

Le dossier – Prix Nobel

Intelligence artificielle : Prix Nobel de physique

→ F. DIÉVART
DUNKERQUE.

Pour beaucoup, le prix Nobel de physique de 2024 a été doublement surprenant. D'une part, il a récompensé des travaux concernant l'intelligence artificielle (IA), domaine que l'on pourrait croire éloigné de la physique fondamentale, d'autre part, il a été décerné à des chercheurs dont les travaux majeurs dans le domaine ont été publiés dans les années 1980 et qui ne faisaient pas partie des favoris : John Hopfield (91 ans, Américain) et Geoffrey Hinton (76 ans, Britanno-canadien). Leurs travaux ont conduit à une évolution majeure de l'apprentissage des machines numériques et au développement des réseaux de neurones artificiels.

Alors pourquoi un prix Nobel de physique décerné à l'IA ? Parce que les deux lauréats sont des physiciens et que leurs travaux entrent dans le domaine de la physique statistique, science qui étudie les grands ensembles de particules, comme les gaz ou les liquides. Leurs travaux sont à l'origine du concept de machine de Boltzmann. Cette dernière est un type de réseau neuronal constitué de neurones artificiels, interconnectés et capables de prendre des décisions stochastiques, c'est-à-dire tenant compte de valeurs antérieures.

Plusieurs parties du texte qui suit sont issues ou adaptées de textes publiés le 8 octobre 2024, l'un dans le journal suisse Le Temps, par Denis Delbecq et l'autre dans TheConversation.fr, par Thierry Viéville, directeur de recherche Inria chargé de la médiation scientifique.

Les réseaux de neurones : la solution aux limites des systèmes experts

L'intelligence artificielle a été définie dès les années 1940. Elle reposait initialement sur des systèmes experts utilisant des algorithmes créés par l'homme. De ce fait, son développement était limité, car elle ne pouvait répondre à des questions qu'en effectuant un raisonnement à partir de faits et de règles connus, un peu comme si un enfant devait apprendre les règles de la grammaire avant de pouvoir commencer à parler.

L'IA a connu un essor prodigieux en changeant de paradigme : reproduire la façon dont le cerveau raisonne par la création de neurones artificiels et, plus récemment, en profitant de deux progrès majeurs, le développement de bases de données numériques gigantesques et de puces informatiques de forte puissance (les GPU).

Le réseau de neurones artificiels ou informatiques est dénommé ainsi, car il reproduit le principe des neurones cérébraux. Le cerveau est formé de neurones connectés par des synapses laissant passer, à des degrés divers, des signaux chimiques ou électriques, ce qui permet, par exemple, par essai et erreurs, et mimétisme, corrigés par l'assentiment de l'entourage, à un enfant d'apprendre à parler intuitivement, sans connaître les règles de la grammaire.

Comment reproduire ce mécanisme dans un logiciel ? En reproduisant le principe de fonctionnement du cerveau et de ses neurones. Ainsi, un neurone, qu'il soit artificiel ou biologique, est une petite unité

de calcul, qui prend des valeurs en entrée, les combine par un calcul de moyenne pondérée avec des coefficients permettant d'ajuster le fonctionnement de cette unité, et applique une transformation sur le résultat, par exemple en ne gardant que les valeurs positives, ou en regardant si le résultat est au-dessus ou au-dessous d'un seuil. En associant un très grand nombre de telles unités, sur plusieurs couches, parfois avec des boucles, on a pu démontrer que l'on pouvait approximer tous les calculs possibles, même les plus complexes.

Avant que ce modèle ne soit développé, l'histoire a connu plusieurs étapes, dont la première semble avoir débuté en 1943, lorsque Warren McCulloch et Walter Pitts établirent un parallèle entre les neurones cérébraux et ce que l'on appelait alors des automates, puisqu'il n'existait pas d'ordinateurs. En 1957, Frank Rosenblatt créa l'algorithme du perceptron, un réseau de neurones dits "formels", qui comportait deux couches, dont une de synapses permettant à l'ordinateur d'apprendre grâce à de nouvelles données.

Cette histoire s'arrêta cependant transitoirement à partir de 1969, lorsqu'un livre écrit par Seymour Papert et Marvin Minsky démontra que le perceptron n'était pas en mesure d'apprendre des fonctions complexes. Les recherches sur les neurones formels s'arrêtèrent.

Les réseaux de neurones : l'avancée consacrée par le prix Nobel

L'étape suivante ne surviendra qu'une douzaine d'années plus tard grâce à John Hopfield et Geoffrey Hinton.

Selon sa fiche Wikipédia, John Hopfield a passé deux ans dans le groupe théorique des Laboratoires Bell, puis un an à l'École nationale supérieure de Paris. Il est ensuite devenu membre du corps enseignant de l'Université de Californie, à Berkeley (physique), puis de l'Université de Princeton (physique), de la California Institute of Technology, le Caltech (chimie et biologie) et de nouveau à Princeton, où il est professeur émérite de biologie moléculaire.

En 1982, alors qu'il était au Caltech, John Hopfield conçut un réseau informatique (le modèle de Hopfield) capable de stocker des motifs et de les reconstruire à partir d'une image incomplète ou déformée, sur la base des informations les plus ressemblantes et mémorisées dans le réseau.

Pour cela, il s'inspira des propriétés statistiques de la matière, en représentant chaque neurone par une particule physique dotée d'une propriété, le spin. L'énergie d'un ensemble de particules est alors décrite par la physique statistique ; cette énergie est le fruit de l'interaction entre les spins.

Lors de la phase d'entraînement, le réseau établit des connexions entre ces neurones artificiels, ces particules, de manière à obtenir le plus bas niveau d'énergie possible.

Pour l'inférence – la recherche d'information –, le réseau de neurones va évoluer spontanément jusqu'à trouver le niveau le plus bas possible, qui correspond à la meilleure proximité entre ce que l'on recherche et ce que le modèle a mémorisé.

Selon sa fiche Wikipédia, Geoffrey Hinton, le deuxième lauréat de ce prix Nobel, est un chercheur né à Wimbledon (Royaume-Uni). Il a fait ses études au Clifton College, à Bristol, et au King's College, à Cambridge.

Après avoir changé de cursus plusieurs fois entre différentes disciplines, telles

que les sciences naturelles, l'histoire de l'art et la philosophie, il a obtenu en 1970 un Bachelor of Arts en psychologie expérimentale. Il a réalisé un doctorat en intelligence artificielle à l'Université d'Édimbourg, achevé en 1978. Après son doctorat, il a travaillé à l'Université du Sussex, puis, après avoir eu des difficultés à trouver un financement en Grande-Bretagne, à l'Université de Californie à San Diego, puis à l'Université Carnegie-Mellon. Il a été professeur au département d'informatique de l'Université de Toronto et détient une chaire de recherche du Canada en apprentissage automatique et est conseiller pour le programme Learning in Machines & Brains à l'Institut canadien de recherches avancées. Il a rejoint Google en mars 2013, lorsque sa société, DNNresearch Inc., a été acquise, et prévoyait de partager son temps entre sa recherche universitaire et son travail chez Google. De 2013 à 2023, il a partagé son temps entre Google (Google Brain) et l'Université de Toronto, avant d'annoncer, en mai 2023, son départ de Google en alertant sur les risques émergents liés à l'intelligence artificielle.

En découvrant les travaux de son collègue américain au début des années 1980, Geoffrey Hinton décida d'approfondir le réseau de Hopfield, en l'associant à une équation établie en 1877 par le père de la physique statistique, Ludwig Boltzmann. Cette équation décrit l'évolution des systèmes thermodynamiques hors équilibre. Fort de cette équation, toujours en faisant le parallèle entre ces particules et les neurones artificiels représentés dans un ordinateur, Geoffrey Hinton décrivit une "machine de Boltzmann". Elle repose sur un double ensemble de neurones artificiels. Une version en deux dimensions, en quelque sorte, du réseau décrit par Hopfield trois ans plus tôt. Un modèle capable d'apprendre à partir d'exemples et donc un embryon d'IA générative.

Ainsi, par les travaux de ces deux chercheurs, les bases des réseaux de neu-

rones numériques étaient posées et ont permis des avancées majeures en intelligence artificielle.

Si, en 1982, Hopfield avait dû se contenter d'un réseau de 30 neurones – soit 435 connexions s'ils sont tous reliés entre eux, à partir des années 2010, tout s'est accéléré et, actuellement, les modèles d'apprentissage s'appuient sur des milliers de milliards de connexions entre neurones artificiels.

Les réseaux de neurones : limites

En passant du système expert aux réseaux de neurones, l'IA a permis de ne plus programmer en changeant l'algorithme, mais en ajustant l'architecture d'un algorithme universel et ses paramètres avec des données. Et les progrès permis ont été phénoménaux.

Les nouveaux algorithmes générés par apprentissage par la machine sont ainsi "déraisonnablement" efficaces pour traiter un problème précis et pour surpasser la capacité du cerveau humain à prendre en compte des masses de données gigantesques. Ces outils vont au-delà de la partie mécanique de nos capacités cognitives.

Leur utilisation et leurs résultats doivent cependant être envisagés avec discernement. Notamment parce que l'on ne comprend pas bien comment fonctionnent ces IA, par exemple comment elles apprennent à distinguer un chien d'un chat et de combien de données elles ont besoin pour arriver à un résultat adapté. Ces IA ne sont finalement que d'aveugles calculs statistiques sans aucun sens des choses.

L'autre limite soulignée par Thierry Viéville dans TheConversation.fr est que les machines qui exécutent ces programmes sont gigantesques, créant à la fois un enjeu environnemental majeur et des fractures socio-économiques entre

■ Le dossier – Prix Nobel

qui peut assumer de tels coûts (en milliards d'euros) et qui n'en dispose pas.

■ Les réseaux de neurones et la médecine

L'avancée des travaux d'ingénierie en informatique a abouti à une telle efficacité qu'il est entre autres possible de transformer la parole en texte, de catégoriser des images, de créer des images

fixes ou animées et de donner des résultats statistiques sur toutes sortes de données humaines, notamment médicales.

En médecine, l'analyse de la littérature concernant l'IA est devenue impossible : plus de 40 000 articles ont été référencés pour la seule année 2024 (et ce, jusqu'à octobre 2024) en tapant Artificial Intelligence dans Pubmed ! Il existe dorénavant plusieurs journaux médicaux qui lui sont quasi exclusivement consacrés.

C'est dire que l'IA fait d'ores et déjà partie du présent de la médecine et qu'elle sera un outil majeur de la pratique médicale de demain.

L'auteur a déclaré les liens d'intérêts suivants : honoraires pour conférences ou conseils ou défraiements pour congrès pour et par les laboratoires Alliance BMS-Pfizer, Amgen, Astra-Zeneca, Bayer, BMS, Boehringer-Ingelheim, Menarini, Novartis, Novo-Nordisk, Pfizer, Sanofi France, Servier.