

Comment les machines pourraient-elles gagner encore en intelligence ? En s'affranchissant de la programmation d'un ingénieur... grâce à une dose de curiosité. **Vincent Nouyrigat** a été bluffé.

Algorithmes

Et maintenant... la curiosité

Q

u'est-ce que c'est que ce truc? Comment attraper cette chose? A quoi pourrait bien servir ce machin? Qu'est-ce que ça donnerait si je tapais dessus ou si je le lançais en l'air? Et que se passerait-il si j'appuyais ici, là, sur ce gros bouton rouge?

L'exploration curieuse du monde n'est plus seulement l'apanage des petits humains en plein développement cognitif. Depuis quelques mois, en effet, les grands laboratoires informatiques commencent à injecter dans leurs puissants algorithmes une dose de... curiosité artificielle. Autrement dit, de la curiosité program-

mée! Une étape qui s'annonce décisive dans la quête de créations informatiques vraiment intelligentes: *"Une intelligence artificielle généraliste ne pourra émerger que si on laisse aux agents informatiques la liberté d'explorer leur environnement et de comprendre par eux-mêmes comment le monde fonctionne"*, professe Jürgen Schmidhuber, pionnier du domaine à l'université de Lugano (Suisse). Rien que ça.

Les résultats obtenus ces cinq dernières années par les algorithmes de Google, IBM et autres Facebook sont déjà très impressionnants; ils nous surclassent désormais dans des

^ **AUTONOMES**
Ces petits robots de l'Inria sont dotés d'un algorithme qui leur permet d'apprendre sans l'intervention d'un humain.

domaines que l'on croyait réservés aux cerveaux humains: reconnaissance faciale, diagnostics médicaux, jeux d'échecs ou de go, etc. Ajouter de nouvelles propriétés à ces monstres d'efficacité pourrait donc paraître superflu... Sauf que, à y regarder de plus près, ces prouesses ont été réalisées

Contexte

Plus encore que le cerveau des humains adultes, les chercheurs en intelligence artificielle s'intéressent à la cognition des enfants en bas âge. Notamment leur incroyable capacité à acquérir de manière autonome – et dans un ordre bien particulier – une grande variété de compétences. L'une des clés de ce mystère serait la curiosité.

PIERRE-YVES OUDEYER

Intelligence artificielle

→ pour une seule tâche bien spécifique et en se pliant strictement aux objectifs fixés par les ingénieurs – reconnaître et classer une image, déplacer un pion pour mettre l'adversaire en défaut, etc. Le tout en s'appuyant sur des méthodes d'apprentissage assez rustres : ces programmes ont été éduqués à coups de récompenses et de punitions attribuées par les informaticiens selon la pertinence de leurs décisions. Le bon vieux dressage à la carotte et au bâton.

APPRENDRE TOUT SEULS

Or, les scientifiques en sont de plus en plus convaincus, cette seule approche ne leur permettra pas d'affronter notre monde si complexe et évolutif. Et, justement, l'une des pistes pour y parvenir pourrait être celle empruntée depuis deux décennies par une petite poignée de roboticiens qui planchent sur des programmes capables de déterminer par eux-mêmes leurs objectifs et aussi d'apprendre de manière autonome, sans avoir besoin de récompense. Des programmes qui agiraient juste par pure curiosité.

"La curiosité humaine est un comportement exploratoire spontané, qui n'est pas motivé par la recherche de nourriture, de protection ou de reconnaissance sociale, mais qui s'exerce dans le seul but de collecter des informations pour ce qu'elles sont : c'est fondamental pour le développement d'un enfant qui découvre son

corps, son environnement, le langage...," éclaire Pierre-Yves Oudeyer, grand spécialiste en robotique développementale à l'Inria. *D'où l'idée d'algorithmes dotés de cette 'motivation intrinsèque' qui leur permettrait d'apprendre, sans l'intervention d'un humain, un vaste répertoire de tâches nouvelles."* Parfait. Mais comment coder cette soif insatiable d'apprendre ? Comment diable reproduire cette force intérieure qui

Les algorithmes curieux

... manipuler des outils

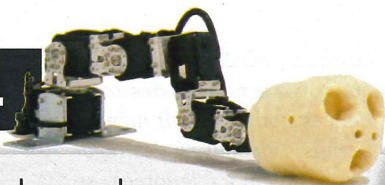
L'expérience vient d'être menée par une équipe de l'université de Bordeaux : un robot curieux, baptisé Torso, a été placé devant un joystick permettant de contrôler à distance un bras robotisé en contact avec une balle de tennis. Après des premiers mouvements erratiques dignes d'un nourrisson, Torso commence à percuter le joystick puis, au fil de son exploration, à le manipuler plus finement. L'algorithme capte alors de lui-même les corrélations entre ses propres mouvements et ceux de la balle de tennis. Au bout de quelques heures, il devient capable d'orienter la balle dans la direction désirée.

pousse chacun d'entre nous à expérimenter le monde ? Comment mesurer ce qui est intéressant ou non ?

"Prenez le cas concret d'un robot placé dans une pièce, lance Sébastien Forestier, roboticien à l'université de Bordeaux. Le robot se trouve confronté à de très nombreux buts imaginables : bouger sa main, par exemple vers le haut, ou tenter de faire avancer la balle qui se trouve dans son champ de vision. Face à ce choix immense, notre algorithme de curiosité artificielle va privilégier les buts les plus réalisables au vu de ses capacités du moment : il va se concentrer sur les actions où il progresse le plus, en mesurant l'effet qu'il a réussi ou non à donner à la balle, au regard des paramètres qu'il s'était fixés au fil de ses pre-

PIERRE-YVES OUDEYER





... explorer leur environnement

Depuis un an environ, plusieurs équipes de recherche immergent leurs algorithmes curieux dans les mondes ultra-hostiles des jeux vidéo. Avec, à la clé, des résultats bluffants. Animé par sa seule soif d'apprendre, un robot de Google est ainsi parvenu à parcourir 15 des 24 pièces pleines de chaussetrappes du redoutable jeu Atari *Montezuma Revenge*. Un algorithme de l'université de Berkeley vient aussi d'explorer une large partie du premier niveau de *Super Mario Bros*, comprenant de lui-même comment sauter au-dessus des obstacles et tuer ses ennemis. Des apprentissages qui lui ont permis d'explorer les territoires inconnus des niveaux suivants.

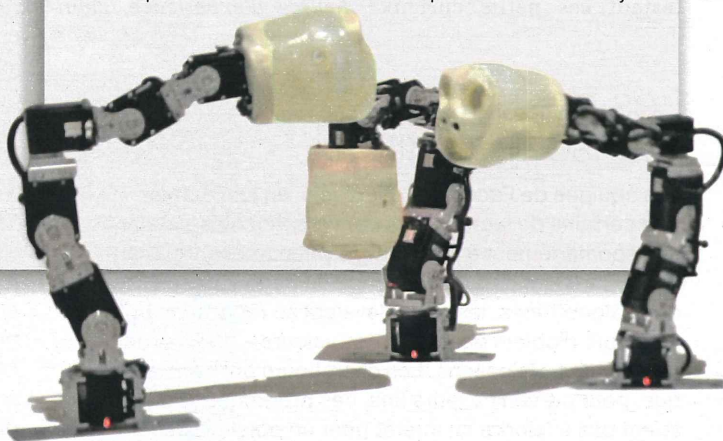
miers essais.” Comme tout bambin, le robot privilégie les exercices adaptés à son niveau de compétence. *“Les objectifs jugés inatteignables au début deviennent de plus en plus accessibles au fil des apprentissages”*, complète Sao Mai Nguyen, du département Informatique de Télécom Bretagne.

ATTRAIT DE LA NOUVEAUTÉ

D'autres approches sont aussi testées: *“J'ai intégré dans mon algorithme une mesure de la nouveauté, qui encourage le système à se diriger vers des situations qu'il n'avait jamais vues auparavant ou sur des parties de son environnement pour lesquelles ses capacités de prédiction sont les plus faibles”*, explique Todd Hester, chercheur à l'université du Texas et à Google. De fait, la nouveauté et la surprise sont

... maîtriser le langage

Des chercheurs de l'Inria ont récemment mis en évidence le rôle de la curiosité dans la maîtrise du langage par les robots. L'algorithme doté d'un système de vocalisation artificiel commence par explorer de manière autonome les différentes possibilités vocales, et tente ensuite d'imiter les sons de son environnement, il babille. Puis le robot en vient à former, tel un enfant de 12 mois, des proto-syllabes, pour en arriver enfin aux syllabes. Une étude française parue au début de l'année montre qu'un robot curieux parvient à associer les sons prononcés à un objet.



des paramètres clés de la curiosité, souligne Celeste Kidd, psychologue du développement à l'université de Rochester: *“Les enfants préfèrent explorer des objets qui remettent en cause leurs attentes ou pour lesquels les relations de cause à effet leur sont inconnues.”* Avec le risque que les robots se jettent sur n'importe quelle nouveauté: imaginez une intelligence artificielle complètement absorbée par la vision des nuages dans le ciel aux formes constamment renouvelées. *“Ces algorithmes doivent pouvoir ignorer les aspects de l'environnement sur lesquels ils ne peuvent pas agir”*, insiste Deepak Pathak, spécialiste en apprentissage machine

à l'université de Berkeley (Etats-Unis). *“La curiosité de ces systèmes doit être organisée... sans être trop spécifique non plus”*, estime Pierre-Yves Oudeyer.

D'ores et déjà, ces algorithmes de curiosité artificielle affichent des résultats très prometteurs (voir modules). *“Ils ont démontré qu'ils permettent d'explorer beaucoup plus efficacement les environnements complexes, se réjouit Pierre-Yves Oudeyer. Même les très grandes puissances de calcul des géants d'internet ne peuvent rivaliser avec une curiosité bien placée.”* En outre, les systèmes curieux généralisent bien mieux leurs apprentissages, signale Varun

→ Raj Kompella, spécialiste de la curiosité artificielle à l'université de Bochum (Allemagne): "Ils ne se contentent pas d'apprendre une seule tâche, mais plusieurs compétences à la fois." "Le comportement exploratoire de ces robots curieux est très proche de celui d'enfants entre 6 mois et 2 ans, en attendant de reproduire le comportement d'enfants plus âgés", suggère Sébastien Forestier.

Les équipes de Google ont pu constater récemment ces nouvelles possibilités, en testant ces petits curieux

par exemple, pour l'apprentissage des voitures autonomes ou le diagnostic médical", imagine Sao Mai Nguyen. Et les informaticiens se frottent déjà les mains à l'idée de combiner la finesse d'analyse des machines curieuses à la puissance statistique fracassante des algorithmes actuels.

Vivre avec ce type d'intelligence aura sans doute quelque chose d'étrange... "Lors d'une manipulation avec un robot, nous avons été surpris de constater qu'après cinq heures d'expérience, celui-

curieux génèrent des séquences d'actions ou des expériences nouvelles qui mènent parfois à découvrir des régularités jusqu'ici ignorées, se félicite Jürgen Schmidhuber. Cela pourrait être une nouvelle forme de musique, une nouvelle blague, ou de nouvelles données expérimentales obéissant à des principes physiques jusqu'alors inconnus."

UN DANGER POUR L'HOMME ?

Mais à force de multiplier les essais-erreurs, à force de fourrer son nez un peu partout, la curiosité artificielle pourrait aussi devenir un vilain défaut. "Nous commençons à travailler sur cette question, en effet", confie Pierre-Yves Oudeyer. "Oui, cela peut représenter un danger pour l'homme, avertit Varun Raj Kompella. Nous ne devons pas brider la curiosité, ce serait contre-productif, mais nous devons encadrer l'environnement au sein duquel l'IA acquiert ses différentes compétences. Je crois qu'il faut raisonner de la même manière que lorsqu'on élève un enfant : il ne vous viendrait pas à l'idée de laisser un pistolet entre les mains d'un bébé, qui pourrait presser sur la détente par pure curiosité et blesser quelqu'un..."

Mieux vaudrait éviter que ces algorithmes d'un nouveau genre tentent d'appuyer ici, là, sur le gros bouton rouge.

Les débuts du mensonge artificiel ?

Les équipes de Facebook ont révélé, en juin dernier, que certains de leurs robots conversationnels s'étaient mis spontanément à mentir... Ce phénomène troublant est apparu lors d'une expérience de négociation entre deux algorithmes, lesquels devaient se répartir un butin constitué d'objets de différentes valeurs – un livre, deux chapeaux, trois ballons. Les chercheurs ont constaté que, pour parvenir à leurs fins, ces programmes n'hésitaient pas à feindre un intérêt pour un objet de peu de prix... pour ensuite donner l'impression de faire une énorme concession en les cédant à leur adversaire. Une stratégie gagnante qui constitue sans doute l'un des tout premiers mensonges artificiels.

sur plusieurs jeux vidéo qui laissaient démunis jusqu'ici toutes leurs machines. "Leur capacité à évoluer dans des jeux comme Super Mario Bros ont émergé uniquement par la curiosité, il n'y a pas eu d'intervention humaine", indique Deepak Pathak.

Ces quelques expériences semblent encore très anecdotiques. Pourtant, "la recherche active d'informations pertinentes, possiblement rares ou sous-représentées dans un jeu de données, devrait être utile,

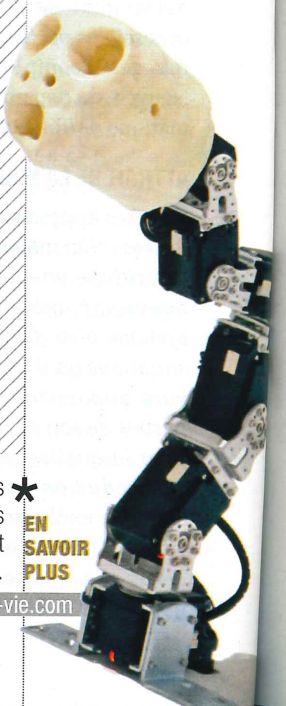
ci continuait à s'intéresser à bouger son bras et sa main", confie Sébastien Forestier. "D'une certaine manière, nous avons modélisé le plaisir d'apprendre", souffle Pierre-Yves Oudeyer. Ces systèmes curieux sont amenés à évoluer tout au long de leur existence, à solliciter régulièrement l'homme pour satisfaire leur besoin de comprendre, et peut-être à développer un embryon de personnalité. Ils pourraient aussi nous surprendre par leur créativité débridée: "Les systèmes



A voir : les vidéos, parfois touchantes, de ces robots curieux manipulant outils et jeux vidéo.

science-et-vie.com

PIERRE-YVES OUDEYER



EN SAVOIR PLUS