



La jeune garde de la science

Le roboticien des sciences humaines > Pierre-Yves Oudeyer

• Technologie

Pierre-Yves Oudeyer est passionné de primatologie. Un comble pour un roboticien ! Et pourtant les deux disciplines ne sont pas aussi éloignées qu'on le croit. « Au lycée, j'étais fasciné par les expériences qui consistent à enseigner à des singes des éléments de langage humain, explique-t-il. Cela m'a fait prendre conscience qu'en prenant du recul sur l'homme, en analysant d'autres espèces, on peut apporter un éclairage nouveau sur l'intelligence humaine. » Autre source d'inspiration pour le chercheur : 2001, l'Odyssée de l'espace. « Dans ce film, l'intelligence artificielle (IA) HAL, n'est, là aussi, qu'un prétexte pour se poser des questions sur nous-mêmes. » L'IA, miroir de l'humanité ? L'idée germe dans l'esprit de l'actuel directeur de recherche en robotique, à Inria, à Bordeaux. À la place des singes, pourquoi ne pas utiliser des robots comme des outils pour mieux comprendre le vivant et l'homme en particulier.

Après un passage à l'École normale supérieure de Lyon et un DEA d'intelligence artificielle à l'université Paris VI, il rejoint le terrain de jeu idéal : le laboratoire de sciences computationnelles (CSL) de Sony, dirigé par Luc Steels, pionnier mondial de « la linguistique évolutionnaire ». Cette discipline consiste à faire interagir des robots pour modéliser les mécanismes d'apparition des langues dans les premières populations humaines.

Pendant sa thèse, Pierre-Yves Oudeyer étudie la formation des systèmes de vocalisation dans les langues du monde. Il conçoit des systèmes informatiques qui simulent des conduits vocaux et auditifs humains. Puis il les fait interagir.

Ces systèmes obéissent à un algorithme qui les pousse à émettre des sons et à s'imiter en permanence. Au début, les machines produisent des vocalisations au hasard. Puis, peu à peu, une organisation émerge spontanément : ces vocalisations s'accordent sur un même répertoire de sons et finissent toutes par l'utiliser. « On retrouve à peu de chose près la même distribution des voyelles dans cette expérience et dans les langues du monde. » Fort de ce résultat, le chercheur s'interroge sur les mécanismes qui poussent ces systèmes informatiques à produire des sons et à s'imiter. Les humains sont-ils, eux aussi, guidés par des mécanismes qui les poussent à interagir linguistiquement ?

Curiosité artificielle. De fil en aiguille, il s'intéresse aux processus de développement du langage et des mouvements chez l'enfant, « l'une des questions scientifiques les plus complexes du monde qui nous entoure ». Lorsqu'un bébé explore son environnement, il saisit des objets, les manipule et observe les conséquences de ses gestes. « Souvent, ce qui le motive dans cette exploration n'est pas la promesse d'une récompense mais le fait que cet apprentissage lui procure du plaisir. » Cette motivation dite « intrinsèque » est connue des psychologues depuis les années 1950, mais ces derniers ne disposaient pas d'outils adéquats pour en modéliser les mécanismes. Pour Pierre-Yves Oudeyer, les robots peuvent être très utiles pour étudier ces questions.

En 2004, avec son collègue Frédéric Kaplan, ils fondent ainsi le groupe de « robotique développementale » au sein du CSL. Ce domaine de la robotique, tout jeune à l'époque, consiste à modéliser les processus de l'apprentissage humain avec des robots. Ils développent alors des modèles originaux de mécanismes de motivation intrinsèque qui permettent à des robots d'explorer leur environnement de façon à en extraire le plus d'informations possible.

Pourquoi ne pas utiliser
des robots pour comprendre
le vivant, et l'homme
en particulier ?

© RODOLPHE ESCHER



- 37 ans
- Directeur et fondateur du laboratoire Flowers, à Inria, à Bordeaux
- Lauréat d'une bourse du Conseil européen de la Recherche, en 2009



LUC STEELS, professeur à l'Institut de biologie évolutive, à Barcelone

Selon Olivier Sigaud, roboticien à l'Institut des systèmes intelligents et de robotique, à Paris, l'apport majeur de Pierre-Yves Oudeyer et de Frédéric Kaplan est la création de mécanismes de « curiosité artificielle ». « En instillant une curiosité à des robots à l'aide d'algorithmes, ils ont montré pour la première fois comment l'apprentissage des enfants et leur exploration pouvaient être guidés par la volonté d'apprendre le plus vite possible. » En effet, les robots comme les enfants ne s'achament ni sur des tâches trop difficiles (qu'ils n'arrivent pas à mener à terme), ni trop simples (qui ne leur apprennent rien de nouveau).

En 2007, il quitte Paris et s'installe à Bordeaux avec sa famille. « La structure de Sony CSL était parfaite pour explorer de nouvelles voies de recherche. Mais pour faire grandir une activité, Inria était mieux adapté. » En 2008, à 30 ans, il fonde le laboratoire Flowers et crée son équipe de recherche en robotique développementale.

En 2013, avec son équipe, il lance Poppy, une plateforme robotique open source visant à explorer le rôle de la morphologie dans l'apprentissage. Ce robot imprimable en 3D est modulaire, si bien que son anatomie peut être modifiée à volonté. De quoi faire du corps une variable expérimentale. Peu onéreux et simple d'utilisation, Poppy a pour vocation de devenir un outil scientifique interdisciplinaire. L'objectif ? Démocratiser l'usage de l'informatique et de la robotique dans les sciences humaines. « Comme l'explique le philosophe Edgar Morin, indique le chercheur, le monde est tellement complexe que pour le comprendre vraiment, il faut multiplier les points de vue et les méthodes. » ■

Gautier Cariou

Publications

- P.Y. Oudeyer et al., *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 11, 265, 2007.
- P.Y. Oudeyer, *Journal of Theoretical Biology*, 233, 435, 2005.
- P.Y. Oudeyer, *Aux sources de la parole : auto-organisation et évolution*, Odile Jacob, 2013.

© D.R.

« Il a ouvert une nouvelle voie de recherche dans l'étude du développement de l'enfant »

Vous étiez le directeur de thèse de Pierre-Yves Oudeyer. Qu'est-ce qui, selon vous, le caractérise ?

L.S. Sa curiosité et son indépendance. Très vite, il a voulu suivre ses propres idées. De nombreux étudiants demandent des sujets clairs, veulent être bien encadrés. Mais ce ne sont pas ces profils qui deviennent des leaders. Son esprit d'initiative l'a mené à fonder un journal dans sa discipline, à écrire un livre, à participer à des événements pour le grand public, et surtout à créer son équipe de recherche, aujourd'hui très puissante dans le domaine de la robotique développementale.

En quoi Pierre-Yves Oudeyer est-il un pionnier de la robotique développementale ?

L.S. Il a contribué à ouvrir une nouvelle voie de recherche dans l'étude des mécanismes du développement de l'enfant. Auparavant, seuls la psychologie et les neurosciences s'intéressaient à cette question. Et il n'existait que deux méthodes pour en étudier les processus. La première approche, celle des psychologues, consistait à observer puis à analyser le comportement d'enfants dans le cadre d'expériences. La seconde, celle des neurosciences, consistait à mesurer l'activité cérébrale et à coupler cette information avec l'observation de comportements. Avec son collègue Frédéric Kaplan, Pierre-Yves a développé une nouvelle approche, complémentaire des deux premières : construire et

étudier des robots pour se forger une idée de ce qui se passe réellement chez les enfants lorsqu'ils apprennent à parler ou à se mouvoir. À titre de comparaison, ce n'est qu'en construisant des avions que les physiciens ont compris comment il était possible de voler.

Quel a été son principal apport dans cette discipline ?

L.S. Il a introduit l'idée d'un apprentissage fondé sur la curiosité. Pour la tester, il a mis au point des « algorithmes de curiosité » qu'il a implémentés avec succès sur des robots. Habituellement, les roboticiens utilisent un autre mode d'apprentissage, dit « par renforcement », fondé sur un système de récompenses et de punitions. Selon l'efficacité de ses mouvements, un robot reçoit un retour négatif (la punition) ou un retour positif (la récompense). Pour apprendre un geste particulier, il lui suffit donc de maximiser les récompenses. Ce mécanisme est bon pour expliquer le comportement de rats, conditionnés par l'appât du gain. Mais il est mal adapté pour expliquer les processus d'apprentissage du langage, par exemple, chez l'homme. La curiosité artificielle mise au point par Pierre-Yves Oudeyer repose au contraire sur des mécanismes de motivation dite « intrinsèque » : le robot n'est pas conditionné à apprendre une tâche particulière en échange de récompenses. Il apprend pour lui-même et doit y trouver son compte. ■
Propos recueillis par Gautier Cariou



> Francis Bach

Apprentissage statistique

C'est un jeu de backgammon offert à Noël 1998 par son épouse qui va changer son destin. Jusque-là, Francis Bach travaillait comme ingénieur dans l'industrie, effectuant, depuis sa sortie de l'École polytechnique, des missions chez Total ou chez Renault. Le jeu le passionne au point qu'il se met à programmer pour comprendre comment un ordinateur peut battre un humain : « Comme, au travail, je ne faisais plus que programmer, je me suis dit que je devrais changer de voie. » Après une thèse en Californie, il revient en France pour monter une équipe. « Mon intérêt pour l'apprentissage statistique – le machine learning – est venu de ce que cette technique pouvait apporter dans le domaine des jeux, même si par la suite je ne me suis plus intéressé directement à ces derniers. »

Avec l'accumulation des données à traiter (les Big Data), l'apprentissage statistique est devenu un domaine essentiel de l'informatique. Quand les données dont on veut obtenir des informations – apprendre – font plusieurs téraoctets, il faut optimiser le travail. Son but ? Accélérer les algorithmes d'apprentissage. « La partie de l'algorithme

sur laquelle je travaille est en fait très courte : deux lignes de codes ; mais pour que l'algorithme apprenne le plus rapidement possible, ces lignes doivent être subtiles. » À 40 ans, à la tête d'une équipe d'Inria, à Paris, il est parvenu en quelques années à accélérer les algorithmes d'apprentissage d'un facteur dix. L'enjeu est maintenant de parvenir à accélérer des algorithmes de calcul distribué, ceux qui sont aujourd'hui utilisés sur les ordinateurs parallèles. « Et cela, on ne sait pas encore bien le faire... » Un intérêt qui ne se dément pas, tant dans le domaine académique que privé. De grandes entreprises technologiques, françaises ou américaines, ont voulu le débaucher en lui offrant de multiplier son salaire. Mais il préfère la liberté du monde académique, entouré du groupe de doctorants et de post-doctorants auxquels il se consacre avec passion. ■ Philippe Pajot

M. Schmidt, N. Le Roux et F. Bach, *Minimizing Finite Sums with the Stochastic Average Gradient*, Technical report, HAL 00860051, 2013.



© DR



© DR

Son prénom, Rand, veut dire « laurier » en arabe, comme les nombreux prix qu'il a reçus. Reconnu par le World Economic Forum de Davos, cet informaticien et entrepreneur âgé de 30 ans a été élu meilleur jeune innovateur français 2014 par la *Technology Review* du MIT. Son prénom est aussi la contraction de *random*, « aléatoire » en anglais, comme les données qu'il manipule : les mégadonnées ou Big Data. Dans ses travaux, il s'applique à obtenir des informations cohérentes et utiles à partir du nombre considérable de données générées par les objets connectés.

Fils d'une modiste et d'un financier, titulaire d'un doctorat en bio-informatique du University College de Londres, Rand Hindi est aussi passé par la Californie et le Canada pour suivre des cursus de créativité à la Singularity University, « université hors du commun » fondée par l'informaticien Ray Kurzweil. Revenu en France, il fonde Snips en 2013 et met au point Tranquillien, une application qui estime le remplissage des trains de banlieue parisienne à partir de probabilités obtenues à partir des mégadonnées de la SNCF.

Aujourd'hui, il cherche à mieux synchroniser les

informations des objets connectés, comme le font les labos de Google, Apple, Yahoo ou Microsoft. Il veut les doter d'une intelligence artificielle contextuelle, c'est-à-dire leur permettre d'apprendre par eux-mêmes pour adapter leurs actions à leur contexte. Sa dernière pépite, Snips Day, qui sortira en septembre sous Android ou iOS, dispose d'une interface intuitive qui suggère tous les services accessibles selon l'agenda et l'endroit où se trouve son utilisateur. ■

Hubert D'Erceville

R. Hindi, « Discrimination of Near-Native Decoy Structures using Statistical Potentials », Doctoral Thesis, UCL, 2012.

> Rand Hindi

Big Data



> Véronique Cortier

Sécurité des protocoles informatiques



© KAKSONEN / INRIA

Féruce d'énigmes mathématiques depuis l'enfance, Véronique Cortier, 37 ans, est fascinée par « la simplicité des problèmes posés et l'élégance des preuves ». À l'École normale supérieure de Cachan, elle choisit donc l'option mathématiques. Ses professeurs l'« obligent à suivre un cours d'informatique ». Réticente, elle découvre une discipline plus théorique qu'elle ne l'imaginait, au point de passer une thèse dans le domaine. En 2010, elle devient directrice de recherche et se voit attribuer la très sélective bourse européenne ERC qui récompense des projets de recherche originaux et prometteurs.

Au sein du Laboratoire lorrain de recherche en informatique et ses applications, Véronique Cortier améliore la sécurité et la transparence des systèmes de vote sur Internet, utilisés notamment par les professionnels ou par les Français de l'étranger pour élire leurs députés. Ces systèmes reposent sur le cryptage des bulletins de vote,

illisibles pour quiconque ne détient pas de clé. Toutefois, le cryptage ne suffit pas : des failles peuvent exister dans les protocoles informatiques eux-mêmes (l'ensemble des procédures à respecter pour échanger des informations en ligne). La chercheuse met donc au point des algorithmes qui explorent l'intimité du fonctionnement des protocoles de vote et vérifient automatiquement leur niveau de sûreté. Pour assurer l'anonymat des votants, elle développe également des systèmes de dépouillement qui utilisent un chiffrement dit « homomorphique ». Le principe ? Réaliser des opérations directement sur les données cryptées et vérifier la cohérence du résultat d'un vote, autrement dit son bon déroulement, sans avoir à lire le contenu des bulletins. Une preuve élégante et transparente de l'absence de fraude. ■ **Gautier Cariou**

V. Cortier et B. Warinschi, Conf. Programming Languages and Systems, « Computationally Sound, Automated Proofs for Security Protocols », Springer, 2005.

> Mohamed Chetouani

Robotique développementale

Mohamed Chetouani a saisi la balle au bond. « À la création de l'Institut des systèmes intelligents et de robotique, à Paris, en 2006, plusieurs laboratoires de robotique ont fusionné, raconte-t-il. Dans ce climat



© ISIR (UMR7222 UPNAC/ CNRS) - MOHAMED CHETOUBANI / YES GERMAIN

de changement, on pouvait proposer des idées nouvelles. » Mohamed Chetouani a beau être roboticien, titulaire d'une thèse en traitement du signal appliqué à la reconnaissance de la parole, il frappe à la porte de David Cohen, chef du service de psychiatrie de l'enfant et de l'adolescent, au centre hospitalier de la Pitié-Salpêtrière, à Paris. Il lui propose une collaboration autour du lien entre émotion et autisme pour identifier comment des parents peuvent communiquer avec leur enfant autiste.

Lorsque deux individus communiquent, ils signifient leur attention par des hochements de tête, des sourires, des sons. Selon Mohamed Chetouani, ce phénomène de synchronie est au cœur de l'interaction sociale. Or l'autisme est une pathologie de l'interaction sociale. Pour mieux en comprendre les mécanismes, il est donc primordial de

repérer les manifestations de cette synchronie. « Dans le service de David Cohen, les consultations sont filmées, ce qui permet d'analyser le comportement d'un enfant. Toutefois, de nombreux éléments échappent à l'œil humain, explique le roboticien âgé de 36 ans. J'ai donc eu l'idée d'utiliser des techniques de traitement du signal et d'apprentissage automatique – une branche de l'intelligence artificielle – pour repérer les signes de synchronie sur ces vidéos. » Cela lui a permis de prédire l'âge développemental – ou âge cognitif – d'enfants autistes avec précision. Un premier succès qui l'a poussé à remplacer l'adulte par Nao, un humanoïde bardé de caméras et de micros. Le recours à un robot « est une façon de contrôler les paramètres de l'interaction et donc de mieux la comprendre ». ■ **G.C.**

E. Delaherche, IEEE Transactions on Affective Computing, 3, 349, 2012.