

SCIENCES ET AVENIR

Sciencesetavenir.fr

ROSETTA ET LA COMÈTE

La poursuite
jusqu'au Soleil

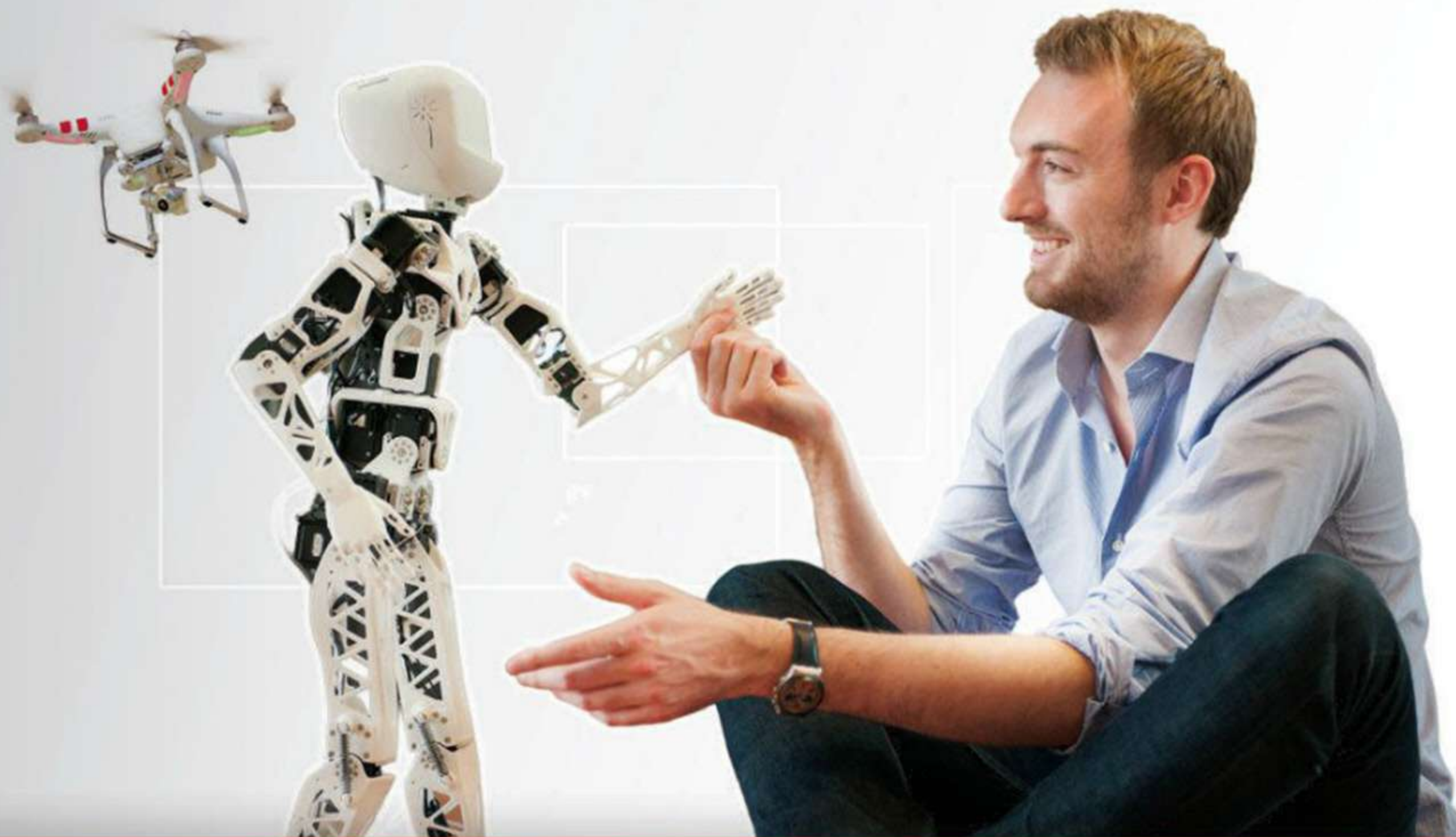
p.10



la High-Tech

révolutionnée par la science

p.34



M 02667 - 814 - F: 4,30 € - RD



DOSSIER

La nouvelle révolution HIGH-TECH



▲
Poppy, le robot
humanoïde conçu par
l'Inria de Bordeaux et
l'Ensta ParisTech.

DOSSIER RÉALISÉ PAR
Arnaud Devillard
et Olivier Hertel

Derrière chaque innovation qui bouleverse notre quotidien, les mathématiques, la physique, ou encore les nanosciences jouent un rôle fondamental. Tour d'horizon des enjeux de cette révolution high-tech dans 6 domaines clés.

(Lire aussi notre guide p. 99.)

ROBOTIQUE p. 36 / **MÉDECINE** p. 40 / **IMAGERIE** p. 44 / **INTERVIEW** p. 45 /
ÉNERGIE p. 46 / **FINANCE** p. 49 / **TRANSPORTS** p. 50

INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Elle vise à imiter l'intelligence humaine via des programmes informatiques.

SINGULARITÉ Moment à partir duquel le progrès technologique pourrait connaître une croissance exponentielle sous l'influence d'une intelligence artificielle.

ROBOTIQUE ÉVOLUTIONNISTE Elle s'appuie sur les mécanismes de la théorie de l'évolution et notamment la sélection naturelle, qui conduit à l'optimisation de l'organisme — du robot — à son environnement.

ROBOTIQUE

Aux fondements de l'intelligence artificielle

Biologie, mathématiques, physique... Pour faire marcher un robot ou lui donner une ébauche de jugement, les chercheurs font appel à toute la panoplie des sciences.

« **E**ST-CE QUE LES ORDINATEURS seront un jour aussi intelligents que l'homme ? Probablement oui. Mais très brièvement ! », affirme avec un humour grinçant le mathématicien américain et auteur de science-fiction Vernor Vinge. Sous-entendu, une fois qu'ils auront atteint ce niveau — dans quelques décennies ? — plus rien ne pourra les empêcher de nous surpasser. Le début de la fin pour l'humanité ? L'homme effacé par les machines, dominé par les robots ? En attendant, les humanoïdes actuels ne menacent guère l'espèce humaine : démarche saccadée, gestes lents, maladresse... Une révolte d'humanoïdes résolus à asservir l'homme n'est pas pour tout de suite. Même si quelques créations récentes peuvent susciter de l'inquiétude... Prenons le cas d'Atlas, l'humanoïde développé avec le soutien

de la Darpa (Agence pour les projets de recherche avancée de défense) par la société américaine Boston Dynamics, rachetée par Google en décembre 2013. Cet ersatz de Terminator de 150 kg pour plus de 1,8 mètre de hauteur est capable de traverser les terrains les plus accidentés sur ses deux jambes sans jamais trébucher. En s'aidant de ses bras, il escalade les obstacles qui se trouvent sur sa route. Immobile sur un pied, il parvient à garder l'équilibre après avoir été heurté par une boule de démolition de 9 kg. « C'est de loin le robot le plus évolué pour le contrôle dynamique de la motricité », confirme Raja Chaitila, roboticien à l'Institut des systèmes intelligents et de robotique à Paris (UPMC, CNRS, Inserm). Mais Atlas a une grande faiblesse : un cordon électrique qui le relie au secteur... Son gabarit imposant

en fait une machine gourmande en énergie. Et ce handicap est partagé par tous les humanoïdes actuels, contraints d'emporter dans leur torse ou sur leur dos d'imposants packs de batteries.

3

millions
C'est le nombre d'emplois qui seraient détruits par l'automatisation d'ici à 2025.

140

milliards d'euros
Le gain de productivité ainsi obtenu pour les entreprises françaises. (Source : cabinet Roland Berger.)

La marche humanoïde ne se résume pas à du calcul

C'est la marche qui est la plus énergivore, car elle exige un contrôle et des ajustements permanents effectués par de nombreux moteurs. Même si elle s'inspire des travaux en biomécanique et des études menées sur la bipédie humaine, elle demeure assez peu naturelle. « Les roboticiens estiment que la marche est un problème de mathématiques : ils pensent que l'on peut trouver les moyens d'agir correctement sur les moteurs à partir de la mesure de vitesses et de la position du corps », commente Pierre-Yves Oudeyer, chercheur en robotique et sciences cognitives à l'Inria (Institut national de recherche en informatique et en automatique) de Bordeaux. Mais, selon le chercheur, cette approche ne serait pas la bonne : « L'architecture de ces robots ne tient pas beaucoup compte de la géométrie du squelette humain. Ainsi, chez l'homme, les jambes ne sont pas droites comme chez tous

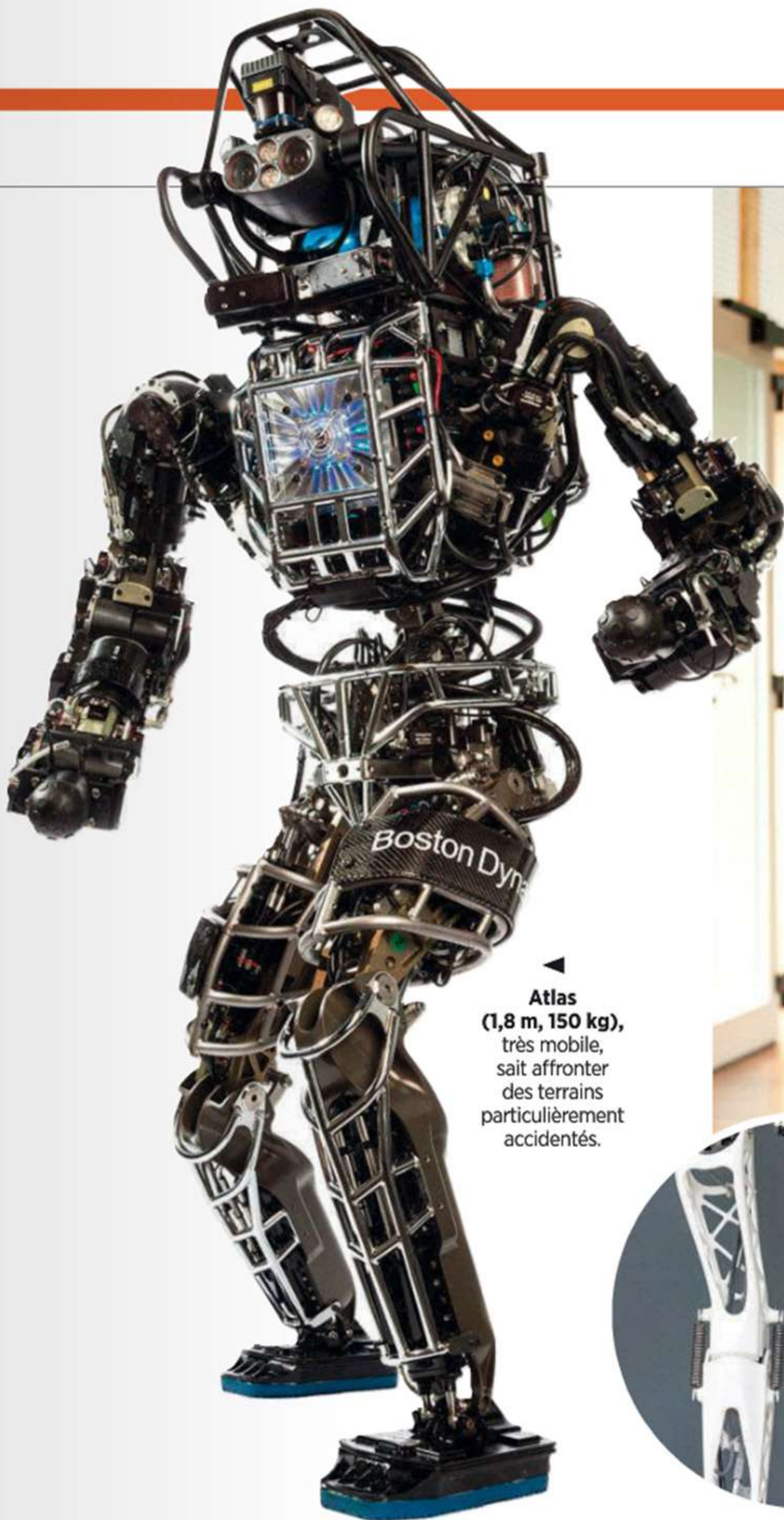
MATÉRIAUX

Une main sans doigts pour tout saisir

Imiter l'homme n'est pas toujours la meilleure solution en robotique. S'inspirant de la science des matériaux granulaires, la start-up Empire Robotics a conçu une main ultrasimple, sans doigts. Ce « moignon » est en fait une boule souple, remplie de petites billes qui se comportent comme un fluide. Elle s'écrase sur l'objet à attraper pour l'envelopper. Une pompe fait ensuite le vide dans la boule pour assurer la préhension. Et pour relâcher l'objet, il suffit de renvoyer de l'air dans la boule. Simple et efficace.



EMPIRE ROBOTICS



◀
Atlas
(1,8 m, 150 kg),
très mobile,
sait affronter
des terrains
particulièrement
accidentés.



Poppy (84 cm, 3 kg), conçu par l'Inria et calqué sur le squelette humain, marche de façon très naturelle lorsqu'on le guide comme un jeune enfant.

les robots humanoïdes, mais elles forment un angle d'environ 6°. Le torse n'est pas une boîte fixe mais un tronc articulé. »

Et ce sont ces « petits détails » qui font probablement la différence. La démonstration en a d'ailleurs été apportée à la fin des années 1980 quand Tad McGeer, un ingénieur canadien de l'université Simon Fraser, a fait marcher une paire de jambes entièrement mécanique, posées sur une grande table inclinée, sans le moindre

contrôle, sans moteur, sans ordinateur et sans électricité ! Ces jambes reprenaient la géométrie des membres humains et étaient équilibrées en tenant compte de la répartition des masses sur un corps. Une simple pichenette suffisait à les faire fonctionner toutes seules et ce de façon très humaine. « La marche ne doit donc pas être un calcul permanent. Les spécialistes ont montré que la géométrie pure du corps, sans le contrôle du système nerveux, pouvait expli-

quer beaucoup de formes de mouvements », explique Pierre-Yves Oudeyer. C'est donc la voie suivie par le chercheur et son équipe pour concevoir le robot Poppy, un petit humanoïde d'environ 80 cm aux jambes légèrement arquées et au tronc articulé. Tenue par la main, la machine se déplace alors naturellement d'une façon qui rappelle un jeune enfant.

Avoir un corps parfait c'est bien. Savoir s'en servir, c'est mieux. Au Laboratoire d'analyse et ▶

► d'architecture des systèmes (Laas, CNRS), à Toulouse, l'équipe de Jean-Paul Laumond s'intéresse notamment aux trajectoires : « *Quand une personne doit aller d'un point A à un point B dans un espace dégagé, elle a le choix entre un nombre infini de parcours. Mais dans les faits, tout le monde choisit à peu près la même trajectoire, la plus directe. Notre locomotion est stéréotypée sans que l'on sache vraiment pourquoi : est-ce parce qu'il s'agit du trajet mécaniquement le plus confortable ? Nous avons formalisé, modélisé ce choix pour le faire reproduire à nos robots* », commente le chercheur.

Des outils mathématiques pour simuler l'intelligence

Ce simple choix, qui peut sembler trivial, cache tout un pan de la robotique, celui de la décision et du raisonnement, plus communément appelé intelligence artificielle (IA). Là encore, l'homme sert de référent. « *Concrètement, l'intelligence artificielle regroupe des programmes qui sont censés reproduire un comportement semblable à celui de l'homme* », explique Raja Chatila. Ces programmes reposent sur la logique mathématique développée dès les années 1920, quand les ordinateurs n'existaient pas encore. Elle suppose qu'un raisonnement peut être mathématisé en une suite

de déductions qui découlent de règles, de théorèmes. Ces raisonnements logiquement articulés, ce sont les algorithmes. Ce qui ne suffit pas à doter les machines d'une intelligence acceptable.

Les roboticiens utilisent aussi la théorie des graphes, un autre domaine des mathématiques dont une représentation simple serait une sorte de grand réseau constitué de « ronds » reliés entre eux par des « traits ». Chaque « rond » est un « état », c'est-à-dire une description la plus exhaustive possible d'une situation réelle. Par exemple : « état 1 = les clés sont sur la table, le téléphone est sur la table ». Les « traits » représentent des « actions » qui font passer d'un état à un autre. L'action « prendre la clé » fera ainsi passer de « l'état 1 = les clés sont sur la table, le téléphone est sur la table » à « l'état 2 = les clés sont dans la main, le téléphone est sur la table ». « *Il faut s'imaginer plusieurs centaines de milliers d'états différents qui vont permettre au robot de planifier ses actions pour atteindre son objectif, comme ouvrir une porte* », poursuit Raja Chatila. Problème, pour la machine, le monde est... incertitude ! Déclencher la bonne série



LE + NUMÉRIQUE
Les robots en font toujours plus sur <http://sciav.fr/814robot>

d'actions pour ouvrir une porte en tirant sur la poignée ne garantit pas l'ouverture de la porte... Il existe toujours une probabilité qu'elle soit fermée à clé. Il faut donc rajouter une composante probabiliste à chaque état.

Affiner un comportement à partir de l'expérience

Reste à calculer ces probabilités ? Les roboticiens utilisent pour cela un raisonnement tiré du théorème de Bayes, du nom du mathématicien et pasteur britannique Thomas Bayes (1702-1761). Ce raisonnement « bayésien » postule que l'on peut déduire les probabilités d'un état à partir d'observations. Ainsi, si un individu observe une voiture rouge, il peut en déduire que toutes les voitures sont rouges. S'il croise ensuite une voiture bleue, il en conclut que la moitié des voitures sont rouges et les autres bleues. Et ainsi de suite. « *On révisé les jugements en fonction des observations. Cela fonctionne pour les robots et certains chercheurs en neurosciences pensent que c'est également ainsi que l'espèce humaine raisonne* », indique Raja Chatila.

Si le raisonnement bayésien permet à la machine de comprendre ce qu'elle voit, elle doit encore décider de ses actions et ne peut pas, pour cela, se fier à son intuition ! Elle utilise des processus décisionnels markoviens, du nom du mathématicien russe Andreï Markov (1856-1922). « *Cette méthode permet de choisir la meilleure action pour atteindre l'objectif sachant qu'il existe plusieurs manières d'y parvenir, avec des probabilités différentes. Ce type de raisonnement est surtout utilisé dans la recherche, par de très rares machines dans le monde* », explique Raja Chatila. Tant mieux ! Cette intelligentsia robotique est encore loin de surpasser l'homme... ■

Olivier Hertel

@olivierhertel

INTELLIGENCE COLLECTIVE

Des milliers de robots en essaim

Les robots savent déjà se coordonner par centaines pour mener des actions relativement complexes. En août, des chercheurs de l'université Harvard (Massachusetts, États-Unis) montraient comment un millier de petits robots élémentaires, de la taille d'une pièce de 10 centimes, pouvaient s'arranger les uns par rapport aux autres pour former des figures géométriques telles qu'une étoile de mer (*photo ci-contre*) ou encore la lettre K. Ces travaux de « robotique en essaim » s'inspirent directement de la nature. Ils partent du principe que les systèmes biologiques, allant des organismes multicellulaires jusqu'aux sociétés d'insectes, reposent sur

la coopération d'un grand nombre d'entités simples comme une cellule ou une fourmi, afin de produire des fonctions ou des comportements complexes. Ce domaine de la robotique pourrait déboucher sur un grand nombre d'applications. Ainsi, l'armée américaine a lancé en avril un programme de recherches sur des escadrilles de drones capables de coopérer lors de frappes ou de missions de renseignement (*lire p. 39*). Et déjà, l'été dernier, elle effectuait, pour la première fois, un exercice de neutralisation d'un navire ennemi par un essaim de bateaux robots, sans intervention humaine.

