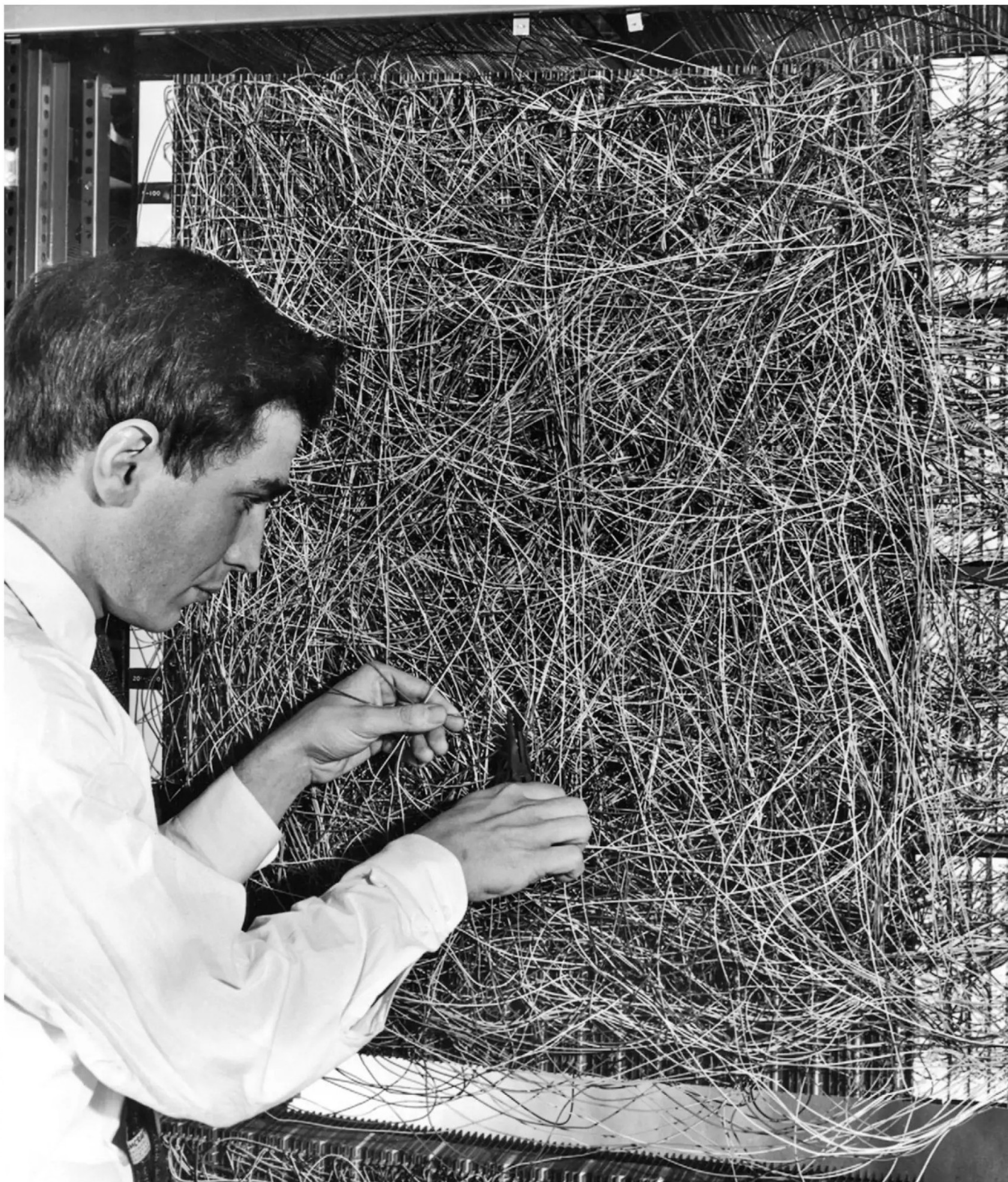




FREDERIC LEWIS/ARCHIVE PHOTOS/GETTY IMAGES

**Fils conducteurs** Pour ajuster le Perceptron, réseau neuronal artificiel créé en 1957 par Frank Rosenblatt de l'université Cornwell (État de New York), il faut avoir tous ses neurones bien connectés !

# Un savant maillage de cerveaux imbriqués

**L'immense défi de répliquer l'esprit humain a été rendu possible par les travaux conjoints d'éminents scientifiques. Lesquels ont longtemps été freinés par l'impuissance des machines. PAR BERTRAND EYNARD**

**L'**idée d'intelligence artificielle émerge dès les débuts de l'informatique. D'abord théorique, elle a dû attendre la puissance des ordinateurs du **xxi<sup>e</sup>** siècle pour prendre corps. L'expression «intelligence artificielle» est employée pour la première fois par John McCarthy, créateur du langage de programmation inférentiel Lisp en 1958. L'année suivante, Arthur Samuel, inventeur du premier programme de jeu de dames, déclare: «*Le machine learning* [apprentissage automatique] est une sous-discipline de l'informatique qui permet aux ordinateurs d'apprendre sans être explicitement programmés.»

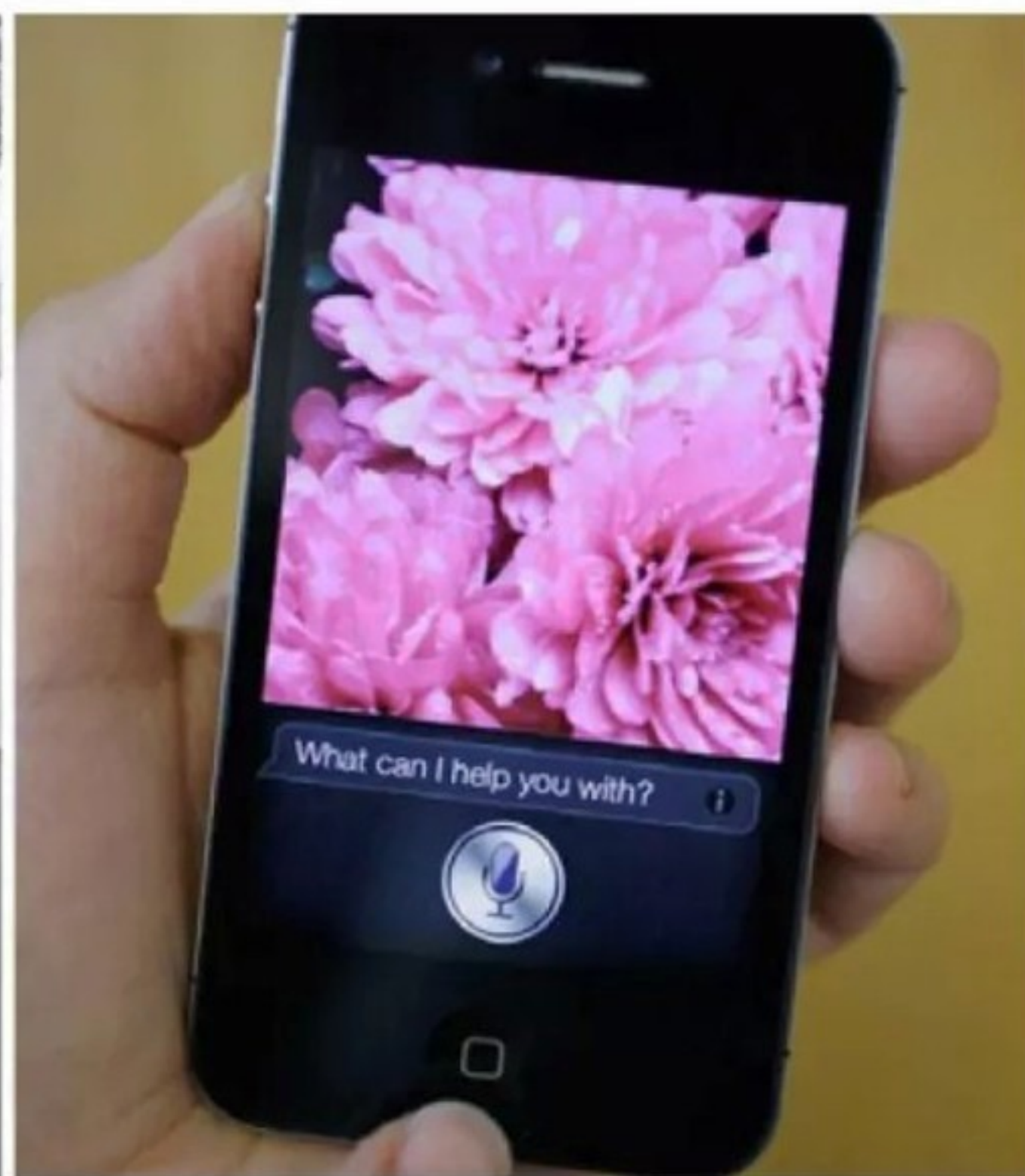
Dès 1940, l'écrivain Isaac Asimov, popularisant le mot «robot», décrit des machines munies d'un cerveau artificiel. Il met en scène une Terre surpeuplée où les humains révoltés ont banni les robots, des planètes où ceux-ci travaillent, laissant les humains se consacrer à des activités créatives ou de loisir, des empires gérés par les robots pour le bien de l'humanité, des psychologues pour résoudre leurs troubles d'apprentissage... Anticipant les questions que nous nous posons aujourd'hui – les robots vont-ils prendre les emplois des humains? Domineront-ils le monde? –, il énonce les «trois lois de la robotique»: un robot ne peut porter atteinte à un humain; il doit obéir aux humains; il doit protéger son existence. Asimov ajou-

tera: protéger l'humanité. Nombreux informaticiens, penseurs, politiques songent à créer de telles lois, comme les 23 principes d'Asilomar, édictés en janvier 2017 et qui proposent des règles de sécurité et de transparence.

## **Le premier neurone artificiel**

Longtemps, l'informatique s'est développée par des langages «impératifs»: si ceci, alors cela, sinon cela... Soit une série d'instructions conditionnelles à appliquer dans un ordre donné, avec un résultat 100 % prévisible. Le premier pas vers l'IA est celui des langages «inférentiels». Muni d'un ensemble

de règles, l'ordinateur doit inférer des solutions (parfois aucune). En 1959, l'informaticienne militaire Grace Hopper crée le langage inférentiel cobol [pour *Common Business Oriented Language*, NDLR], afin de rationaliser les applications de gestion du Pentagone. Seize ans auparavant, en pleine Seconde Guerre mondiale, Warren McCulloch et Walter Pitts créent un «neurone artificiel» imitant les cellules humaines, qui reçoivent par leurs synapses des potentiels électriques positifs ou négatifs et produisent un potentiel de sortie dans leur axone, entraînant une réponse. Le neurone artificiel reçoit des signaux d'entrée, les combine par des pondérations et produit une sortie. En 1957, Frank Rosenblatt, de l'université Cornwell, met au point le Perceptron, un réseau combinant plusieurs neurones. L'apprentissage par des exemples permet d'ajuster les pondérations, augmentant l'efficacité. C'est un changement majeur de paradigme car, contrairement à la logique des algorithmes impératifs, ...



**Centre d'appel** Les assistants vocaux (à dr., Siri sur iPhone, en 2011) ont rendu obsolètes les tâches des opératrices téléphonique (à g., en 1951).

## Les dates clés de l'IA

### 1940

Asimov commence le cycle des *Robots*, où il énonce les « trois lois de la robotique ».

### 1943

Warren McCulloch et Walter Pitts inventent le « neurone artificiel ».

### 1946

Premier ordinateur : créé par John Presper Eckert et John William Mauchly, l'Eniac, qui pèse 27 tonnes, est capable

de 5 000 opérations par seconde – comparé aux milliards par seconde d'un smartphone actuel.

### 1950

Invention du test de Turing : critère pour savoir si une machine a atteint un niveau d'« intelligence humaine ».

### 1957

Frank Rosenblatt crée le Perceptron, un ensemble de neurones artificiels.

### 1958

John McCarthy, créateur du langage LISP, invente l'expression « intelligence artificielle ».

### 1959

Grace Hopper met au point le langage inférentiel cobol ; Arthur Samuel invente le *machine learning* avec un programme capable de jouer aux dames.



### 1973 ▲

Premier ordinateur personnel, doté de quelques kilo-octets de mémoire et capable d'environ 100 000 opérations par seconde. En 1983, Apple introduit Lisa (photo) puis le Mac, premier ordinateur ayant plus de 1 mégaoctet de mémoire – très insuffisant pour l'IA.

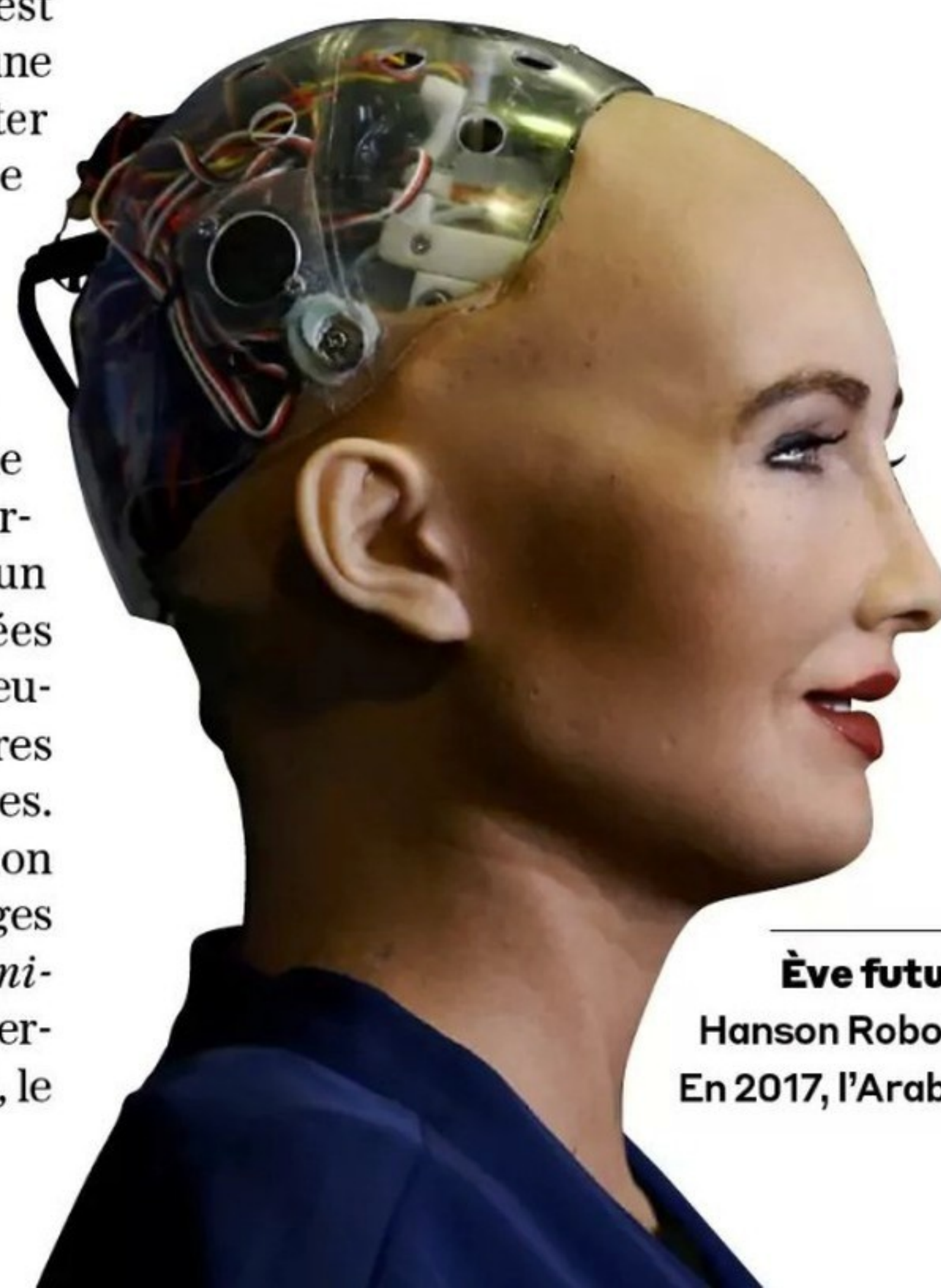
JEAN-PIERRE AMET/DIVERGENCE

... les réseaux de neurones sont semblables à l'intelligence humaine : ils doivent apprendre, peuvent se tromper, ne pas toujours répondre la même chose, mais ils peuvent alors improviser, généraliser et innover au-delà de leur apprentissage. Hélas, dans les années 1970, la puissance des ordinateurs est insuffisante pour réellement utiliser ces technologies.

Mais en 1997, coup de tonnerre ! Le programme IBM Deep Blue bat le champion du monde d'échecs Garry Kasparov (lire p. 40). La victoire du *deep learning* (« apprentissage profond ») annonce l'envolée de l'IA. Le *deep learning* est un réseau à plusieurs couches, chacune faisant un prétraitement pour faciliter le travail de la couche suivante. Une pratique qui s'inspire encore du cerveau humain, comme nos neurones visuels identifient d'abord les contrastes, les lignes, etc., avant d'interpréter les images. Jusqu'en 2010, le *deep learning* convainc peu. Le chercheur français Yann LeCun en est un des rares promoteurs. Dans les années 1990, il développe LeNet, un réseau neuronal pour reconnaître les caractères manuscrits sur les chèques bancaires. De 2010 à 2017 a lieu une compétition annuelle de reconnaissance d'images *ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge*, qui plafonne à 30 % d'erreur. Basé sur les modèles de LeCun, le

réseau AlexNet, d'Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever et Geoffrey Hinton, franchit en 2012 les 15 % d'erreur, consacrant la supériorité du *deep learning*. Facebook propose alors à LeCun la direction de son département IA.

L'IA vole de succès en succès : en 2016, AlphaGo de DeepMind bat le champion du monde de go, et l'on comprend que plus jamais un humain ne battra une IA. Les IA d'échecs actuelles ont des scores Elo (classement international) de 3500, alors que le grand maître Magnus Carlsen culmine à 2800, et il paraît inenvisageable qu'un



humain dépasse jamais 3000. En 1950, Alan Turing (lire p. 48) avait proposé un test : soumettre les mêmes questions à un humain et à une machine et essayer de savoir qui est qui d'après les réponses. Avant 2017, personne n'imaginait que ce test pourrait être franchi dans un futur proche. Le *Stanford Question Answering Dataset* (SQuAD) propose un concours annuel de questions sur un texte, auquel en 2017 des IA atteignent des performances similaires à des humains. En 2018, l'IA d'Alibaba surpasse les humains. On peut considérer que c'est le franchissement du test de Turing.

### L'impression déroutante de parler à un humain

Il y eut plusieurs IA conversationnelles depuis les années 2000 : Alice en 1995, Siri (Apple), Google Now, Cortana (Microsoft), Alexa (Amazon)... Leur compréhension était limitée, faisait parfois rire, voire prenait des apparences inquiétantes. Tay, lancée sur Twitter en 2016, apprenait en interagissant avec les utilisateurs, mais en moins de vingt-quatre heures, des utilisateurs malintentionnés ou simple-

**Ève future** L'androïde Sophia, lancé en 2016 par Hanson Robotics, parle et interagit avec les humains. En 2017, l'Arabie saoudite lui octroie le statut de citoyen.

## Années 1990

Création du *World Wide Web* (www) par Tim Berners-Lee (ci-contre) au Cern.

## 1997

Deep Blue (IBM) bat le champion du monde d'échecs.

## 2012

Les réseaux *deep learning* dominent le concours ImageNet de reconnaissance d'images et font entrer le monde dans l'ère de l'IA.

## 2016

DeepMind AlphaGo bat le champion du monde de go.



## 2018

Au concours *Stanford Question Answering Dataset* (SQuAD), l'IA d'Alibaba surpasse les humains à des questions-réponses

sur un texte. On peut considérer cet événement comme le premier franchissement du test de Turing : les ordinateurs comprennent le langage

humain et peuvent répondre à des questions mieux que des humains.

## 2022

OpenAI lance ChatGPT-3 – succès planétaire. L'IA s'introduit dans les foyers, les entreprises, les écoles et devient un enjeu social, économique et stratégique majeur.

## 2024

Les IA de Google atteignent le niveau médaille d'argent aux Olympiades internationales de mathématiques. B. E.

ment pour plaisanter l'ont inondée de messages provocateurs et offensants, et Tay a commencé à répéter des propos racistes, sexistes et vulgaires, si bien qu'elle a dû être fermée aussitôt. L'élève n'apprend que ce que le maître lui enseigne, peut-on apprendre d'un maître incompetent?

OpenAI, fondée en 2015 avec l'objectif de rendre les outils d'IA accessibles en open source, développe un modèle de langage appelé ChatGPT, dont la 3<sup>e</sup> version, fin 2022, crée l'événement par son incroyable performance: «ChatGPT a été une vraie claque pour

et on estime que 30% des étudiants et plus de 15% des élèves de niveau scolaire y recourent pour faire leurs devoirs, rédiger leurs dissertations, voire tricher. En 2023, ChatGPT-4 a réussi le concours de droit de l'université de Harvard, avec un score rivalisant avec les 10% des meilleurs étudiants. Depuis sont nés des concurrents de ChatGPT chez les Gafam, mais aussi parmi de nombreuses start-up, comme Mistral en France.

Les premières IA capables d'écrire des programmes informatiques apparaissent très vite après ChatGPT. Tous les informaticiens ou presque font

elles-mêmes des IA, augmentant leur puissance. Une course en avant est lancée. Les IA comme ChatGPT-3 ne sont que des «agrégateurs» rassemblant les informations de façon statistique, mais elles n'ont pas de «logique de raisonnement». Cette étape aussi est en train d'être franchie. En 2024, l'IA AlphaGeometry de Google DeepMind réussit à résoudre 25 des 30 problèmes de géométrie données aux Olympiades internationales de mathématiques, le concours le plus difficile, d'un niveau que seuls les meilleurs mathématiciens atteignent! Cette même année 2024, les IA décrochent la médaille d'argent à ces Olympiades. Qui peut résoudre un problème de maths peut raisonner! L'ère des IA capables de raisonnement s'ouvre donc devant nous.

Si les IA deviennent de plus en plus intelligentes et sont capables de créer des IA encore plus intelligentes, où cela va-t-il s'arrêter? La puissance des ordinateurs a doublé tous les deux ans – c'est la loi de Moore. Les IA pourraient dépasser les humains, puis l'humanité, puis...? La théorie de la singularité dit que cette augmentation peut être si rapide qu'on atteindrait possiblement une capacité infinie en un temps fini, avant 2050, d'après le chercheur Raymond Kurzweil. Cette théorie est bien sûr très controversée, mais elle soulève des rumeurs et des questions réelles... ■

## “Récemment, les IA codeuses créent des IA, augmentant leur puissance. Une course en avant est lancée...”

tout le monde», constate le mathématicien Cédric Villani. OpenAI a également développé DALL-E, capable de créer des images pour une demande exprimée en langage usuel. ChatGPT-3 fut un immense pas en avant signant l'avènement de la première IA avec laquelle les conversations ont du sens. Son utilisation est bluffante: on a presque l'impression de parler à un humain... ChatGPT s'est imposé en quelques mois comme assistant personnel dans les entreprises

aujourd'hui écrire une partie de leur code par ChatGPT, Copilot (Microsoft), Gemini (Google)... Les IA peuvent non seulement écrire un code, parfois complexe, mais elles peuvent aussi vérifier, expliquer les codes, et même anticiper ce que vous allez vouloir coder. L'humain peut se contenter de donner des instructions à l'IA. Les écoles d'informatique enseignent aujourd'hui aux étudiants à coder avec l'IA. Plus récemment, les IA codeuses créent