes, elle fait miroiter des possibilités considérables.

Une application emblématique est la détermination de préférences (allocation séquentielle de ressources, ou « problème de Netflix ») : en fonction de ce qu'un client a déjà acheté, que peut-on lui recommander maintenant ? Ce type d'algorithme a été utilisé jusqu'à la lie pour des fins commerciales.

Une autre application phare est la voiture automatique, qui apprend à conduire par l'exemple.

Enfin, on ne peut passer sous silence la traduction automatique, qui a fait des progrès inouïs grâce à l'exemple et aux grands corpus de traductions, bien plus que par une approche sémantique et grammaticale.

Certaines avancées scientifiques, en particulier dans le domaine de la biologie, ont pu être réalisées ainsi : classification des espèces, reconstitution de phylogénies... En même temps, l'IA pose des questions fort

dérangeantes! Laissons de côté le mythe de la création d'une IA surhumaine, qui s'occuperait de nous détruire : on ne voit pas ce rêve, ou ce cauchemar, se réaliser avant longtemps. Mais d'autres menaces sont bien présentes. En premier lieu, le *doute sur la fiabilité*. Déjà, les algorithmes d'apprentissage machine s'optimisent eux-mêmes : on ne peut donc jamais savoir avec certitude ce qu'ils feront! Comment certifier légalement un dispositif ainsi obtenu, s'il est d'importance vitale? Par ailleurs, personne ne comprend vraiment ce qui fait qu'une méthode comme le réseau de neurones fonctionne si efficacement, pourquoi elle semble si robuste... Une autre menace est la *difficulté de communication avec l'humain*. On a du mal à faire confiance aux algorithmes si l'on ne comprend pas la raison de leurs choix (c'est le cas en santé, mais aussi dans les choix économiques). Faire en sorte que les algorithmes puissent présenter et exposer leurs choix est un enjeu vital.

Il faut aussi ne pas perdre de vue la *possibilité d'usage non pertinent*. L'ouvrage de Cathy O'Neil *Weapons of Math Destruction: How Big Data Increases Inequality And Threatens Democracy* (Crown, 2016) présente de nombreux exemples où les algorithmes d'IA sont utilisées de façon défectueuse, non rigoureuse, ou non éthique, avec des conséquences désastreuses, soit parce que l'algorithme est mal maîtrisé et qu'on lui fait trop confiance, soit parce qu'il est très efficace mais employé à des fins maléfiques.

Cela conduit en outre à différents questionnements épistémologiques : quand on résout un problème d'IA de façon inductive par une collection d'exemples, est-ce que l'on peut dire qu'on le comprend? Ne trahissons-nous pas ainsi l'idéal scientifique en nous contentant d'une «boîte noire», si efficace soit-elle?

Enfin, il ne faut pas sous-estimer le *risque économique* : l'efficacité des systèmes d'IA pour accomplir nombre de tâches des humains laisse penser à un possible danger de crise économique majeure par augmentation du chômage. Cette possibilité est prise très au sérieux par divers groupes de réflexion.

L'intelligence artificielle est un domaine chaud, au cœur de l'actualité scientifique et de notre société. Elle remet en question bien des certitudes, apporte promesses et dangers tout à la fois. Sans tomber dans les écueils que sont la confiance aveugle, la terreur ou le rejet, il faut voir qu'elle fournit des domaines d'étude passionnants et que la meilleure connaissance de ses ressorts et de ses implications sera un enjeu majeur de la société à venir. Pour cela, on aura besoin des mathématiciens.

C.V.