

cité

sciences
et industrie

robots

le livre de l'exposition
the exhibition book



ROBOTS

*JEAN-PAUL LAUMOND
& DENIS VIDAL*

*Illustrations
ANNE-LISE BOUTIN*

LES AUTEURS

Jean-Paul Laumond est roboticien, directeur de recherche CNRS, membre de l'Académie des sciences et de l'Académie des technologies.

Denis Vidal est anthropologue, directeur de recherche IRD (URMIS-Université de Paris), enseignant associé à l'EHESS et au musée du quai Branly. Il est notamment l'auteur de *Aux frontières de l'humain. Dieux, figures de cire, robots et autres artefacts*.

L'ILLUSTRATRICE

Anne-Lise Boutin est illustratrice pour la presse (*Libération, Le Monde, The Guardian, The New York Times*) et pour l'édition jeunesse et adulte. Ses illustrations à l'encre, numériques ou en papiers découpés, s'inspirent des arts populaires, comme les *calaveras* mexicaines, du merveilleux et de l'étrange.

AUTHORS

Jean-Paul Laumond, roboticist, senior researcher CNRS, member of the Académie des sciences and the Académie des technologies.

Denis Vidal, social anthropologist, senior research fellow IRD (URMIS-Paris University), associate professor at the EHESS and the musée du quai Branly. His publications include *Aux frontières de l'humain. Dieux, figures de cire, robots et autres artefacts*.

ILLUSTRATOR

Anne-Lise Boutin illustrates for the press (*Libération, Le Monde, The Guardian, The New York Times*) and for children's and adult books. Her illustrations in ink, digital imagery and collage are inspired by folk art forms such as Mexican *calaveras* and the marvellous and strange.

PRÉFACE

Les robots tantôt nous fascinent, tantôt nous inquiètent, mais toujours nous intriguent. Le mot fut inventé en 1920 par Karel Čapek à partir du mot tchèque *robot*, signifiant « corvée ». Un robot est ainsi un dispositif qui a pour fonction d'accomplir des tâches pénibles.

À l'origine, les robots ont surtout été utilisés dans le domaine industriel ; ils ont depuis investi la recherche spatiale, l'exploration sous-marine, la chirurgie et bien d'autres domaines encore. Aujourd'hui, on les rencontre partout, y compris à domicile ; il était donc temps qu'ils prennent leurs quartiers à la Cité des sciences et de l'industrie. C'est chose faite avec l'exposition permanente Robots, qui offre un panorama en mouvement de la robotique moderne, que vient prolonger cet ouvrage.

Je tiens à remercier le Centre national de la recherche scientifique, partenaire scientifique de l'exposition, ainsi que l'Institut national de recherche en informatique et en automatique pour sa collaboration. Notre gratitude va également aux nombreuses entreprises qui nous ont soutenu, parmi lesquelles Eiffage Energie Systèmes, Dassault Systèmes, FANUC, KUKA, MathWorks, SCHUNK, SoftBank Robotics Europe.

Je veux enfin saluer la contribution des deux commissaires scientifiques de l'exposition, Jean-Paul Laumond, roboticien, et Denis Vidal, anthropologue, dont l'expertise et l'engagement ont été précieux, de même que celle des autres membres du comité scientifique. Ils ont éclairé le travail des équipes d'Universcience, emmenées par Pierre Duconseille, qui ont porté à un niveau inégalé le savoir-faire muséographique de notre établissement ■

Bruno Maquart

Président d'Universcience
/ Universcience Chairman & Chief Executive

PREFACE

Robots fascinate us, worry us but always intrigue us. The word was coined in 1920 by Karel Čapek, from the Czech word *robot*, meaning “chore” or “drudgery”. A robot is therefore a machine for doing hard work.

Originally robots were primarily used in industry. They have since been used in space research, submarine exploration, surgery and many other fields. We now encounter them everywhere, including in the home. So it was high time they had their place in the Cité des sciences et de l'industrie, in the Robots exhibition, a panorama of modern robotics, accompanied by this book.

I would like to thank the *Centre national de la recherche scientifique*,

the exhibition's scientific partner, and the *Institut national de recherche en informatique et en automatique* for their collaboration. We also express our gratitude to the many firms who have supported us, including Eiffage Energie Systèmes, Dassault Systèmes, FANUC, KUKA, MathWorks, SCHUNK and SoftBank Robotics Europe.

I would finally like to praise the contribution of the exhibition's two scientific curators, Jean-Paul Laumond, roboticist, and Denis Vidal, anthropologist, whose expertise and commitment have been so invaluable, and also the other members of the scientific committee. They enlightened the work of the Universcience teams, led by Pierre Duconseille, who have raised our institution's museographic knowledge to an unparalleled level ■



CE LIVRE EST ENRICHÉ DE VIDÉOS,
ACCESSIBLES EN FLASHANT AVEC
UN SMARTPHONE OU UNE TABLETTE
LES QR CODES QUE VOUS
TROUVEREZ AU FIL DES PAGES.



www.plan-rapproche.com

Merci à Plan rapproché pour les vidéos :

Questions de perspective

Des robots en essaim

T. Bouchet, J. Caron, A. Decomble,

C. Godet, T. Goutier, L. Jacquet,

A. Lechevalier, N. Malgras, A. Mitoire.



www.escalenta.com

Merci à Escalenta & Jean Sebastian Seguin
pour les vidéos :

Il était une fois la robotique

Illustrations : Lise Herzog

Réalisation : Pascal Goblot

Les degrés de liberté

avec Théo Drieu (*Balade mentale*)

Réalisation : Tristan Kebci & Pascal Goblot

Des robots d'exploration

Réalisation : Pascal Goblot

**Foire aux questions : En quoi les robots
sont-ils de nouvelles machines ? Quelle
différence entre l'intelligence artificielle
et les robots ? Pourquoi fabrique-t-on des
robots humanoïdes ? Quelle serait l'utilité
d'avoir un robot humanoïde chez soi ?**

Les robots peuvent-ils me remplacer ?

**Comment les robots vont-ils transformer
la société ?**

Avec Manon Bril (*C'est une autre histoire*)

et Théo Drieu (*Balade mentale*)

Réalisation : Claudia Marschal

www.plan-rapproche.com

Thanks to Plan rapproché for the videos:

Questions of Perspective

Swarms of Robots

T. Bouchet, J. Caron, A. Decomble,

C. Godet, T. Goutier, L. Jacquet,

A. Lechevalier, N. Malgras, A. Mitoire.

www.escalenta.com

Thanks to Escalenta & Jean Sebastian Seguin
for the videos:

Once Upon a Time There Was Robotics

Illustrations: Lise Herzog

Directors: Pascal Goblot

Degrees of Freedom

with Théo Drieu (*Balade mentale*)

Director: Tristan Kebci & Pascal Goblot

Exploration robots

Director: Pascal Goblot

**FAQ: In What Way are Robots New Machines?
What is the Difference Between Artificial
Intelligence and Robots? Why Make Humanoid
Robots? What Uses will Humanoid Robots have
in the Home? Can Robots Replace Me? How Will
Robots Transform Society?**

with Manon Bril (*C'est une autre histoire*)

and Théo Drieu (*Balade mentale*)

Director: Claudia Marschal

« JE NE PEUX PAS DÉFINIR
UN ROBOT. MAIS JE
LE RECONNAÎTRAIS
SI J'EN RENCONTRAIS UN. »

"I CAN'T DEFINE A ROBOT
BUT I KNOW ONE WHEN I SEE ONE."
JOSEPH ENGELBERGER, 1966.

INTRODUCTION

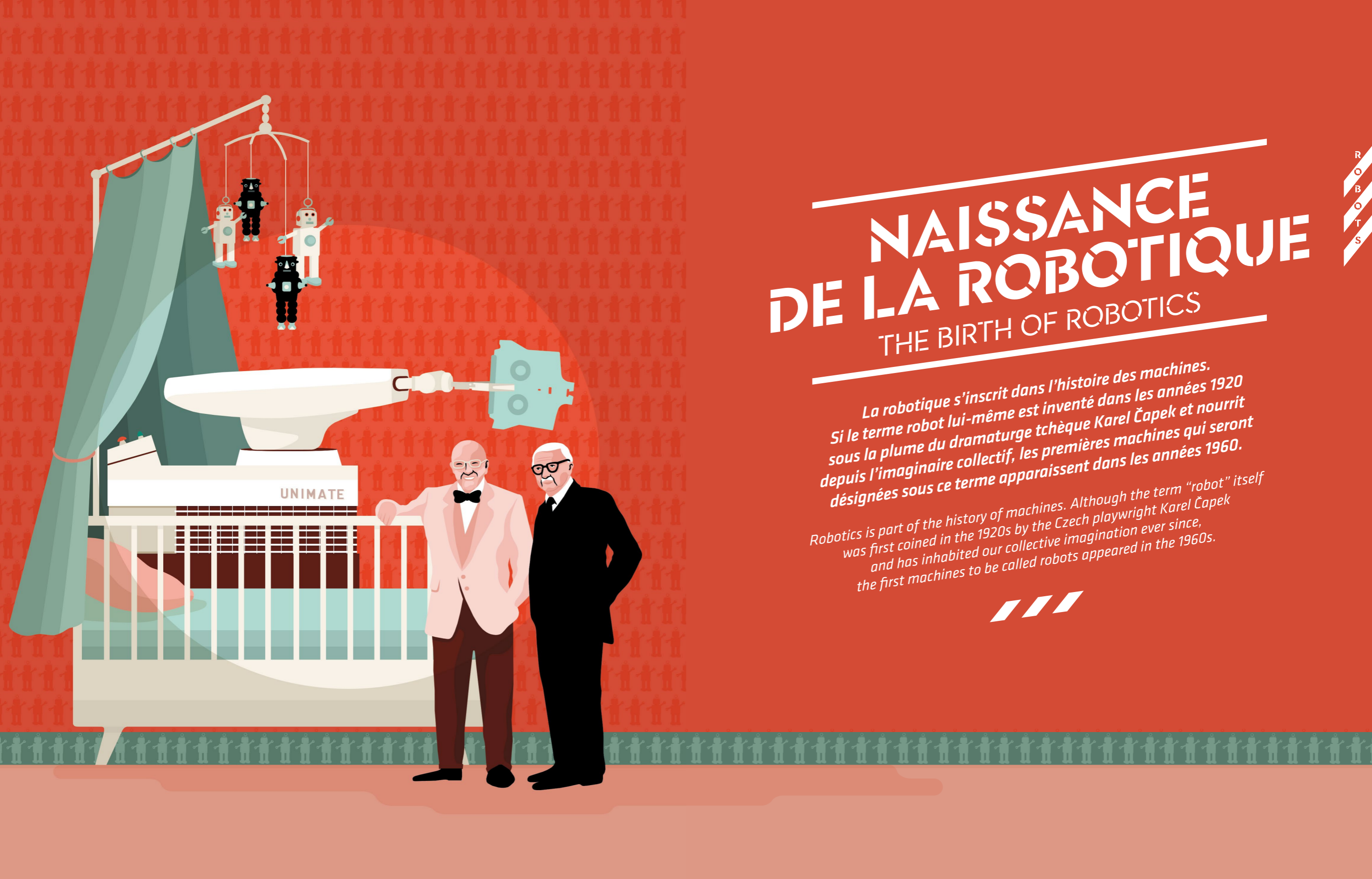
Le millénaire passé s'est terminé sur la spectaculaire percée de l'informatique. Le troisième naît avec la révolution robotique. Pourtant, plus de soixante ans après les prémices, la difficulté de définir ce qu'est un robot demeure. Simple machine industrielle ? Humanoïde susceptible de se substituer à l'homme ? La question est ouverte.

Repartons du commencement. Comment sont nées ces nouvelles machines ? **Comment fonctionnent-elles ?** Examinons au plus près leurs capteurs, leurs moteurs et leurs algorithmes. **Qu'est-ce que les robots d'aujourd'hui sont capables d'accomplir ?** Dans quels secteurs ? À quoi devons-nous nous attendre ? **Quelle est la part d'imaginaire** dans la vision que nous en avons ? Nous verrons que cet imaginaire relève autant des théories mécanicistes du XVII^e siècle que du cinéma de science-fiction. Et nous nous interrogerons pour finir sur **ce que la présence des robots change et va changer dans notre société** ■

The second millennium ended with the spectacular advances of computer science. The third began with the robotics revolution. Yet sixty years later the difficulty in defining a robot remains. Merely an industrial machine? A humanoid than can substitute itself for man? This is still an open-ended question.

Let's begin at the beginning. How did these new machines come into being? How do they

work? What do their sensors, motors and algorithms do? **What are today's robots capable of doing?** In what fields? What can we expect from them? To what extent is our vision of them an imaginary one? We will see that this image stems as much from seventeenth-century mechanist theories as science-fiction films. And finally we will ask ourselves **what robots are changing and will change in our society** ■



NAISSANCE DE LA ROBOTIQUE

THE BIRTH OF ROBOTICS

La robotique s'inscrit dans l'histoire des machines. Si le terme robot lui-même est inventé dans les années 1920 sous la plume du dramaturge tchèque Karel Čapek et nourrit depuis l'imaginaire collectif, les premières machines qui seront désignées sous ce terme apparaissent dans les années 1960.

Robotics is part of the history of machines. Although the term "robot" itself was first coined in the 1920s by the Czech playwright Karel Čapek and has inhabited our collective imagination ever since, the first machines to be called robots appeared in the 1960s.



Joseph Engelberger et George Devol se font servir un verre par un bras robotique dans les années 1960 (Robot Unimate).

Joseph Engelberger and George Devol are served a drink by a robotic arm in the early 1960s (Robot Unimate).



1920 : le mot robot apparaît pour la première fois dans une pièce de théâtre (RUR. Rossum's Universal Robots de Karel Čapek).

1920 : the word robot was used for the first time in a play by Karel Čapek (RUR. Rossum's Universal Robots).

DE NOUVELLES MACHINES

En 1961, une machine de manutention de 1,8 tonne est installée dans une usine de General Motors dans le New Jersey aux États-Unis. Elle est intégrée à une chaîne d'assemblage et chargée du transfert d'une position à une autre de pièces d'automobile. Son rayon d'action est de l'ordre de quatre mètres. Sa précision est submillimétrique. Il s'agit d'un bras télescopique qui peut tourner dans toutes les directions, de gauche à droite et de bas en haut, sous l'action de moteurs hydrauliques. L'organe terminal du bras est équipé d'un poignet et d'une pince à deux mors parallèles chargés de saisir une pièce et de l'orienter dans l'espace. Un capteur de pression est positionné sur chacun des deux mors, permettant l'adaptation de la force de serrage en fonction de la masse de la pièce à transporter. Il s'agit d'Unimate, issue d'un brevet déposé par George Devol et industrialisée par Joseph Engelberger, reconnu comme le père fondateur de la robotique.

En quoi Unimate est-elle une nouvelle machine ?

Pour répondre à cette question, il faut remonter à la notion même de machine. Une machine est un objet technique apte à produire du mouvement. Elle utilise une source d'énergie pour effectuer des tâches telles que le transport ou la manutention. Ces sources d'énergie peuvent provenir de l'homme (par exemple, un palan dont le nombre de poulies tend à réduire la masse de la charge à soulever ; dans ce cas, on aura plutôt tendance à parler d'outil), du vent (les moulins), de la vapeur (les premières locomotives), de l'électricité (tout notre électroménager), du pétrole (nos voitures), etc. Un robot est donc à la base une machine qui bouge. Mais il faut aller plus loin pour saisir la nouveauté.

NEW MACHINES

In 1961 a 1.8-ton handling machine was installed in a General Motors factory in New Jersey in the United States. It was integrated into an assembly line to transfer automobile parts from one position to another. It had a radius of action of some four metres and its telescopic arm, powered by hydraulic motors, could turn horizontally and vertically in all directions with sub-millimetric precision. At the end of its arm it had a wrist and a pincer with two parallel jaws to grasp a component and orientate it in space. Each jaw had a pressure sensor enabling it to adjust its gripping power to the mass of the part transported. Called Unimate, its patent was filed by George Devol and it was marketed by Joseph Engelberger, recognised as the founding father of robotics.

In what way was Unimate a new machine?

To answer this question, we have to consider the very notion of the machine. A machine is a technical object capable of producing movement. It uses an energy source to execute tasks such as transporting and handling. These energy sources can be human (for example, a lifting tackle whose pulleys tend to reduce the mass of the object lifted, in which case we would usually call it a tool), wind (windmills), steam (the first locomotives), electricity (our household appliances), oil (our vehicles), etc. A robot is therefore basically a machine that moves. But we need to go further to see what is new in this.



LA CYBERNÉTIQUE

Un robot est une machine capable de s'adapter *automatiquement* à son environnement. Lorsque sont apparues les premières machines à vapeur au XVIII^e siècle, celles-ci souffraient d'un défaut : les mouvements qu'elles transmettaient (par exemple, la rotation de l'axe d'une roue) étaient sujets aux aléas des variations de pression de la vapeur d'eau en sortie de chaudière. James Watt, un ingénieur écossais, inventa alors le régulateur à boules, un astucieux système mécanique qui couple une vanne de sortie de la chaudière avec la vitesse de rotation de l'axe. Le mouvement produit est régulier, quelles que soient les variations de pression. C'est cette invention qui fit le succès de la machine à vapeur et qui a ouvert la voie à la révolution industrielle du XIX^e siècle. Pour autant, la machine de Watt était-elle déjà un robot ? Non. Il faut poursuivre.

Si le XIX^e siècle est marqué par la maîtrise de l'énergie électrique, le début du XX^e siècle voit quant à lui se développer l'électronique. Les signaux électriques deviennent des vecteurs de transmission d'information. Le signal donné par un thermostat va ainsi pouvoir être exploité pour réguler le brûleur d'une chaudière. La température de l'appartement est constante quelles que soient les conditions météorologiques. Ce principe de régulation est théorisé dans les années 1940 par Norbert Wiener. Avec la *cybernétique*, il introduit une théorie unifiée des principes de régulation aussi bien pour les systèmes vivants que pour les machines. Comme les êtres vivants, les machines cybernétiques réagissent automatiquement à leur environnement. Job, le renard électronique créé en 1953 par le cybernéticien français Albert Ducrocq, se déplace en suivant une source lumineuse tout en évitant les obstacles qu'il trouve sur son chemin. Nous sommes presque arrivés ! Mais Job n'est pas encore tout à fait un robot.

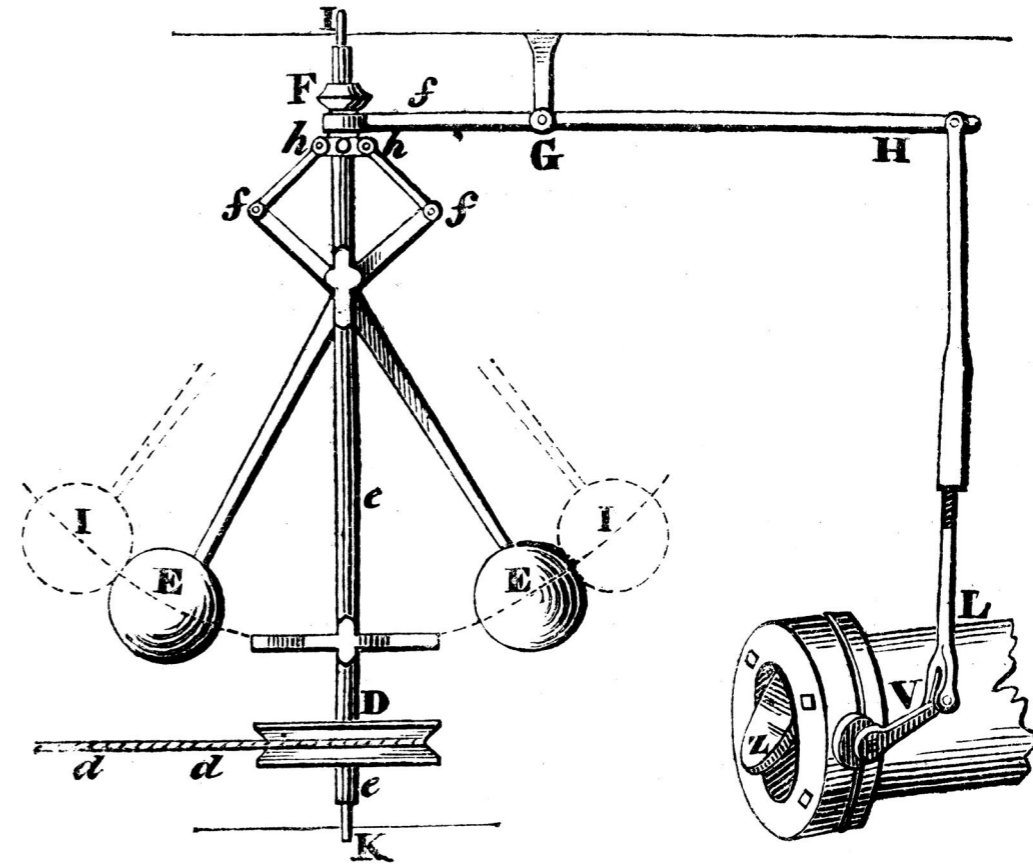
CYBERNETICS

A robot is a machine capable of *automatically* adapting to its environment. In the eighteenth century, the first steam-powered machines had one major defect: the movements they produced (the rotation of a wheel's axle, for example) were subject to the hazards caused by the variations in pressure of the water vapour released from the boiler. So the Scottish engineer James Watt invented the centrifugal governor, a clever mechanical system linking the engine's throttle valve and the axle's rotation speed. As a result, the movement produced is constant irrespective of pressure variations. It was this invention that ensured the success of the steam engine and opened the way for the industrial revolution in the nineteenth century. It solved the problem of *regulating* the machine's movement. But could we say that Watt's machine is a robot? No. We need to go on.

The harnessing of electrical energy in the nineteenth century led to the development of electronics in the early twentieth century. Electrical signals became vectors of data transmission. The signal emitted by a thermostat could be used to regulate a boiler, enabling the temperature of an apartment to remain constant in all weather. This regulatory principle was formalised in the 1940s by Norbert Wiener as *cybernetics*, a unified theory of feedback mechanisms both for living systems and machines. Like living beings, cybernetic machines react automatically to their environment. Job, the electronic fox created in 1953 by the French roboticist Albert Ducrocq, moved automatically towards a light source, avoiding obstacles it encountered in its path. We're almost there. But Job wasn't yet a robot.

Le régulateur à boules de James Watt.

James Watt's centrifugal governor.



Job, le renard cybernétique d'Albert Ducrocq dans les années 1950.

Job, Albert Ducrocq's cybernetic fox, in the 1950s.

LES PREMIERS ROBOTS

Dans les années 1950, se développe aussi l'informatique. Les signaux jusqu'alors analogiques sont numérisés. Cela signifie que l'information dont ils sont porteurs peut faire l'objet de traitements sur un ordinateur. En 1956, l'important colloque de Dartmouth jette les bases de l'*intelligence artificielle*, une expression vouée au succès que l'on connaît. Avec l'ordinateur, le robot a désormais la capacité de devenir une *machine intelligente*. Le traitement numérique de l'information permet de traduire les lois de la physique en programmes (algorithmes). Il permet des raisonnements logiques aussi bien que des comportements réactifs sophistiqués. La machine peut raisonner sur ses actions, anticiper et planifier ses comportements en fonction du contexte comme le fera à la fin des années 1960 le premier robot mobile Shakey, l'ancêtre des robots d'exploration planétaire, développé par Charles Rosen du Stanford Research Institut en Californie. Ou bien elle peut organiser ses comportements réactifs au sein d'architectures logicielles qui s'inspirent du vivant, comme le robot Genghis, l'ancêtre des robots aspirateurs, de Rodney Brooks au MIT. Les deux robots sont représentatifs de deux écoles de pensée qui vont structurer la recherche en robotique.

Nous y sommes. Un robot est une machine dont les mouvements sont calculés par un ordinateur. Une machine qui s'adapte en fonction du contexte, pour exécuter une tâche bien précise. Si l'on définit l'intelligence comme une mesure de la capacité d'un système à s'adapter à son environnement, on peut dire qu'un robot est une machine plus ou moins intelligente selon qu'elle réalise une même tâche dans des contextes plus ou moins diversifiés qui constituent son milieu. On parle aussi de l'autonomie de la machine : un robot autonome est une machine automatique dans son milieu.

Retenons que le robot universel, celui qui pourrait aller partout et tout faire, n'existe pas. Tout robot est pensé pour un environnement particulier et une tâche spécifique ■

THE FIRST ROBOTS

In the 1950s, computer science was also developing. Analog signals could now be digitized. This meant that the information they carried could be processed by a computer and organised into programmes executing logical and arithmetic procedures. In 1956, a famous colloquium at Dartmouth College laid the foundations of *artificial intelligence*, a term we are now all familiar with. The computer gave the robot the capacity to become an *intelligent machine*. Digital data processing allows the laws of physics to be translated into programmes (algorithms). It enables logical reasoning and sophisticated reactive behaviours. The machine can reason in order to act, anticipate and plan its behaviour depending on the context, as could the first mobile robot, Shakey, developed by Charles Rosen at the Stanford Research Institute in California in the late 1960s. It can also organise its reactive behaviour in the form of programmes within software architectures inspired by living organisms, like the robot Genghis created by Rodney Brooks at MIT.

Shakey is the ancestor of planetary exploration robots, Genghis is the ancestor of robot vacuum cleaners. These two machines represent the two schools of thought that have structured research in robotics.

Here we are now. A robot is a machine whose movements are calculated by a computer, that adapts to its environment to execute a precisely defined task. If we define intelligence as a measure of a system's capacity to do this, we can say that a robot is a machine that is more or less intelligent depending on whether it can execute the same task in more or less diverse contexts in its environment. We also call this a machine's autonomy an autonomous robot is a machine functioning automatically in its surroundings.

But remember that there is no such thing as a universal robot that can go everywhere and do everything. All robots are designed for a particular environment and a specific task ■



« AVEC L'ORDINATEUR,
LE ROBOT A DÉSORMAIS
LA CAPACITÉ DE DEVENIR
UNE MACHINE INTELLIGENTE. »
"THE COMPUTER GIVES THE ROBOT
THE CAPACITY TO BECOME
AN INTELLIGENT MACHINE."

Le robot Shakey doit son nom aux mouvements saccadés qu'il utilisait pour éviter les obstacles.

The robot Shakey was named after the jerky movements it used to avoid obstacles.

Quelle différence entre l'intelligence artificielle et les robots ?
What is the Difference Between Artificial Intelligence and Robots?



**JEAN-PAUL LAUMOND
& DENIS VIDAL**

*Qu'est-ce qu'un robot ? Comment fonctionne-t-il ?
Quels sont les progrès de la recherche, les défis à relever,
mais aussi les enjeux économiques et sociaux de la robotique au XXI^e siècle ?
Aujourd'hui, alors que les robots investissent nos espaces publics et privés,
il semble fondamental de comprendre leurs capacités techniques,
de mieux cerner ce qu'ils peuvent nous apporter et d'en maîtriser les usages.
En effet, les robots fascinent, mais nos représentations, issues de la littérature
et du cinéma, relèvent souvent de l'imaginaire...*

*Cet album illustré accompagne l'exposition « Robots »
présentée à la Cité des sciences et de l'industrie.
Il est enrichi de vidéos, accessibles gratuitement
en flashant les QR codes présentés au fil des pages.*

*What is a robot? How does it work?
How is research progressing, what are the challenges
and the economic and social questions posed by robotics in the twenty-first century?
Today, as robots are becoming increasingly present in our professional,
public and private lives, it is vital to understand their technological capabilities.
We must more fully comprehend how they can help us and master their uses.
Robots continue to fascinate us but our idea of them, stemming from literature and cinema,
is often a purely imaginary one.*

*This illustrated book accompanies the Robots exhibition
at the Cité des sciences et de l'industrie.*

*It contains links to a series of videos.
You can scan their QR codes to watch them online.*



9,95 euros TTC (France)



9 782868 421975

cite-sciences.fr
#ExpoRobots

Édition bilingue / Bilingual edition