

Chapitre 1

L'observation d'IA

Hier encore, j'entendais un « spécialiste » tenter de définir l'IA de façon informelle, sans visiblement en connaître les rouages. Ce qu'il disait était au mieux inexact : pour tenir un discours rassurant, il affirmait que les connaissances de l'IA étaient intrinsèquement limitées à celles que l'homme lui avait fournies, que l'IA ne ferait finalement que mettre en œuvre une expertise ou des comportements produits par des informaticiens et que, de la sorte, elle n'aurait pas réellement d'autonomie, sans même parler de conscience. Cela fait trente ans que nous savons réaliser de telles entités intelligentes autonomes. Or, dans l'IA comme dans la vie, tout n'est pas déterminé et reproductible, tant s'en faut. L'IA introduit de l'aléatoire, un peu comme quand vous tirez une carte au hasard dans une pioche : c'est essentiel pour engendrer de l'autonomie et de la créativité. Les informations utilisées par l'IA ont certes souvent été produites par l'homme – c'est le cas par exemple des photos ou des textes numérisés, bien qu'un nombre croissant de données soit produit en continu par des caméras stationnaires ou embarquées dans des machines et des satellites. L'homme n'a d'ailleurs pas les moyens cognitifs d'en prendre connaissance. L'IA, elle, peut appréhender beaucoup plus d'informations que l'homme – c'est sans commune mesure. Ainsi, elle peut assimiler, s'appropriier une connaissance produite globalement par l'humanité, ce qui n'est pas à notre portée. Mais arrêtons là cette réflexion : la poursuivre, surtout en dehors de la réalisation concrète d'un logiciel ou d'un robot, nous conduirait rapidement à un débat épistémologique, ce qui n'est pas le propos de ce livre. D'autant que pour expliquer ce qu'est l'IA, nous pouvons procéder autrement, plus simplement : observons et réfléchissons.

1^{er} exercice

Des IA sont déjà présentes dans votre quotidien, vous êtes même peut-être amené à vous en servir. Réfléchissez et notez sur une feuille quelques exemples.

Réponse – Peut-être avez-vous pensé aux assistants vocaux des smartphones et aux enceintes vocales connectées tels que Siri ou Alexa, à la reconnaissance faciale sur votre téléphone, à l'assistant Google, à votre système de navigation GPS qui planifie au mieux vos trajets, aux traducteurs automatiques en ligne – notamment Google Translate –, aux aspirateurs ou tondeuses autonomes, à la reconnaissance de l'écriture manuscrite pour trier le courrier, à la détection automatique des spams dans votre messagerie électronique, au trading boursier, aux robots d'exploration envoyés sur Mars... ? Toutes ces réponses sont correctes : ces systèmes utilisent effectivement de l'IA.

Le top 10 d'IA impressionnantes

Au-delà des exemples mentionnés lors du 1^{er} exercice, pour vous persuader de la réalité de l'IA, je vous propose de parcourir le top 10 d'une sélection d'IA déjà existantes dans différents secteurs d'activité. Prendre connaissance de ces réalisations est un bon moyen d'aborder intuitivement le sujet, de susciter l'étonnement et de prendre conscience des progrès de l'IA. Des vidéos accessibles sur le web montrant ces innovations en action constituent d'ailleurs un bon support de cours pour enseigner l'IA.

2^e exercice

À l'issue de chacun des dix récits suivants, essayez de déterminer où réside l'IA dans chaque cas présenté. Au fur et à mesure, vous élaborerez ainsi une première fiche signalétique de l'IA.

Pour vous laisser le temps de la réflexion, les réponses sont données à la fin de l'exposé de l'ensemble des récits. Aidez-vous de la grille suivante en cochant différentes facettes de l'IA observées sur chacun des exemples. La grille est renseignée pour le premier exemple. Les propriétés observées uniquement de façon partielle sont indiquées entre parenthèses.

Propriétés observées	#1	#...
<i>Apprendre et généraliser à partir d'exemples</i>	√	
<i>Raisonnement sur des connaissances pour résoudre des problèmes</i>		
<i>Dialoguer en langage naturel</i>	(√)	
<i>Disposer d'un système de vision par ordinateur</i>	(√)	
<i>Agir en stratégie</i>		
<i>Se faire passer pour une personne</i>		
<i>Créer des contenus artistiques</i>	√	
<i>Être l'objet d'empathie</i>		
<i>Se mouvoir, décider et agir de façon autonome</i>		
<i>S'organiser collectivement</i>		

#1 – Sur un air des Beatles – Commençons par écouter un peu de musique. La chanson ressemble à un titre inédit des Beatles réarrangé récemment. Cette chanson pop sortie en 2016 sous le label Sony a pour titre *Daddy's Car*¹. Visiblement, la voix n'est pas celle de Paul McCartney. Elle compte pourtant plus de 2 millions de vues. Peut-être préféreriez-vous la chanson *Love Sick*² de Taryn Southern, dont le style est un peu plus électrique, le refrain facile à retenir ? En supposant que ces titres musicaux vous semblent imprégnés par une IA, sauriez-vous imaginer pourquoi ? Dans la même veine, une nouvelle littéraire parue fin 2018, *1 the Road*³,

-
- 1 Voir « *Daddy's Car: A Song Composed by Artificial Intelligence – In the Style of The Beatles* », 2016, <http://www.youtube.com>.
 - 2 Voir « *Lovesick: Composed with AIVA Artificial Intelligence – Official Video with Lyrics, Taryn Southern* », 2018, <http://www.youtube.com>.
 - 3 Voir « *Automatic On The Road – Gonzo AI Robot Writes Road Trip Novel* », 2018, <http://www.youtube.com>.

raconte un road-trip à travers les États-Unis. Les données sont capturées par une caméra, un GPS et un microphone qui sont embarqués dans une limousine. Le récit est écrit et imprimé au cours du voyage, son contenu est imagé, son sens parfois déroutant : « 11:36:44 le ciel est sombre et les pierres sont toujours là, les lumières sont immobiles et vides. Les gens sont déjà debout autour des murs. » Quelle est selon vous la contribution de l'IA dans cette nouvelle ? Intuitivement, comment procède-t-elle ?

#2 – Le service de robots-taxis Waymo One – Waymo est une société qui développe et industrialise le projet de voiture autonome expérimenté par Google au début des années 2010. Ce n'est pas une fiction : le service de taxi sans chauffeur Waymo One⁴ a été ouvert pré-commercialement en Arizona en décembre 2018. Bienvenue dans ce nouveau mode de transport ! Une voiture arrive à un carrefour ; sur son toit, en lieu et place des sirènes des voitures de police, est disposée une rangée de caméras et de radars. Prenez place à l'arrière du véhicule. Vous êtes seul, pas de chauffeur à bord. La voiture est en conduite autonome et se déplace dans le trafic urbain. Sur un écran, un peu comme quand vous suivez d'ordinaire vos manœuvres en marche arrière avec les caméras de recul, vous pouvez voir le champ de vision de la voiture, la détection des autres véhicules circulant sur la route, ceux stationnés sur la chaussée ou à proximité de carrefours, ainsi que les piétons présents sur les trottoirs. Tous les déplacements de ces objets sont suivis en permanence, avec un calcul précis à tout moment de leur vitesse et de leur direction. La voiture identifie également les panneaux et feux de signalisation. Elle s'arrête à un feu rouge puis reprend son parcours, manœuvre dans un parking, s'adapte à toutes sortes de situations de circulation. En 2020, l'usage de Waymo One reste confidentiel, quelques dizaines de véhicules seulement circulent dans la banlieue de Phoenix en Arizona. Le millier de clients que compte l'offre ont signé une clause de confidentialité pour ne pas divulguer d'informations

.....
 4 Voir « Waymo's Fully Self-Driving Cars Are Here », 2017, et « Waymo 360° Experience: A Fully Self-Driving Journey », 2018, <http://www.youtube.com>.

sur cette innovation. Dans la phase de mise au point, un conducteur passif restait présent dans le véhicule par précaution, sans intervenir ni converser avec les passagers. Fin 2019, les clients ont accepté des conditions générales d'utilisation prévoyant son retrait. Depuis, certains de ces robots-taxis commencent à circuler sans chauffeur. Ne faut-il pas faire preuve d'une certaine forme d'intelligence, de sens pratique, d'une capacité d'assimilation de connaissances pour conduire ainsi en zone urbaine, s'adapter rapidement à autant de situations, anticiper les comportements des autres, assimiler le Code de la route ?

#3 – Le robot Kiva et son jumeau Quicktron⁵ – Une nouvelle population de robots opère dans les entrepôts des deux leaders mondiaux du commerce électronique, Amazon et Alibaba. Leurs robots respectifs ont des comportements très similaires. La solution d'Amazon, Kiva, a commencé à être déployée en 2012 ; de plus en plus d'entrepôts du groupe sont ainsi organisés. Avec 150 000 unités, la population de robots Kiva est trente fois plus importante que celle des Quicktron. Les produits sont stockés sur des centaines d'étagères uniformes. Des robots mobiles assez plats se glissent sous les étagères visiblement lourdes, les soulèvent et les déplacent. Lorsque des salariés préparent une commande, ils n'ont plus à parcourir les allées de l'entrepôt : les robots se chargent de trouver les étagères où sont stockés les produits demandés et transportent l'ensemble de l'étagère jusqu'aux préparateurs de commandes. Ensuite, les robots retournent ranger leur étagère là où il y a de la place. Des robots en mouvement peuvent servir plusieurs commandes. Plusieurs centaines de robots circulent et se croisent dans les entrepôts en s'aidant de marquages au sol ; ils évitent les collisions, s'arrêtent pour laisser passer des manutentionnaires. Imaginez que vous soyez l'un de ces robots mobiles : quelles sont les tâches à accomplir pour lesquelles vous devriez faire preuve d'intelligence ?

.....
5 Voir « Amazon's Kiva Robots Vs Alibaba's Quicktron Robots – Battle of Warehouse », 2018, <http://www.youtube.com>.

#4 – Le concept de boutique Go Store d'Amazon⁶ – Nous voici dans un magasin bien réel et sans caisse, ouvert par Amazon. Le paiement des achats ne se fait pas au bon vouloir des clients : lorsqu'ils entrent dans la boutique, ils sont identifiés grâce à leur mobile en passant devant un portique ; par la suite, des caméras situées au niveau du plafond les reconnaissent, suivent en continu leurs mouvements et analysent automatiquement les produits dont ils prennent possession. Les clients ressortent avec leurs achats sans passer par une caisse pour les scanner et les régler : la facture des produits qu'ils emportent vient de leur être envoyée. Le client s'est servi, n'a rien scanné et est reparti. Il est facile de voir le gain de temps apporté par cette innovation : plus besoin d'attendre à la caisse, et plus besoin de mobiliser du personnel sur cette tâche. Le premier Go Store, créé à Seattle en 2017, a ouvert commercialement après une année de test. En juillet 2019, 14 magasins de ce type ont suivi et Amazon prévoit d'en implanter 3 000 à l'horizon 2021 en étendant le concept aux aéroports et campus universitaires. Selon vous, où est l'IA dans ce cas de figure ? Que réalise-t-elle ?

#5 – La flotte de 1 374 drones d'EHang⁷ – L'événement se déroule lors d'une soirée en Chine, où une foule s'est rassemblée pour assister au spectacle. Plus d'un millier de drones, 1 374 exactement, sont au sol prêts à décoller. Ils se placent en position stationnaire dans le ciel à moins de 3 m les uns des autres. Ensuite, chacun s'allume avec une couleur donnée, ce qui permet d'afficher des messages ou des dessins dans le ciel de façon assez grandiose. Le public s'enthousiasme. En se déplaçant de façon coordonnée, ou en allumant d'autres diodes, les drones donnent du mouvement à ces impressions lumineuses. Est-il utile de préciser que ces drones ne sont pas pilotés à distance par un millier de personnes ? C'est un logiciel central qui coordonne leur vol. Selon vous, quelles sont les problèmes à aborder pour réaliser un tel plan de vol ?

6 Voir « Introducing Amazon Go and the World's Most Advanced Shopping Technology », 2016, <http://www.youtube.com>.

7 Voir « EHang Egret's 1374 Drones AAVS Dancing over the City Wall of Xi'an, Achieving the Guinness World Records », 2018, <http://www.youtube.com>.

#6 – Une famille d’humanoïdes à Boston – Les robots de la société Boston Dynamics⁸ permettent d’apprécier les progrès accomplis par la robotique pour réaliser des robots qui nous ressemblent, des humanoïdes. Cette société créée en 1992 est issue du Massachusetts Institute of Technology (MIT). Elle a été rachetée par Google en 2013 puis par le Japonais SoftBank en 2017. Ses robots sont des prototypes réalisés en quelques exemplaires qui se déplacent sur deux jambes ou quatre pattes. Un robot de taille humaine qui semble sorti de *Star Wars* marche dans un bâtiment, il ouvre une porte, sort et poursuit sa balade dans une forêt enneigée. Un autre robot d’allure semblable s’efforce de soulever une lourde charge, un homme l’en empêche, le robot recommence, l’homme le fait chuter, le robot se relève. On le voit sauter à pieds joints sur des obstacles avant de réussir à accomplir un salto avant. Un autre robot évoque un mammifère à quatre pattes : il s’agit du quadrupède SpotMini, commercialisé depuis 2019. Il a un long cou et exécute des pas un peu comme un cheval dans un manège ; avec sa « gueule », il saisit et apporte des objets. Comment ne pas ressentir de l’empathie pour ces robots dans certaines situations ? Ils sont habiles, déterminés, mais sont-ils intelligents ? Ne dit-on pas que le fait de se redresser et de marcher debout a joué un rôle dans le développement de l’homme ? Peut-être voit-on là une corrélation ?

#7 – Dans l’esprit de Léonard de Vinci – Raffaello D’Andrea⁹ est connu pour avoir créé en 2008 les robots Kiva utilisés par Amazon ; il réalise depuis des expérimentations mettant en œuvre des drones tous plus habiles les uns que les autres. Un peu comme au badminton, deux drones se renvoient une balle avec adresse ; d’autres s’affairent à construire une tour, portant des briques et les plaçant les unes au-dessus des autres, montant ainsi un mur rang après rang. Ces inventions robotiques sortent quelque peu du cadre convenu de l’IA. Tout dépend en fait de la façon dont la

8 Voir « Atlas, The Next Generation », 2016, et « Spot Launch », 2019, <http://www.youtube.com>.

9 Raffaello D’Andrea, « Dynamic Works », 2018, Vimeo, <https://raffaello.name>.

coordination s'opère. Un simple automate serait-il capable de se coordonner aux autres de la sorte ?

#8 – Le robot Today passe l'examen d'entrée à l'université¹⁰ – Au Japon, pour accéder à l'université à l'issue du baccalauréat, les étudiants sont soumis à une sélection. L'entrée à l'université de Tokyo est d'ailleurs particulièrement sélective. Pendant trois années consécutives, des chercheurs ont entraîné le robot Today et lui ont fait passer cet examen. Équipé d'un bras articulé, il compose une rédaction, résout divers problèmes. Today s'est révélé meilleur que 80 % des candidats ; cela ne lui suffit toutefois pas à être admissible à l'université. Si le fait qu'il surclasse la majorité des étudiants en mathématiques était prévisible, cela s'avère plus surprenant pour des exercices de rédaction littéraire. Une des hypothèses avancées est qu'avec Internet, les lycéens ont développé une pratique rédactionnelle qui se fonde sur une lecture en diagonale de multiples sources d'information : à ce jeu-là, ils sont battus par Today ! Les étudiants ne devraient-ils pas avoir recours à d'autres pratiques, utiliser d'autres capacités cognitives pour rester compétitifs ? C'est la question qu'étudient désormais les fondateurs de Today. Quelles capacités intellectuelles Today maîtrise-t-il ?

#9 – Le jour où AlphaGo a battu le champion du monde au jeu de go¹¹ – En mars 2016, AlphaGo bat par 4 à 1 le Coréen Lee Sedol, détenteur d'une dizaine de titres mondiaux. La partie, retransmise en ligne, est regardée par plus de 200 millions de personnes. AlphaGo y joue des coups innovants. En mai 2017, il affronte le numéro un mondial, le Chinois Ke Jie, en direct à la télévision. Lors de la partie, les gros plans sur le visage du champion parlent d'eux-mêmes. Vient un moment où il prend conscience qu'il est surpassé. La retransmission est alors interrompue en Chine, le public n'assistera pas à cette défaite. Pour les Chinois, détenir le titre de champion du monde dans cette discipline est une fierté

.....
10 Voir *National Institute of Informatics News, Today Robot Project*, n° 46, juillet 2013, et « Interview with Noriko Arai, Today Robot Project Director », 2016, <http://www.youtube.com>.

11 Voir « Google's AI AlphaGo Is Beating Humanity at Its Own Games (HBO) », 2017, <http://www.youtube.com>.

nationale ; le go est par excellence un jeu où il faut faire preuve de raisonnement et d'intelligence stratégique. Et il s'avère plus complexe que les échecs, dans la mesure où le nombre de stratégies possibles est plus important : même un programme informatique à forte capacité de calcul ne peut explorer, à chaque fois qu'il a la main, l'issue de tous les coups possibles. Cet événement a suscité une prise de conscience dans cet État sur la nécessité d'investir et de parier sur l'IA. Avant de jouer cette partie, AlphaGo, basé sur des techniques d'apprentissage profond (*deep learning*), avait intégré des stratégies gagnantes en analysant le déroulement et l'issue d'un grand nombre de parties de go jouées par le passé. Personne ne peut dire, pas même ses créateurs, quelle est la stratégie décisionnelle que le programme a élaboré pour gagner. Il a en quelque sorte lui-même codé son programme décisionnel à partir de cette multitude d'observations. Ce match n'est pas sans rappeler un autre événement qui avait marqué les esprits vingt ans plus tôt, la victoire de la machine d'IBM Deep Blue sur le champion du monde d'échecs, Garry Kasparov. À une différence près toutefois, cette victoire avait été essentiellement obtenue grâce à la performance de l'ordinateur ; il y avait à l'époque peu ou pas d'IA. Ne dit-on pas que les champions d'échecs, et *a fortiori* ceux de go, sont intelligents ? Que pensez-vous de ceux qui les ont défaits ?

#10 – L'assistant Google appelle un restaurant et un coiffeur – Les assistants conversationnels vocaux sont des programmes informatiques avec lesquels vous interagissez de vive voix en « langage naturel », par exemple en anglais, ou en français, comme si vous vous adressiez à des personnes réelles. Les progrès récents dans ce domaine sont surprenants. Les enregistrements des conversations téléphoniques entre l'assistant Google et un restaurateur puis un coiffeur parlent d'eux-mêmes¹². L'assistant appelle pour réserver une table et prendre un rendez-vous, une

.....
 12 Voir « Google Duplex: A.I. Assistant Calls Local Businesses to Make Appointments » et « Google Assistant Calling a Restaurant for a Reservation », 2018, <http://www.youtube.com>.

discussion s'engage sur les disponibilités. L'assistant s'exprime avec des intonations nuancées, des hésitations très humaines. Visiblement, la personne à l'autre bout du fil ne s'aperçoit pas qu'il s'agit d'une machine. Dans les deux cas de figure, au cours de la conversation, l'interlocuteur humain apparaît plus confus que l'assistant pour mener à bien la prise de rendez-vous ou la réservation de la table et suivre le fil de la discussion. Ces deux exemples de situations montrent les progrès considérables réalisés par certaines machines pour interagir en langage naturel. Nous verrons par la suite que cet assistant relève un défi essentiel de l'IA. Sauriez-vous dire lequel ?

Réponse - Une première fiche signalétique

Ces quelques exemples nous ont permis d'observer plusieurs facettes de l'IA. La fiche suivante en donne un résumé. Si un logiciel ou un robot possède une ou plusieurs des capacités suivantes, alors il y a fort à parier que ce soit une IA.

Propriétés observées	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10
<i>Apprendre et généraliser à partir d'exemples</i>	√	√		√					√	√
<i>Raisonner sur des connaissances pour résoudre des problèmes</i>		√	√			√		√		
<i>Dialoguer en langage naturel</i>	(√)	(√)						√		√
<i>Disposer d'un système de vision par ordinateur</i>	(√)	√		√		(√)				
<i>Agir en stratégie</i>									√	
<i>Se faire passer pour une personne</i>										√
<i>Créer des contenus artistiques</i>	√									

Propriétés observées	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10
Être l'objet d'empathie						√				(√)
Se mouvoir, décider et agir de façon autonome		√	(√)		(√)	√	√			
S'organiser collectivement		(√)	√		√		√			

Plusieurs facettes mises en évidence

Ce top 10 est une photographie de la situation en 2020. Je vous invite à suivre son évolution : cela permet d'apprécier les progrès réalisés. Revenons sur ces exemples pour établir une fiche signalétique intuitive de plusieurs facettes de l'IA.

#1 – Le premier exemple évoque des musiques coproduites par des IA diffusées respectivement en 2016 et 2018. Le style des Beatles est appris à partir de chansons existantes. L'IA est, dans ce cas, force de propositions, mais à ce jour elle n'est pas capable de produire seule des tubes : la sélection des morceaux et l'arrangement restent humains. Ceci dit, peu de gens sont en mesure de le faire, car cela nécessite une indéniable fibre artistique. On peut également citer l'exemple d'une IA qui a créé une fin à la *Symphonie n° 8* de Franz Schubert, inachevée, en s'inspirant du début. Des expérimentations du même type ont été réalisées en littérature et en peinture¹³. Pour la littérature justement, le récit *1 the Road* montre la capacité de l'IA à improviser des textes, écrits automatiquement à partir d'informations captées par un système de vision par ordinateur, la reconnaissance vocale de propos tenus ici et là, et des mécanismes d'apprentissage profond basés sur des réseaux de neurones permettant la composition de textes. Précisons au passage que le réalisateur, Ross Goodwin, a été soutenu par le programme Artists + Machine Intelligence (AMI) de Google. Des mots ou phrases entendus au cours d'un road-trip

.....
 13 Pierre-Nicolas Schwab, « L'intelligence artificielle : partenaire ou remplaçant dans les arts ? », IntoTheMinds, 20 mars 2019, <http://www.intotheminds.com>.

servent donc de point de départ pour orienter la génération aléatoire de phrases significatives. La solution est fondée sur des réseaux neuronaux récurrents dotés d'un mécanisme de mémoire à long terme (LSTM). Dans un même ordre d'idées, l'environnement de Xiaoice de Microsoft est à l'origine en 2017 d'un recueil de poèmes ; le résultat est un peu décousu. L'IA s'avère ainsi capable, comme le montrent ces exemples, d'apprendre à reproduire les caractéristiques d'un style artistique et d'appliquer ce style à d'autres compositions. Pour apprendre cependant, l'IA requiert beaucoup de données. Même si nous les fragmentons en morceaux pour disposer d'un plus grand nombre d'éléments d'apprentissage, nous ne disposons pas de milliers de compositions des Beatles. La littérature fournit davantage de données, vu la quantité de textes. Des machines apprenantes savent au demeurant déjà produire des articles sur l'actualité.

#2 – Le véhicule autonome dans sa globalité peut être perçu comme une IA à quatre roues. Il est capable de percevoir, de décider, d'agir de façon intentionnelle et réflexe en toute autonomie. Plusieurs fonctions du véhicule s'appuient sur des technologies d'apprentissage et de planification, à commencer par le module de vision par ordinateur. Il procède à la détection des autres entités, à un instant donné, dans son champ de vision : les objets sont identifiés et localisés, leur contour est discerné. Ce module effectue également le suivi des objets et analyse leurs mouvements, leur vitesse, leur sens de déplacement. D'autres composants calculent la trajectoire du véhicule autonome, procèdent à la reconnaissance et à la prise en compte des panneaux signalétiques dans toutes sortes de situations, dialoguent avec les passagers en langage naturel, planifient le parcours. La puissance informatique embarquée dans ces véhicules correspond à plusieurs PC – le coffre est rempli d'électronique – et motive le développement de processeurs de calcul très performants qui vont faire progresser l'IA.

#3 – Des populations de plusieurs centaines de robots se meuvent dans les entrepôts d'Alibaba et d'Amazon. Ils prennent en charge les commandes, sont amenés à se croiser. Chaque robot est un agent. Dans le jargon de l'IA, les spécialistes parlent de systèmes multi-agents. L'IA réside dans l'autonomie de ces robots et dans leur capacité à s'organiser collectivement : ils se répartissent le traitement de commandes,

un seul robot prenant en charge l'acheminement d'un type de produit pour une commande donnée ; ils sont capables d'éviter les collisions, de trouver des étagères rangées n'importe où dans l'entrepôt, à des emplacements non fixes. Les préparateurs de commandes n'ont plus à se déplacer jusqu'aux étagères : ce sont les étagères qui viennent à eux. Cet exemple montre une robotisation de la préparation matérielle de commandes qui n'est pas sans rappeler celle opérée dans les chaînes industrielles automobiles depuis des dizaines d'années. Si ce n'est que, désormais, les robots sont mobiles.

#4 – La boutique sans caisse met en œuvre des techniques d'IA capables de reconnaître des individus et de suivre leurs actions en temps réel à partir du traitement d'images captées par des caméras.

#5 et #7 – Une flotte de plus d'un millier de drones volant en escadrille constituerait à n'en pas douter une arme redoutable. Le spectacle réalisé par EHang doit donc être considéré avec sérieux. Une des difficultés consiste à coordonner le plan de vol d'une telle flotte. L'IA a développé différentes solutions plus ou moins centralisées pour coordonner des mouvements collectifs de systèmes multi-agents : dans une configuration décentralisée, chaque drone ajusterait son vol de façon autonome en fonction des drones proches de lui, sa position s'établissant ainsi de façon relative à celle des autres ; chacun a des buts – *a minima* des tâches – à réaliser qui lui sont propres. Dans le cas présent, il existe un coordinateur central, ce qui nécessite une autonomie moindre des agents.

#6 – Nous prêterions volontiers davantage d'intelligence aux robots de Boston Dynamics qui reproduisent notre démarche et celle de nos fidèles compagnons qu'aux robots équipés de roues. Nous éprouvons d'ailleurs par identification de l'empathie pour ceux-ci lorsqu'un humain les malmène à des fins expérimentales. L'habileté de ces robots repose sur des modules de contrôle assez classiques qui opèrent des séquences d'opérations prédéfinies et emploient jusqu'à présent peu de technologies d'IA, à l'exception des traitements opérés par leurs systèmes de vision et de planification d'actions.

#8 – Today, le robot candidat à l'université de Tokyo, utilise des techniques d'IA antérieures à l'apprentissage profond. Elles permettent de formaliser les problèmes, fixer des objectifs, plus communément appelés des buts ou des intentions, et construire un plan

d'actions pour les accomplir. Today intègre des capacités de raisonnement centrées sur la résolution de problèmes, probablement des mécanismes de déduction ainsi qu'une base de connaissances. Celles-ci, exprimées de façon assez formelle, lui ont été fournies au préalable. Il lui manque néanmoins des capacités d'apprentissage pour progresser au fur et à mesure de ses expériences.

#9 – Les jeux de go et d'échecs impliquent d'élaborer des stratégies, d'anticiper les effets de chaque déplacement avec plusieurs coups d'avance. Ils sont donc perçus comme l'apanage d'une certaine forme d'intelligence, où excellent les intellectuels. Les règles du jeu étant faciles à décrire et à formaliser sans ambiguïté, ces jeux ont depuis le début de l'IA constitué une sorte de test de QI des IA. Les succès face aux champions du monde d'échecs et de go ont eu de ce fait un impact retentissant. Peut-on réellement gagner à ces jeux sans faire preuve d'intelligence ? Si cela est possible dans le cas des échecs, ça ne l'est définitivement pas dans le jeu de go. Alors que la victoire de Deep Blue en 1996 était fondée avant tout sur des performances de calcul, celle d'AlphaGo s'appuie sur des méthodes d'apprentissage profond (*deep learning*). Les stratégies gagnantes sont apprises à partir d'un grand nombre d'exemples de parties. Étant donné le nombre de situations possibles dans ce jeu, AlphaGo rencontre des cas de figure auxquels il n'a jamais été confronté au cours de sa phase d'apprentissage. Son intelligence réside dans sa capacité à généraliser des prises de décision à partir d'exemples donnés. L'évolution AlphaGo Zero, sa version améliorée produite par la suite, a montré des performances accrues : l'IA s'est entraînée contre elle-même sans avoir connaissance de parties jouées entre humains. Apprendre par soi-même, ne serait-ce pas là encore faire preuve d'intelligence ?

#10 – La capacité de l'homme à parler a souvent été présentée comme la preuve de la suprématie de son intelligence sur d'autres espèces. Des expérimentations ont d'ailleurs testé l'aptitude de singes, comme le chimpanzé, à apprendre à s'exprimer par les gestes dans un langage symbolique¹⁴. Les résultats étaient au demeurant assez

.....
 14 Eugene Linden, *Ces singes qui parlent*, traduit de l'américain par Jean-Pierre Carasso et Denis Authier, Éditions du Seuil, 1979.

concluants. Un test fondamental de l'IA imaginé par Alan Turing dès les années 1950 consiste à ne pas pouvoir discerner une machine d'un être humain au cours d'un dialogue. Ce test est passé avec succès par l'assistant de Google lors des échanges téléphoniques avec les accueils d'un restaurant et d'un salon de coiffure : à aucun moment les réceptionnistes ne semblent s'apercevoir qu'ils sont en présence d'une machine. Certaines machines sont donc en passe de tenir une conversation de façon pertinente. L'assistant de Google met en œuvre plusieurs traitements d'IA nécessaires au traitement de dialogues en langage naturel. La phase de reconnaissance vocale retranscrit ce qui est dit à partir du signal vocal reçu. Le sens des phrases et les réponses appropriées sont déterminés par des algorithmes de *machine learning*. Ils intègrent parfois une phase d'analyse grammaticale. La réponse est formulée par un module de synthèse de la parole.