

# PRIX NOBEL DE PHYSIQUE

## 2024

---



**Lauréats du prix Nobel de physique 2024**

L'Américain John Joseph Hopfield (à gauche) et le Britanno-Canadien Geoffrey Everest Hinton (à droite) ont reçu le prix Nobel de physique en 2024 pour leurs contributions sur les réseaux de neurones artificiels exploitant les concepts issus de la physique statistique. Leurs travaux ont permis le développement de nouvelles méthodes d'apprentissage machine et l'essor de l'intelligence artificielle, avec de nombreuses applications comme la reconnaissance d'images.

*Denise Applewhite/ Princeton University/ AFP ; Masahiro Sugimoto / The Yomiuri Shimbun/ AFP*

Le prix Nobel de physique 2024 a été décerné à l'Américain John Joseph Hopfield et au Britanno-Canadien Geoffrey Everest Hinton pour « leurs découvertes et interventions fondamentales qui permettent l'apprentissage automatique avec des réseaux de neurones artificiels », selon les mots de l'académie suédoise. En fondant leurs travaux sur des concepts issus de la physique statistique, les deux chercheurs, fortement inspirés par le fonctionnement du cerveau, sont à l'origine des réseaux de neurones artificiels qui ont permis les progrès en intelligence artificielle (IA) depuis les années 1980. John J. Hopfield et Geoffrey E. Hinton ont aussi en commun d'avoir alerté sur les dangers potentiels de l'IA et la nécessité de mieux les comprendre.

## John Joseph Hopfield : réseaux de neurones et modélisation de la mémoire

Né le 15 juillet 1933 à Chicago, de père et mère scientifiques, John Joseph Hopfield obtient en 1958 son doctorat en physique de la matière condensée à l'université Cornell (État de New York). Ses travaux sur les interactions entre les vibrations des solides cristallins et la lumière le conduisent à introduire une nouvelle quasi-particule, appelée polariton. Alors qu'il poursuit ses recherches aux Laboratoires Bell sur les propriétés optiques des semi-conducteurs, ce physicien commence à s'intéresser à la biologie en travaillant avec le biophysicien américain Robert G. Shulman sur la modélisation de l'hémoglobine. Il passe une année (1960) à l'École normale supérieure de Paris puis, de retour aux États-Unis, il entreprend une carrière académique qui le mène successivement à l'université de Californie à Berkeley, à l'université de Princeton (dans le New Jersey), à Caltech (California Institute of Technology) avant de revenir à Princeton – où il sera nommé professeur émérite de biologie moléculaire en 1997.

John J. Hopfield a été pionnier dans l'étude des liens entre physique et calcul, comme l'indique le titre du cours qu'il a donné à Caltech, avec le physicien Richard Feynman et l'informaticien Carver Mead, tous deux américains : « The physics of computation ».

Il étudie tout d'abord le calcul moléculaire et propose, en 1974, la description du mécanisme de correction cinétique dans les réactions biochimiques, qui explique le

nombre très limité d'erreurs produites au cours de ces réactions ; une illustration est le processus de copie des gènes lors de la division cellulaire, qui est particulièrement fiable. Ce même mécanisme est présenté de manière indépendante l'année suivante par le biologiste français Jacques Ninio.

John J. Hopfield travaille ensuite sur le calcul neuronal. En 1982, il publie un article intitulé « Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities », dans lequel il décrit un réseau de neurones artificiels fonctionnant comme un attracteur dynamique capable de recouvrer des mémoires complètes à partir d'informations partielles. Appelé réseau de Hopfield, celui-ci repose à la fois sur les connaissances de ce scientifique en neurosciences – qui lui permettent de définir comment les neurones artificiels interagissent – ainsi qu'en physique statistique des systèmes désordonnés – objet du prix Nobel de physique 2021, décerné à l'Italien Giorgio Parisi – acquises en particulier grâce à ses échanges avec Philip W. Anderson – colauréat du prix Nobel de physique en 1977 « pour ses recherches théoriques fondamentales sur la structure électronique des systèmes magnétiques et désordonnés ».

En 1985, John J. Hopfield et le neurobiologiste américain David W. Tank ont démontré qu'un réseau récurrent entièrement connecté pouvait être utilisé pour rechercher des solutions à des problèmes d'optimisation combinatoire comme celui « du voyageur de commerce », qui consiste à déterminer le parcours le plus court reliant un ensemble de villes. Ce résultat a ouvert la voie à de

nombreux travaux à l'interface entre physique statistique et optimisation. John J. Hopfield a par la suite continué à travailler sur de nombreux problèmes associés aux réseaux neuronaux, en particulier la représentation des odeurs.

John J. Hopfield a été souvent récompensé, à commencer par le prix Oliver-E.-Buckley de physique de la matière condensée, en 1969, avec David G. Thomas « pour leur travail conjoint combinant théorie et expérience qui a fait progresser la compréhension de l'interaction de la lumière avec les solides ». En 2001, il obtient la médaille Dirac du Centre international de physique théorique (Trieste) « pour ses contributions importantes dans un spectre impressionnant de sujets scientifiques » et, en 2022, la médaille Boltzmann, qui couronne des travaux majeurs dans le domaine de la physique statistique.

### [Geoffrey Everest Hinton: réseaux de neurones pour l'apprentissage machine](#)

Issu d'une famille de tradition scientifique (son père était un entomologiste renommé), Geoffrey Everest Hinton est né le 6 décembre 1947 à Wimbledon (Royaume-Uni). Il poursuit une formation très interdisciplinaire en physiologie, philosophie et physique, puis en psychologie expérimentale à l'université de Cambridge. Il étudie ensuite à l'université d'Édimbourg, où il obtient son doctorat en intelligence artificielle en 1978. Pendant son postdoctorat aux États-Unis, à San Diego, il commence à développer ses recherches sur les réseaux neuronaux artificiels et leurs

applications en intelligence artificielle. De 1982 à 1987, Geoffrey E. Hinton est professeur au département d'informatique de l'université Carnegie-Mellon à Pittsburgh (Pennsylvanie), où il travaille avec le psychologue américain David Rumelhart et l'informaticien américain Ronald J. Williams sur l'algorithme de « rétropropagation ». Comme son nom l'indique, cet algorithme transmet l'erreur faite par un réseau de neurones à sa sortie (par rapport à la valeur attendue) jusqu'à l'entrée du réseau, dans le but d'ajuster tous les paramètres internes pour la minimiser. Cette approche, déjà introduite par le mathématicien et informaticien finlandais Seppo Linnainmaa en 1970, permet aux réseaux de neurones profonds d'apprendre à représenter de manière utile les données, en particulier pour le traitement et la reconnaissance des images.

En 1985, Geoffrey E. Hinton introduit avec David H. Ackley et Terrence J. Sejnowski la notion de machine de Boltzmann. Les machines de Boltzmann sont des réseaux de neurones artificiels récurrents stochastiques, capables d'apprendre eux-mêmes les caractéristiques statistiques propres à un ensemble de données (apprentissage machine dit non supervisé). C'est un des tout premiers exemples de modèle génératif : une fois l'apprentissage du réseau effectué, celui-ci peut produire des données à la fois originales et cohérentes avec ces caractéristiques statistiques.

Geoffrey E. Hinton quitte les États-Unis en 1987 et poursuit ses recherches à l'université

de Toronto (Canada), puis à l'University College de Londres (Angleterre), avant de revenir au Canada en 2001. Il contribue à faire progresser l'apprentissage automatique fondé sur les réseaux de neurones profonds et démontre la robustesse et la versatilité de ces approches dans l'apprentissage supervisé « parce qu'ils peuvent facilement tirer parti de l'augmentation de la quantité de calculs et de données disponibles » comme il le soulignera dans le célèbre article intitulé « Deep learning » publié avec Yann LeCun et Yoshua Bengio en 2015 dans la revue *Nature*.

En 2002, Geoffrey E. Hinton introduit la méthode dite de la « divergence contrastive », qui permet d'entraîner de manière efficace les machines de Boltzmann restreintes, réseaux de neurones artificiels bipartites à deux couches. Il lui est alors possible, quelques années plus tard, de pré-entraîner des réseaux neuronaux profonds, couche par couche. La première application majeure de cette approche de pré-entraînement a été la reconnaissance vocale. En 2008, il invente, avec Laurens van der Maaten, l'algorithme t-SNE (*t-distributed stochastic neighbor embedding*) permettant de visualiser de manière fidèle et optimale, dans un plan, des données complexes définies par de nombreuses variables (données dites de très haute dimension). Il s'agit d'une technique de réduction de dimension utilisée pour l'exploration de ces données de très haute dimension. En 2010, il montre que l'utilisation d'unités linéaires rectifiées améliore les machines de Boltzmann restreintes. En 2012, avec deux de ses étudiants, Alex Krizhevsky et Ilya Sutskever,

il met au point AlexNet, un algorithme fondé sur un réseau neuronal à huit couches, très performant pour la reconnaissance d'images. En 2013, il rejoint Google Brain (l'équipe de recherche en apprentissage profond de Google) comme vice-président. Il démissionne en 2023 pour pouvoir s'exprimer librement sur les risques de l'utilisation commerciale de l'intelligence artificielle (IA).

Geoffrey E. Hinton a reçu de nombreuses récompenses pour son rôle majeur dans le développement de l'IA. Citons la médaille d'or Gerhard-Herzberg en sciences et en génie du Canada en 2010, ou encore le prix Turing – souvent considéré comme le « prix Nobel de l'informatique » – conjointement avec Yann LeCun et Yoshua Bengio, en 2018.

Simona

COCCO

Rémi

MONASSON