

IA et Robotique

Table des matières

1. Démystifier l'intelligence artificielle.....	2
1.1. Le courant symbolique.....	2
1.2. Le courant numérique.....	2
1.3. Les intelligences artificielles.....	2
1.4. Le test de Turing.....	3
2. Découvrir la robotique.....	3
2.1. Introduction.....	3
2.2. La diversité de robots.....	4
2.2.1. L'autonomie.....	4
2.2.2. L'adaptation.....	4
2.2. Les grandes familles d'utilisation.....	5
2.2.1. Le travail et l'exploration.....	5
2.2.2. L'assistance à la personne.....	6
2.2.3. Outil de pensée.....	6
Glossaire.....	7

Certaines personnalités (Bill Gates, Elon Musk, Stephen Hawking...) ont lancé un appel afin de mettre en garde contre les dangers de l'intelligence artificielle. Terminator et Skynet vont-ils détruire l'humanité ? Visiblement, la question ne se pose pas comme cela... De plus, l'utilisation des robots ne se limite plus à des espaces industriels contrôlés. Ils sont intégrés dans nos espaces quotidiens, et y interagissent de manière plus ou moins prédictible.



1. Démystifier l'intelligence artificielle

L'intelligence artificielle, techniquement, est née en 1956, lors d'une conférence qui s'est tenue à Dartmouth. À cette époque, des chercheurs se sont réunis et ont eu comme volonté de créer des ordinateurs qui puissent être aussi intelligents que l'homme.

Cette notion d'intelligence est mal définie, mais ce qu'ils vont prendre comme repère pour essayer d'arriver à leur but, c'est de prendre par exemple le jeu d'échecs. L'un des buts, c'est de faire un programme qui puisse jouer aux échecs aussi bien que l'homme, et éventuellement même le battre. Il y a d'autres domaines qui vont les intéresser, par exemple celui de la traduction automatique. À partir de cette conférence, des chercheurs vont rejoindre cette mouvance et vont commencer des recherches assez intensives.

L'une des toutes premières intelligences artificielles qui a été mise au point, c'est ce qu'on a appelé le logicien théorique ou logicien théoricien. C'est un programme qui a été capable de démontrer 38 des théorèmes des Principia Mathematica. Pour la première fois, on avait un programme capable de faire du raisonnement et de démontrer les choses.

Dès la naissance de l'IA, deux courants vont émerger : l'un qu'on a appelé le courant symbolique et l'autre le courant plutôt numérique. Ces deux courants vont se distinguer par quelque chose qui a été énoncé plus tard, c'est que d'un côté on veut fabriquer un esprit, c'est le courant symbolique, et de l'autre, on veut modéliser le cerveau.

1.1. Le courant symbolique

Fabriquer un esprit, c'est parti d'une idée qui était relativement simple de dire que le cerveau est une machine à traiter les symboles. Ce que vont faire ces chercheurs, c'est trouver de nouveaux algorithmes en partant de cette hypothèse que le cerveau traite tout sous forme de symboles. Il est vrai que certains problèmes, tel que par exemple le jeu d'échecs, vont permettre d'exprimer cette puissance des symboles. En manipulant les symboles, on va arriver à trouver des algorithmes qui sont extrêmement astucieux et efficaces.

1.2. Le courant numérique

Le courant numérique a été mené notamment par Franck Rosenblatt, où l'idée est de modéliser le cerveau. On va rejeter cette hypothèse du symbole au profit d'une approche plus numérique. C'est ce qui a donné naissance, entre autres, au courant des réseaux de neurones artificiels. Chacun de ces deux courants vont trouver de nouveaux résultats. Pour Rosenblatt, c'est le cas avec le perceptron.

1.3. Les intelligences artificielles

Bien qu'ils aient amassé énormément de résultats, les promesses originelles quant à l'intelligence artificielle n'ont pas réellement été tenues. On a fait des avancées, mais on n'a pas résolu le problème général de l'intelligence. Notamment à la fin des années 70, le jeu d'échecs ne marche pas très bien. On n'est toujours pas capable de battre le champion du monde d'échecs évidemment. Pas mal de recherches se sont arrêtées suite à cette rareté des fonds pour soutenir la recherche. Il aura fallu attendre encore quelques années, au milieu des années 90, où là on a eu, de nouveau, des résultats assez importants.

C'est en 97 que Garry Kasparov a été battu par le programme Deep Blue. Ça a été un petit coup de tonnerre parce qu'on ne pensait pas que c'était possible. Aujourd'hui, il y a énormément, de

nouveau, des recherches en IA, notamment de la même façon qu'on avait battu le joueur d'échecs, on a battu le champion du monde de Go. Là aussi, ça a été un coup de tonnerre parce que c'est un résultat qu'on attendait pour dans quelques années parce que le jeu de go est d'une complexité avec un ordre de grandeur supérieur aux échecs.

On peut développer des intelligences artificielles qui vont être excessivement bonnes dans un certain sous-domaine, par exemple ça peut être le jeu de Go, le jeu d'échecs, ça peut être des problèmes encore plus spécifiques où là on va trouver effectivement ces algorithmes qui vont permettre de résoudre ces problèmes. Mais par exemple aujourd'hui, on ne sait pas faire une intelligence qui pourrait répondre à tous les problèmes, même de façon très basique.

C'est pour ça qu'on va préférer parler d'intelligences artificielles au pluriel, on va même enlever le terme d'intelligence artificielle au profit d'autres domaines qui peuvent être, par exemple, l'apprentissage machine, qui peuvent être les réseaux de neurones artificiels, qui peuvent être les systèmes experts, qui peuvent être encore tout un tas d'autres domaines.

1.4. Le test de Turing

En 1956, Alan Turing a proposé un test, qui aujourd'hui s'appelle le test de Turing dont le but était de détecter si une machine était intelligente ou pouvait être qualifiée d'intelligente. Ce test est intéressant parce que c'est ce qu'on a appelé le jeu de l'imitation, où le jeu pour la machine, est de se faire passer pour un humain en donnant des réponses assez convaincantes. Ce test est extrêmement critiqué et est toujours critiqué depuis, mais beaucoup cité parce que ça repose entièrement sur le langage qui est quelque chose de très compliqué, et qui n'est valable que pour l'homme puisqu'il faut pouvoir parler. Par exemple, les animaux ne pourraient pas passer le test ou les bébés ne pourraient pas passer le test. Aujourd'hui, avec les recherches actuelles qu'on a à la fois sur l'animal, sur le développement de l'enfant, on sait que l'intelligence ne passe pas entièrement par le langage, mais prend bien d'autres formes.

Aujourd'hui, les recherches par rapport à la cognition incarnée, l'idée est de dire que l'intelligence doit se faire avec un corps qui se développe et en interaction avec l'environnement. Si je veux par exemple tester la souplesse d'un objet, je vais avoir besoin d'un corps pour faire l'expérience de cette souplesse de cet objet. C'est là une des grandes orientations d'une certaine part des recherches en intelligence artificielle, mais aussi en robotique, en robotique développementale.

2. Découvrir la robotique

2.1. Introduction

Les robots sont aujourd'hui partout autour de nous, ils ont une importance scientifique, sociétale, industrielle grandissante. Ils sont dans les champs, dans les usines, dans l'espace, au fond des mers, dans les jardins et même dans les salons. Un certain nombre de personnes pensent qu'au 21ème siècle, ils seront un petit peu l'équivalent de la voiture au 20e siècle. Ils n'ont pas simplement pénétré l'industrie, mais ils sont aussi en train de participer à la transformation de notre culture et même parfois, à participer à la manière dont nous comprenons nous-mêmes, les hommes, d'une manière renouvelée.

Alors qu'est-ce que c'est qu'un robot ? Un robot c'est d'abord, c'est une machine physique qui est dotée d'un certain nombre de moteurs pour produire des actions, pour produire des mouvements, qui est aussi dotée de capteurs, on peut les appeler aussi des senseurs qui lui permettent de percevoir des choses dans son environnement, par exemple une caméra pour percevoir des images, des micros

pour percevoir des sons, des capteurs de force pour percevoir par exemple quand est-ce qu'il touche un obstacle ou qu'on les bouscule, des capteurs infrarouges pour parfois voir des choses que les humains ne sont pas capables de voir, mais que certains animaux sont capables de voir. Les informations qui sont captées par ces capteurs sur l'environnement, sont utilisées pour décider quels sont les mouvements, quelles sont les actions qui vont être produites par les robots. Donc il y a une interaction en permanence entre la perception et l'action, et c'est ça qui définit les robots. C'est aussi ça qui les oppose aux automates, par exemple aux automates de Jaquet-Droz ou de Vaucanson au 18^{ème} siècle, qui étaient des machines dont l'action ne dépendait pas de ce qui se passait autour d'eux, ils faisaient toujours la même chose, quels que soient les événements qui se passaient autour d'eux.

2.2. La diversité de robots

Il y a une très grande diversité de formes de robots, ça peut être peut-être les robots qui correspondent à ce qu'on a dans l'imaginaire, des robots humanoïdes ou animaloïdes, mais finalement qui aujourd'hui sont plutôt seulement dans des laboratoires scientifiques. Cela concerne aussi beaucoup de robots qui sont dans notre quotidien, les avions qui sont aujourd'hui très largement robotisés, automatisés, les voitures quand elles sont en mode d'assistance à la conduite, par exemple des aspirateurs robotisés autonomes ou des machines, des tondeuses qui vont tondre de manière autonome les jardins, certains jouets aussi, certains robots ludiques qu'on trouve dans les magasins de jouets et qui sont tout à fait des robots avec des technologies d'ailleurs parfois très avancées.

Cette diversité de formes recouvre aussi une relativement grande diversité de fond, diversité de fonctionnement, diversité de mécanismes. Alors on peut parler de quelques grandes dimensions qui permettent de différencier les mécanismes.

2.2.1. L'autonomie

Une première dimension c'est l'autonomie. Il y a certains robots dont le comportement, on va l'appeler autonome, parce que les actions sont prises pendant qu'il est en train de percevoir son environnement sans des instructions permanentes ou parfois juste partielles, qui viennent de l'humain. Par exemple un robot qui est dans une usine automobile et qui va assembler des voitures sans intervention humaine est un robot autonome. Par contre, un robot dans une centrale nucléaire qui va être télécommandé par un opérateur pour aller dans des pièces de confinement radioactives et lui donner les actions qu'il doit faire à chaque moment, n'est pas autonome.

2.2.2. L'adaptation

Une autre dimension qui différencie plusieurs familles de robots, c'est l'adaptation et l'apprentissage. Il y a certains robots dont le comportement est complètement figé à l'avance par un programme et, quelles que soient les expériences que le robot va faire dans son environnement, il se comportera toujours de la même manière. Il y a par contre d'autres robots qui sont dotés d'autres familles de mécanismes qu'on appelle des algorithmes d'apprentissage, qui leur permettent de mettre à jour leurs modes d'action, leur stratégie d'action en fonction des événements qu'ils vont percevoir dans l'environnement, en fonction des essais et des erreurs qu'ils vont réaliser.

Par exemple, on a des robots qui peuvent explorer un environnement et progressivement construire une carte de cet environnement qui va, par la suite leur permettre d'y naviguer de manière relativement efficace alors qu'au début ils n'étaient pas capables d'y naviguer. Certains mécanismes vont leur permettre d'apprendre à reconnaître des objets nouveaux qu'un humain va leur nommer,

apprendre à reconnaître des actions des humains par exemple, ou apprendre à se déplacer en utilisant leurs jambes, apprendre la locomotion. On appelle ces mécanismes des algorithmes d'apprentissage qui permettent à ces machines de détecter des régularités dans les expériences qu'ils peuvent réaliser. Et en repérant les régularités, ils peuvent comprendre comment prédire les effets de leurs actions. Ou quand il s'agit de trouver une solution, une stratégie de comportement, par exemple pour apprendre à marcher, eh bien il y a des stratégies par exemple d'essais, erreurs où avec des algorithmes qu'on appelle les algorithmes d'optimisation, ils vont progressivement raffiner les paramètres de ces stratégies pour progressivement améliorer l'efficacité de ces solutions.

Cependant, si on peut avoir l'impression que cela va être des machines relativement intelligentes et créatives, en fait elles sont encore extrêmement loin de la capacité d'adaptation, non seulement des humains, mais même d'animaux et de mammifères beaucoup plus simples. Il y a encore énormément de travail à faire avant de construire des machines qui ont la capacité d'adaptation d'un enfant de 3 ou 4 mois.

2.2. Les grandes familles d'utilisation

Au-delà des différences entre les robots en termes de mécanismes, il y a aussi des différences en termes de finalité, c'est-à-dire en termes des raisons qui ont amené leurs concepteurs à les construire, à les tester ou à les disséminer. On peut distinguer plusieurs grandes familles de finalités d'utilisation des robots dans notre société.

2.2.1. Le travail et l'exploration

Parlons d'abord de la fonction travailler et explorer. Parmi les robots qui sont en service dans le monde, la plupart sont des robots qui font des tâches dans des usines manuelles. Les robots industriels, il y en a plus de neuf millions dans le monde. Très tôt, les entreprises se sont intéressées à ces machines pour plusieurs raisons. D'abord, elles sont capables de réaliser des tâches qui sont pénibles, fatigantes et peu motivantes pour les humains, par exemple quand il s'agit de manipuler des pièces très lourdes ou dangereuses dans les usines. Ensuite, les entreprises s'y sont intéressées parce que ces machines sont capables de faire un certain nombre de tâches, pas toutes, mais un certain nombre, de manière très rapide, beaucoup plus efficacement que les humains. Parfois, c'est aujourd'hui le domaine de la cobotique, un certain nombre d'entreprises s'y intéressent parce que la collaboration entre les humains et les machines permet de faire un travail de meilleure qualité, dans tous les sens du terme, que si on avait soit uniquement des humains ou soit uniquement des robots.

Dans le domaine industriel, les premiers robots industriels sont apparus dans les années 1960. En 1961, le robot Unimate a été mis en service dans une usine de Général Motors. Depuis, les robots se sont beaucoup déployés dans le monde de l'automobile, mais pas seulement. Dans l'agriculture aujourd'hui, il y a beaucoup de robots qui vont aider à aller cueillir des fruits dans des arbres, à remplir des bouteilles, à mettre des aliments dans des cartons, à les ranger, à les trier. Il y a aussi, dans ce type d'utilisation des robots qui servent à travailler et à explorer, parfois une utilisation dans laquelle on n'a pas le choix d'utiliser des robots parce qu'on voit les envoyer explorer ou travailler dans des endroits, dans des environnements qui sont trop dangereux pour l'homme ou tout simplement où l'homme ne peut pas aller. Un exemple d'environnement trop dangereux pour l'homme, ce sont les centrales nucléaires où on a des environnements dans lesquels il y a de la radioactivité, qu'on a besoin d'entretenir. Même avant qu'il y ait des accidents, on a absolument besoin d'entretenir ces endroits. Il faut être capable d'y aller. Les robots, souvent téléguidés ou téléopérés, sont souvent utilisés. Il y a d'autres contextes dans lesquels il est dangereux d'aller, par exemple aller inspecter les coques des navires dans les ports ou même directement en mer pour

essayer de prévenir des accidents qui pourraient provoquer des désastres écologiques. Très souvent, ce n'est pas très sûr pour un humain de faire ces inspections et on envoie un robot.

Enfin, il y a un domaine pour l'homme c'est très compliqué, voire impossible d'y aller aujourd'hui, c'est l'espace. L'espace a été un terrain sur lequel les robots ont beaucoup contribué à l'exploration du monde par l'humanité, mais par le biais des robots.

Tout d'abord sur la lune, les premiers robots ont été envoyés dès les années 1960. C'est en 1966 que les premiers robots sont arrivés sur la Lune avec la sonde Surveyor. Ensuite, il y en a eu plusieurs des Russes, comme le robot Lunokhod, des robots américains comme les robots Mariner. Plus récemment, un certain nombre de robots ont été déployés sur la planète Mars, comme Spirit et Opportunity. Grâce à ces robots, on a pu détecter des traces d'eau et ça a permis des avancées scientifiques évidemment considérables.

2.2.2. L'assistance à la personne

Une autre famille de finalité d'utilisation des robots, c'est l'assistance à la personne, en particulier aujourd'hui dans une société où un certain nombre de personnes ont des handicaps physiques ou cognitifs. Un certain nombre de technologies robotiques ont été développées pour les aider à vivre de manière plus agréable, plus connectée à leur environnement. Par exemple pour les handicaps physiques, on a des robots qui leur permettent de les aider à se lever ou à s'asseoir, qui leur permette de garder une autonomie physique.

Pour les handicaps cognitifs, ça peut être des handicaps de mémoire. Il y a des robots qui vont les stimuler, par exemple rappeler l'emploi du temps, rappeler la mémoire, les mettre en contact au fur à mesure de la journée avec leur famille, avec leur environnement médical. Il y a aussi, dans ce domaine, des robots qui se développent par exemple dans le milieu hospitalier pour assister les chirurgiens. Il y a un certain nombre de technologies robotiques, microscopiques, endoscopiques, qui permettent d'aller explorer l'intérieur du corps des humains. Un certain nombre de robots se développent dans le contexte des prothèses, par exemple quand des humains ont perdu un bras ou une jambe, il y a, aujourd'hui, des prothèses robotiques qui vont tenter de remplacer physiquement ces membres qui ont été perdus et d'en restaurer le contrôle de manière à ce qu'ils soient le plus naturels possible.

2.2.3. Outil de pensée

Une autre famille d'utilisation des robots, c'est son utilisation dans les laboratoires scientifiques comme des outils pour modéliser et nous aider à mieux comprendre le vivant, en particulier les mécanismes de l'apprentissage et de l'adaptation.

Comment est-ce que les animaux, et les humains en particulier, arrivent à acquérir des savoir-faire nouveaux, arrivent à s'adapter à un environnement qui lui-même évolue ? C'est un des grands mystères de la science aujourd'hui. C'est un mystère qui est difficile à percer parce que les mécanismes de l'apprentissage impliquent l'interaction de mécanismes nombreux, à plusieurs échelles d'espace et de temps, à l'intérieur du corps et du cerveau, mais aussi du cerveau avec le corps lui-même, et du corps avec son environnement. Cette interaction complexe est d'autant plus complexe qu'à chaque fois que le corps et le cerveau interagissent avec l'environnement, le cerveau se modifie et donc les modes d'interactions eux-mêmes se modifient.

Aujourd'hui, on a relativement peu d'outils pour comprendre cette complexité, ces systèmes complexes. En sciences physiques, il y a quand même une longue tradition d'étudier des systèmes complexes comme ceux qui sont à la source de la formation des galaxies, de la formation des

cristaux de glace ou pour comprendre l'évolution du climat ou plutôt de la météo par exemple. En physique, depuis très longtemps, on utilise les ordinateurs pour faire des modèles et des simulations. En sciences du vivant et en sciences de la cognition en particulier, depuis plusieurs décennies, on utilise les robots, un petit peu comme les ordinateurs que les physiciens utilisent pour comprendre le climat et la météo, on utilise des robots pour modéliser certains aspects de cette complexité, des interactions entre le cerveau, le corps et l'environnement et nous aider à mieux les comprendre.

Cela peut servir à modéliser certains circuits neuronaux qui sont associés au contrôle moteur, la manière dont un enfant apprend à bouger sa main dans son champ visuel et à coordonner la perception et son action. Ce qui est très intéressant, c'est que comme c'est un cerveau et un modèle artificiel, on peut à volonté éteindre, entre guillemets, certaines parties du réseau neuronal et comprendre quel est l'impact que cela peut avoir sur le comportement, sur l'apprentissage. On peut aussi faire des expériences qui permettent de distinguer les contributions du corps et du cerveau pour la locomotion. On peut construire des robots qui ont la même forme, la même géométrie du corps que celle de l'humain, et comprendre que même sans cerveau, quand on a la bonne géométrie, il peut générer spontanément un certain nombre de pas qui ressemblent beaucoup à ceux des humains. Faire une expérience chez les animaux dans laquelle on séparerait le système nerveux du corps, c'est impossible à la fois pour des raisons pratiques et éthiques. Ce travail met en œuvre des collaborations interdisciplinaires entre les sciences du numérique et la robotique d'une part, les sciences de la psychologie du développement, les neurosciences, d'autre part.

Glossaire

- Principia mathematica : une œuvre en trois volumes d'Alfred North Whitehead et Bertrand Russell, publiés en 1910-1913. Cette œuvre a pour sujet les fondements des mathématiques et est considérée comme un des livres les plus influents de l'histoire de la logique.
- perceptron : a été inventé en 1957 par Frank Rosenblatt au laboratoire d'aéronautique de l'université Cornell. Le perceptron peut être vu comme le type de réseau de neurones le plus simple.
- Deep Blue : est un superordinateur spécialisé dans le jeu d'échecs par adjonction de circuits spécifiques, développé par IBM au début des années 1990.
- Alan Turing : est un mathématicien et cryptologue britannique (1912-1954), auteur de travaux qui fondent scientifiquement l'informatique. Pour résoudre le problème fondamental de la décidabilité en arithmétique, il présente en 1936 une expérience de pensée que l'on nommera ensuite machine de Turing et des concepts de programmation et de programme, qui prendront tout leur sens avec la diffusion des ordinateurs, dans la seconde moitié du XXe siècle.
- Algorithme d'apprentissage : cela correspond à des algorithmes qui ajustent les paramètres de leurs calculs en fonction des exemples qui leur sont donnés, ou des retours (positifs ou négatifs, comme des récompenses ou punitions) issus de calculs précédents. Cela permet d'adapter leur fonctionnement aux données fournies.
- Algorithme d'optimisation : cela correspond à des algorithmes qui résolvent un problème par améliorations successives: on part d'une solution initiale par défaut, on la modifie un peu dans un sens ou dans un autre, et si une de ses modifications améliore la solution, on réitère le procédé. Un critère de gain à maximiser ou de coût à minimiser est donc à la base de ces méthodes.

- Optimisation par essais/erreurs : cela correspond à des algorithmes qui ajustent les paramètres par "renforcement", une solution est testée et en fonction du retour positif ou négatif, un ajustement se fait pour aller vers un meilleur comportement. Le fait que le retour se passe après l'action qui a pu en être la cause, parfois bien après, impose d'avoir une représentation interne de ce qui se passe au cours du temps.
- Modélisation : représentation d'un objet réel ou abstrait, en éliminant les détails difficiles ou accessoires à reproduire, afin d'obtenir un résultat plus net à interpréter, un modèle est validé par son adéquation à des données (différentes de celles qui ont pu aider à le construire), donc à prédire des faits nouveaux ; il peut-être mathématique ou informatique, mais aussi être un objet tangible (une maquette, un animal modèle pour certains fonctionnements biologiques).
- Cerveau : c'est le principal organe du système nerveux des animaux, il régule les autres systèmes d'organes du corps, en agissant sur les muscles ou les glandes, et constitue le siège des fonctions cognitives (mémoire, apprentissage, planification, etc.) ; cette cognition n'existe que parce le cerveau est incarné dans un corps en interaction avec un environnement.
- Robotique : appareil effectuant, grâce à un système de commandes automatiques, une tâche précise pour laquelle il a été conçu dans le domaine industriel, scientifique ou domestique. Le mot "robot" a été créé (dans une œuvre de fiction) à partir du mot tchèque "robota" qui signifie "travail, besogne, corvée".
- Éthique : est une réflexion de fond sur un sujet, qui permet ensuite de proposer des normes, limites et devoirs, dans le respect de certaines valeurs. La morale désigne l'ensemble de ces règles établies.
- Cobot : (pour robot collaboratif) désigne un robot en interaction réelle, directe ou télé-opérée, avec un opérateur ou un utilisateur humain.
- Crypter : anglicisme pour le mot chiffrer, c'est à dire rendre secret un document, pour que sa compréhension soit impossible à toute personne qui n'a pas la clé de (dé)chiffrement.
- Anonymiser : garantir qu'un jeu de données contenant des informations personnelles ne permet pas d'identifier des individus donc évite d'accéder à des informations privées les concernant.