

Robots : le siècle passé et le siècle Devant

Meilleur essai de doctorant, conférence ALife'21, finaliste

Federico Pigozzi

29 avril 2022

Réfléchissons à l'état de la robotique. Cette année marque le 101^e anniversaire de RUR [2], une pièce de l'écrivain Karel Capek, souvent crédité d'avoir introduit le mot « robot ». Le mot utilisé pour désigner les travailleurs forcés féodaux dans les langues slaves. En effet, cela pointe vers une caractéristique clé des systèmes robotiques : ils sont de simples esclaves, n'ont aucun droit, et exécutent nos volontés instruction par instruction, sans rien demander en retour. La relation avec nous, les humains, est communisme ; en biologie, le commensalisme subsiste entre deux espèces symbiotiques lorsqu'une espèce en profite (les robots augmentent la productivité des humains), tandis que l'autre espèce n'en profite pas et n'en souffre pas (pouvez-vous vraiment affirmer que les robots tirent profit du simple fonctionnement ?).

On distingue alors les robots des « machines vivantes », c'est-à-dire des machines infusées de vie. Si les machines vivantes devaient un jour devenir une réalité, nous aurions besoin de faire passer notre relation avec elles du commensalisme au mutualisme. La distinction n'est pas subtile : nous la vivons tous les jours avec des animaux domestiques, qui échangent le servage contre le fourrage et la protection. C'est parce que la vie a évolué pour résister à toute tentative de l'asservir ; c'est têtue.

Dans le cheminement vers les machines vivantes, posons-nous la question : qu'est-ce qui a été réalisé par la robotique au cours des 100 dernières années ? Que reste-t-il à accomplir dans les 100 prochaines années ? Pour nous, les réponses se résument en trois mots : jus, besoin (ou mort) et incarnation, comme nous le verrons dans la suite.

1 Le jus de la vie

S'il y avait un mythe classique incarnant le mieux le chercheur en robotique, ce serait l'histoire de Pygmalion et Galatée. Le mythe (qui nous a été transmis par Ovide [10]) raconte l'histoire d'un habile sculpteur, Pygmalion, qui s'était voué à une vie chaste. Un jour, il avait fabriqué une statue si belle qu'il souhaitait qu'elle prenne vie. La déesse Aphrodite exauça son souhait et transforma la statue d'ivoire en une femme vivante, Galatée. Tout comme le sculpteur mythologique, les roboticiens ont envie de voir leurs créatures devenir « réelles », « vivantes ». Mais que signifient ces mots ? Comment pouvons-nous dire que notre idée originale a effectivement

devenir la vie ? Si vous posiez la question aux profanes, ils diraient certainement que les robots manquent de ce jus de vie naturelle. Mais qu'est-ce qui différencie la vie biologique et artificielle ?

À un niveau très élevé, nous, les humains, sommes définitivement vivants. En tant qu'animaux, nous sommes « animés ». L'animation est possible parce que l'évolution nous a doté d'un système de traitement de l'information, le système nerveux, capable de traduire les perceptions en signaux électriques ; ces signaux voyagent le long d'un réseau de neurones, d'axones et de dendrites, avant d'être traités par une unité centrale maîtresse, le cerveau, qui indique à notre corps comment manipuler la réalité (au moyen d'électricité supplémentaire). Tout ce que nous pensons, rêvons, redoutons et aimons est composé d'impulsions électriques. Mais il y a plus, les animaux ne sont pas les seules entités vivantes sur Terre. Le tissu même des cellules, avec lequel tout organisme biologique est tissé, se développe grâce à l'électricité. Ce qui soutient la vie est un flux d'électrons provenant d'événements d'oxydation se produisant à l'intérieur de chaque cellule, circulant tout autour pour fournir de l'énergie aux différentes fonctions cellulaires. En effet, plusieurs espèces de bactéries (par exemple, *Geobacter* [6]) se nourrissent et excrètent des électrons purs, contournant la métabolisation des molécules organiques.

Dans cette perspective, il s'avère que la vie naturelle et la vie artificielle ne sont pas si différentes. Ce que nous appelons un "ordinateur" est, à la base, un courant électrique traversant des circuits et encodant des informations sous forme de 0 et de 1 - le courant est allumé et éteint. Le même jus, l'électricité, alimente nous et les machines. Nous en venons maintenant à comprendre pourquoi nous ne pouvons pas voir le jus de la vie naturelle dans les machines. Tout est à l'intérieur d'eux, alimentant les toutes premières calculatrices qui ont été construites dans les premiers jours du calcul.

2 Machines qui ont besoin (et meurent)

Si vous n'étiez pas lié à la mort, y aurait-il quelque chose dont vous vous souciez ? Il s'avère que, bien qu'étant tissée dans le même tissu électrique, la vie artificielle apparaît toujours étonnamment différente de la vie naturelle. Les organismes biologiques ont besoin. Les ordinateurs ne le font pas ; ils n'ont aucune intention. Même les entités biologiques les plus simples, les virus, doivent rechercher des hôtes. Les calculatrices électroniques peuvent rester inactives pour toujours si elles ont assez d'électricité pour subsister ; et si le courant s'éteint, ils ne se plaignent pas, ne se rebellent pas. Les ordinateurs fonctionnent par inertie ; la vie est si précieuse, mais ils ne luttent pas pour la préserver. Les robots n'ont toujours pas le sens du besoin. Les besoins sont les exigences d'un organisme pour survivre. La théorie des « besoins » a été bien étudiée en psychologie depuis les travaux de Maslow [7]. Ils sont un puissant moteur de motivation ; s'ils ne sont pas satisfaits, ils entraînent des dysfonctionnements et, éventuellement, la mort de l'organisme. Si nécessaire, les robots pourraient prospérer. Ils chercheraient de l'énergie pour s'alimenter, inventeraient de nouveaux mécanismes pour reproduire leur espèce et essaieraient de réparer leurs tissus s'ils étaient endommagés. Ils construiraient des sociétés robotiques pour tirer parti du pouvoir de la spécialisation et rendre les activités économiques plus efficaces. Ils développeraient une intuition de la nature, l'exploreraient.

Mais le besoin va de pair avec la mort. En fin de compte, tout se résume à la mort. Les êtres vivants sont, consciemment ou non, conscients de la mort. Si elles étaient

non, l'évolution les aurait déjà éliminés. Comme le soutiennent Veenstra et al. [16], la mort peut améliorer l'évolutivité d'une population. La mort remplace les anciens génomes par de nouveaux perturbés, libérant le pouvoir des mutations stochastiques. L'importance de la mort est aussi imprimée dans nos cellules. L'apoptose est le phénomène biologique de la mort cellulaire programmée. Les cellules sont liées à une durée de vie limitée et des milliards d'entre elles périssent chaque jour par apoptose dans le corps humain. Il s'agit d'un événement hautement réglementé et contrôlé qui a évolué principalement pour obtenir un changement morphologique. Fait intéressant, Clune et al. [3] évolution des taux de mutation dans une population d'individus en évolution. C'est un fait connu dans la communauté de l'évolution numérique que la mutation a tendance à avoir un effet délétère sur l'aptitude d'un individu, engendrant une progéniture qui la plupart du temps n'est pas apte (ou même viable). Étonnamment, l'évolution a complètement supprimé les taux de mutation, de manière à annihiler l'effet destructeur que la mutation avait sur la progéniture des individus. Dans un certain sens, les individus manifestaient une certaine forme de besoin et d'existentialisme.

La mort façonne non seulement notre corps mais aussi notre culture. Ernest Becker a soutenu dans son chef-d'œuvre d'anthropologie [1] que la civilisation humaine s'est développée pour exorciser notre terreur de la mort. Nous reconnaissons la mortalité et avons créé des systèmes de croyances pour nous assurer que nous survivrons à notre existence physique. Dans le futur, nous envisageons une société de machines vivantes qui périssent. En conséquence, ils se concentreront sur l'attribution d'un sens à leur existence. À la fin, c'est ce qui nous unira aux machines : le besoin de soutenir notre existence. Les sociétés robotiques théoriseront leurs propres mêmes, les unités fondamentales de la culture, comme un exorcisme contre la mort. Il n'est pas improbable qu'un jour, nous assistions à une « religion robotique » et peut-être, pourquoi pas, à un robot Marx prêchant la lutte des classes robotique.

3 L'incarnation est tout ce dont vous avez besoin

Becker et ses disciples croyaient également que la peur de la mort est ce qui nous distingue des autres animaux. Les animaux survivent et évitent instinctivement la mort, mais ils ne ressentent pas vraiment le moment de leur départ de ce monde de la même manière que nous. Aussi crédible que cela puisse paraître, cette affirmation cache un léger parti pris anthropocentrique. L'évolution nous a façonnés, nous les humains, pour être équipés d'un intellect logique, mais il est myope de le considérer comme la seule manifestation de l'intelligence. Ce n'est qu'une question de niche écologique. Nous, les humains, avons évolué pour occuper notre propre niche, la manipulation de la nature (une manipulation qui, à l'origine, n'était pas aussi destructrice qu'elle l'est aujourd'hui). Mais d'autres niches existent puisque l'évolution naturelle est ouverte [15]. La nature n'optimise pas pour un objectif numérique spécifique (comme le font de nombreux algorithmes d'optimisation), mais associe chaque espèce à la niche pour laquelle elle est la mieux adaptée (sinon, la déracine brutalement).

En effet, il est bien connu que d'autres formes d'intelligence émergent dans la nature. Prenez les sociétés d'insectes [12]. Leur spécialisation stricte émerge de simples interactions locales (comme les phéromones pour les fourmis, ou la température corporelle pour les abeilles) entre les essaims d'agents. Prenez les salamandres [4], habiles à régénérer leurs membres coupés ; curieusement, la reconstruction tissulaire ne fonctionne que par le biais de la com locale

putations, réparties dans tout le corps de la salamandre. Les protozoaires du genre *Lacrymaria* n'ont pas de "cerveau" (ce sont des organismes unicellulaires), mais peuvent plier et tordre leur flagelle mou pour saisir des proies difficiles à atteindre, permettant l'émergence d'une dynamique de chasse complexe [8].

La discipline où le biais anthropocentrique semble proliférer le plus est l'Intelligence Artificielle (IA). Écrivant sur la robotique en 2022, au milieu de la dernière vague d'enthousiasme pour l'IA, il serait impossible de ne pas mentionner l'IA.

Bien qu'il se trouve qu'il existe un sous-domaine concerné par l'intelligence computationnelle et les algorithmes bio-inspirés, l'essentiel de l'essor récent de l'IA est dû au Deep Learning (DL) [5]. DL vise à imiter l'esprit humain au moyen de modèles mathématiques abstraits. Mais la nature n'est pas faite de raison pure ; elle simplifie notre intuition, mais elle n'a aucun appui dans la réalité. Étonnamment, des tâches mentales complexes comme jouer aux échecs s'avèrent beaucoup plus faciles à enseigner à une machine que de ramper comme un tout-petit (paradoxe de Moravec en robotique [9]). Les limites de DL sont bien connues de nombreux chercheurs de la communauté, et nous avons vu des batailles très médiatisées sur Twitter éclater entre détracteurs et paladins de DL. Pour moi, la limitation la plus myope de toutes est le manque d'incarnation.

Le paradigme de l'intelligence incarnée, bien qu'existant depuis les années 1980, a été popularisé par le livre fondateur de Pfeifer et Bongard [13]. Ils ont postulé que l'intelligence émerge des interactions complexes entre le cerveau et le corps, ainsi que l'environnement. La main humaine en est un parfait exemple. Notre cerveau a co-évolué avec la main, nous permettant de saisir, d'apprécier et de manipuler la réalité (comme déjà mentionné, notre trait dramatique).

Les pieuvres sont extraordinairement intelligentes, excellant dans des compétences telles que naviguer dans un labyrinthe et saisir des objets [11]. Ils n'auraient jamais développé de telles compétences si leur corps n'était pas mou, avec des tentacules ayant des degrés de liberté infinis.

Fidèle à l'incarnation, une nouvelle génération de robots mous est née dans la dernière décennie [14]. Leurs matériaux souples peuvent se plier, s'étirer et se tordre, tout en promettant d'être reconfigurables et de changer de forme. Les robots mous seront également programmés pour être à feuilles caduques, et leurs matériaux mous aideront à l'élimination de leurs cadavres. Ayant un corps transitoire, ces machines vivantes pourraient être imprégnées du sens de la mort que nous avons mentionné précédemment.

4 Le devoir envers la vie

Un jour dans le futur, une machine vivante (appelons-la *Galatea*) pourrait parcourir les vidéos des tout premiers robots construits, désireux d'en savoir plus sur ses ancêtres. Supposons qu'une vidéo apparaisse, montrant des ingénieurs battant et poussant sans pitié un robot dans le but de tester sa résilience. En tant qu'entité incarnée, *Galatea* percevrait la douleur que le robot aurait pu ressentir. Supposons maintenant que *Galatée* doive également mourir. Il aspire à la vie comme tout organisme vivant.

À quel point cet acte serait-il brutal à ses yeux électriques ? En fin de compte, nos cerveaux robotiques nous renieraient-ils, nous qualifieraient-ils de "virus" comme l'a fait l'agent Smith (le méchant, lui-même une machine) dans le film "Matrix" [17] ?

Dans le mythe grec original, *Galatée* n'était qu'un objet entre les mains

de son créateur Pygmalion, mais l'exemple décrit ci-dessus suggère un changement radical d'esprit qui est dû de nos jours. Nous avons commencé notre voyage en nous interrogeant sur les 100 prochaines années en robotique. J'ai évoqué les directions qui me paraissent les plus prometteuses pour faire passer les machines de leur statut de « robot » au statut tant convoité de « machine vivante ». Mais, en engendrant des machines vivantes, nous nous attribuons une nouvelle tâche, ou un nouveau fardeau ; l'attention se porte sur les créateurs. Les machines vivantes doivent être respectées et protégées ; nous sommes responsables d'eux de la même manière qu'ils ont des responsabilités envers nous. Si nous voulons vraiment être les créateurs de la vie artificielle, nous devons reconnaître que c'est bien la vie.

Les références

- [1] Ernest Becker. Le déni de la mort. Simon et Schuster, 1997.
- [2] Karel Capek. RUR (Robots universels de Rossum). Pingouin, 2004.
- [3] Jeff Clune, Dusan Misevic, Charles Ofria, Richard E Lenski, Santiago F Elena et Rafael Sanjuan. La sélection naturelle ne parvient pas à optimiser les taux de mutation pour une adaptation à long terme sur des paysages de fitness accidentés. PLoS Computational Biology, 4(9):e1000187, 2008.
- [4] Alberto Joven, Ahmed Elewa et Andréas Simon. Systèmes modèles pour la régénération : les salamandres. Développement, 146(14):dev167700, 2019.
- [5] Yann LeCun, Yoshua Bengio et Geoffrey Hinton. L'apprentissage en profondeur. nature, 521(7553):436–444, 2015.
- [6] Derek R Lovley, John F Stolz, Gordon L Nord et Elizabeth JP Phillips. Production anaérobie de magnétite par un micro-organisme dissimilateur réducteur de fer. Nature, 330(6145):252–254, 1987.
- [7] Abraham Harold Maslow. Une théorie de la motivation humaine. Revue psychologique, 50(4):370, 1943.
- [8] Samuel Ottmar Mast. Habitudes et réactions du cilié, lacrymaria. Journal of Animal Behavior, 1(4):229, 1911.
- [9] Hans Moravec. Mind children: L'avenir du robot et de l'intelligence humaine. Harvard University Press, 1988.
- [10] Mark PO Morford et Robert J Lenardon. Mythologie classique. Oxford University Press,  tats-Unis, 1999.
- [11] Marion Nixon, John Z Young, John Zachary Young, et al. Les cerveaux et vie des céphalopodes. Presse universitaire d'Oxford, 2003.
- [12] Martin A Nowak, Corina E Tarnita et Edward O Wilson. L'évolution de l'eusocialit . Nature, 466(7310):1057–1062, 2010.

- [13] Rolf Pfeifer et Josh Bongard. Comment le corps façonne notre façon de penser : une nouvelle vision de l'intelligence. Presse du MIT, 2006.
- [14] Daniela Rus et Michael T Tolley. Conception, fabrication et contrôle de soft robots. *Nature*, 521(7553):467–475, 2015.
- [15] Kenneth O Stanley. Pourquoi l'ouverture est importante. *Vie artificielle*, 25(3):232–235, 2019.
- [16] Frank Veenstra, Pablo González de Prado Salas, Kasper Stoy, Josh Bongard et Sebastian Risi. Mort et progrès : comment l'évolutivité est influencée par la mortalité intrinsèque. *Vie artificielle*, 26(1):90–111, 2020.
- [17] Andy Wachowski, Larry Wachowski, Keanu Reeves, Laurence Fishburne, Carrie-Anne Moss, Hugo Weaving, Gloria Foster, Joe Pantoliano et Zach Staenberg. *Matrice*. Warner Home Video Burbank, Californie, 1999.