

## Introduction

---

# Une nouvelle forme d'intelligence

Pour ma part, si je devais partir vivre dans un nouveau monde, je ne manquerais pas de me renseigner avec soin sur l'écosystème, les populations, les différentes espèces animales et les conditions climatiques, pour m'adapter au mieux à cet environnement. Et vous ? Peut-être n'envisagez-vous pas de tels changements dans votre vie.

Pourtant, petit à petit, des intelligences artificielles (IA) commencent à habiter notre monde. Dans les dix prochaines années, vous allez côtoyer toutes sortes de robots autonomes : des voitures, des tondeuses, des aspirateurs, des drones. Vous en croisez d'ailleurs déjà. Sauriez-vous les reconnaître ? Les IA n'habitent pas que des robots : ce sont souvent des logiciels dans la finance, la justice, la défense, le commerce, la santé et bien d'autres domaines. Vous l'aurez peut-être remarqué : par endroits, plus moyen de parler tout seul ; au moindre « OK », une IA se met à dialoguer avec vous. Aussi surprenant que cela puisse paraître, elle comprend le sens de vos propos. Depuis décembre 2018, il est devenu possible de prendre place dans un taxi sans chauffeur dans la banlieue de Phoenix aux États-Unis pour aller là où bon vous semble en ville. Ce véhicule n'est autre qu'une IA à quatre roues. Mieux vaut comprendre ces nouvelles venues avec qui nous allons interagir dans la vie de tous les jours. C'est un monde plein de créativité et d'opportunités qui s'ouvre à nous. Il n'est pas sans risque. Même si ceux-ci sont assez éloignés des fantasmagiques « Avengers » et « Big Brother », ils n'en restent pas moins réels. Alors autant apprendre à les éviter.

Dans le vivant, l'intelligence est plurielle et prend différentes formes. L'homme aurait volontiers aimé voir là sa spécificité, notamment dans les civilisations occidentales. Il est désormais reconnu que plusieurs types d'intelligence existent *a minima* chez l'homme et les espèces animales. L'intelligence ne se limite pas au raisonnement logique et à la rationalité : elle peut être émotionnelle, ou encore

sociale, et pourquoi pas intuitive. Il en est de même pour l'IA : une fois les dogmes dépassés, elle aussi s'avère plurielle. En effet, les IA ne sont pas toutes fondées sur les mêmes principes. Elles se complètent parfois ; certaines ont eu des succès éphémères, d'autres commencent par moments à nous surpasser. En complément de raisonnements assez proches des nôtres, fondés sur des déductions logiques, des principes de rationalité et des calculs d'utilité, l'IA a développé une nouvelle forme d'intelligence basée sur des mécanismes d'apprentissage prenant en compte un très grand nombre d'exemples de situations qui sont fournis par des jeux de données numériques. Or l'ère digitale, de l'Internet et des médias numériques, produit des données à profusion. Ce mode d'apprentissage est différent des procédés basés sur l'expérience que nous connaissons et observons dans le monde vivant. Les IA de ce type apprennent par exemple à différencier un chat d'une autre espèce animale après avoir visualisé des milliers d'images de chats, presque tous les chats possibles dans toutes les postures, ce qui n'est pas notre cas – quelques chats nous suffisent. Allez savoir pourquoi c'est toujours le chat qui est pris en exemple ! Cela résulte vraisemblablement d'un projet développé chez Google Brain sur la reconnaissance de chats dans des vidéos YouTube<sup>1</sup>. Quoi qu'il en soit, nous aurions pu nous en flatter : « Stupide IA qui a besoin de s'exercer et de tant d'informations pour apprendre ! » Si ce n'est que finalement, l'IA est plus performante que nous pour reconnaître des chats. Mince alors... Et s'il ne s'agissait que des chats ! Il en va de même des voitures dans le trafic routier, de la reconnaissance des signaux vocaux, de la détection de tumeurs cancéreuses sur des radiographies et de bien d'autres exemples. En quelque sorte, l'IA aurait déjà acquis ainsi une intelligence visuelle et auditive supérieure à la nôtre dans certaines situations.

L'IA constitue une rupture technologique dans les logiciels et la robotique. Une telle innovation ou disruption, c'est un peu comme de passer des ballons dirigeables aux avions, de la photographie argentique à la photo numérique. Cela fonctionne différemment et change

.....  
1 John Markoff, « How Many Computers to Identify a Cat? 16,000 », *The New York Times*, 25 juin 2012, <http://www.nytimes.com>.

radicalement la donne. L'IA est déjà là et commence à transformer le monde des affaires. L'arrivée des voitures autonomes, la disponibilité des traducteurs automatiques et la suprématie des logiciels dans les jeux stratégiques sont autant d'exemples qui nous montrent l'imminence d'un tel monde. Après avoir montré sa capacité à dépasser l'intelligence humaine dans certains contextes, elle fait l'objet de toutes les attentions un peu partout dans le monde, que ce soit en Asie, en Amérique du Nord ou en Europe. L'IA et la robotique seront au cœur des innovations de rupture dans de nombreux secteurs d'activité à court et à moyen terme, c'est-à-dire d'ici dix ans. Nous pouvons dès à présent observer ce changement comme nous allons le voir ci-après. À en croire plusieurs études prospectives, l'IA serait même susceptible d'opérer une nouvelle révolution industrielle en nous remplaçant dans des prestations de services et des processus décisionnels : nous serions relégués par voie de fait à d'autres fonctions. L'IA s'inscrit à la fois dans le prolongement d'un changement majeur initié par le web et l'ère digitale, et dans la continuité du développement robotique. J'entends crier au loup ! Comme souvent, si vous connaissez l'animal, il vous effraie moins. Une compréhension contextuelle et opérationnelle du sujet vous permettra de dissocier le mythe de la réalité et de tirer parti de cette transformation.

Ces technologies vont prendre part à de nombreuses innovations de rupture, offrir des opportunités de développement de business et également entraîner des transformations sociétales importantes. Cela pose des questions éthiques. De nouveaux secteurs d'activité vont être robotisés, mais le bilan global pourrait être positif pour le marché de l'emploi ; rien n'est encore certain, les analyses divergent. Cela mérite en tout cas d'y prêter attention. Les plans gouvernementaux, les investissements du capital-risque et surtout les stratégies des géants américains et chinois du numérique, les fameux Gafam et BAT, sont à la mesure de ces défis. La soudaine progression des performances de l'IA n'avait pas été anticipée ; elle s'est opérée en quelques années seulement, d'où un manque de compétences disponibles en IA que ce soit au niveau technique et managérial ou dans les fonctions de support. Pour y répondre, les universités et les écoles d'ingénieurs développent des formations techniques en *data sciences* ; quant aux

écoles de commerce, certaines ont intégré des cours en IA depuis quelques années. Pour ces écoles et pour nombre d'entreprises, c'est devenu un enjeu concurrentiel. Ne pas disposer de compétences en IA, c'est prendre le risque de ne pas être compétitif vis-à-vis de ses concurrents dans un futur proche.

Il existe divers métiers et situations professionnelles où il est opportun d'avoir des connaissances sur le management et le business de l'IA. Nombre d'étudiants et de spécialistes en management vont être amenés, au cours des dix années à venir, à réaliser pour leur société une analyse d'opportunité sur les applications de l'IA, à accompagner des entreprises dans les transformations qui en découlent, à participer à la création d'innovations fondées sur des mécanismes d'apprentissage profond, à intégrer ou lancer des start-up dans ce domaine. L'IA s'immisce partout. C'est un bon atout pour lever des fonds. En résumé, de nombreux secteurs d'activité sont impactés, et cela concerne beaucoup de monde. L'IA est l'affaire de tous !

## **L'IA s'invite parmi les sciences**

---

L'IA n'est pas seulement un business ; c'est avant tout une science. Découvrir et comprendre l'IA est passionnant, concevoir et réaliser des machines ou des systèmes intelligents l'est d'autant plus. Plusieurs sciences semblent s'être donné rendez-vous pour que cette fiction devienne réalité. L'IA cherche parfois l'inspiration dans les sciences cognitives qui s'intéressent globalement au fonctionnement de la pensée ; à d'autres moments, elle emprunte à l'économie des principes de rationalité limitée et l'utilisation de la théorie des jeux, à l'ethnologie l'observation d'intelligences collectives, aux sciences du langage le sens des actions. Elle utilise largement les mathématiques, qu'elles soient logiques, algébriques, statistiques ou algorithmiques, et leur apporte de nouveaux défis, car l'efficacité de l'IA devance par moments les preuves mathématiques. L'IA est un moyen d'aborder ces sciences de façon pragmatique en poursuivant un but concret. Tout prend sens. C'est ainsi une porte d'entrée vers de multiples savoirs adaptée à une approche pédagogique. Jusqu'à présent, ce savoir

n'attirait qu'un public relativement restreint d'initiés, souvent des chercheurs et des ingénieurs. L'IA peinait à convaincre au-delà de ce cercle, faute de larges succès, mais la donne vient de changer. L'IA est désormais perçue comme une voie d'industrialisation de l'économie de services, d'où l'idée de révolution industrielle ; elle n'est plus seulement une technique : des découvertes scientifiques commencent à poindre, notamment sur la sémantique des mots et des images. Et si le sens des mots, voire d'un texte, était calculable ?

Dans un univers où le monde n'est plus uniquement physique et vivant mais également artificiel, introduire les sciences de l'IA dans des enseignements généraux ne serait pas incongru. C'est seulement à partir de 1902, à l'issue d'un siècle de tentatives contrariées, que les mathématiques, la géologie, les sciences physiques et naturelles ont finalement été intégrées aux programmes d'enseignement des collèges et des lycées. Ces apprentissages structurent nos modes de raisonnement. Ils apportent des explications aux phénomènes que nous observons dans la vie de tous les jours et à leurs évolutions. Bien sûr, tous les lycéens ne deviendront pas des scientifiques, des spécialistes en physique ou en biologie. Toutefois, à travers l'introduction de sujets aussi variés que la génétique, l'évolution naturelle, l'électricité, la cinématique, chacun peut s'approprier une lecture scientifique du monde. Les mathématiques sont quant à elles le socle essentiel au développement de ces connaissances, un langage pour les exprimer de façon synthétique et opérationnelle. Face aux enjeux climatiques et environnementaux qui se profilent, enseigner les sciences est plus utile que jamais. À l'encontre du cheminement actuel, il serait pertinent d'intensifier les programmes dans ces domaines, de cultiver notre savoir et d'exercer nos capacités intellectuelles pour bien nous accommoder des IA. C'est un peu comme si le temps nous était compté pour nous approprier ces savoirs, alors pourquoi ne pas commencer à enseigner l'IA et ses fonctionnements au lycée ? C'est ce qu'expérimente la Chine dans une quarantaine de lycées depuis 2019 avec le support de manuels scolaires très aboutis<sup>2</sup>. Pour aller un

.....  
 2 *Fundamentals of Artificial Intelligence*, Senior High School Edition, 人工智能基础, East China Normal University Press-The Commercial Press, 2018.

peu plus loin, il suffirait que les élèves aient préalablement acquis des connaissances mathématiques sur les espaces de dimension  $n$ , les calculs matriciels, les représentations vectorielles, les gradients, les polynômes, la logique, les probabilités, et que cet enseignement au lycée soit donc renforcé, mais sans excès.

Les prémices de l'IA datent du milieu des années 1950. Quelques fondateurs vont rapidement faire des émules. La discipline est institutionnalisée dans les années qui suivent, mais ce n'est que soixante ans plus tard, à partir du milieu des années 2010, que cette technologie se montre capable de nous surpasser dans des domaines variés et se révèle en passe d'opérer des transformations importantes. Les pionniers n'auront pas pu assister à ce retournement de situation. Nous reviendrons sur l'histoire de l'IA, car elle permet de mieux comprendre sa pluralité. J'ai découvert ce domaine en 1985 à l'université Pierre-et-Marie-Curie (Paris-VI) dans un cursus où l'IA constituait un quart du programme de la maîtrise d'informatique depuis quelques années. Cette université associée au CNRS regroupait des chercheurs de tout premier plan dans ce domaine. Dès cette initiation et plus encore par la suite dans mes travaux de recherche, j'ai voulu voir là une discipline scientifique à part entière. Ces dernières années, à la suite du regain d'intérêt porté à l'IA avec le développement des procédés d'apprentissage profond basés sur des réseaux de neurones, j'ai élaboré un cours général sur l'IA pour des étudiants en école de commerce, donc en dehors d'un cadre informatique et mathématique. Cela m'a conduit à introduire le sujet différemment, un peu comme on aborde les sciences du vivant et les sciences physiques, en partant de l'observation d'IA existantes : des IA remarquables étant devenues observables par chacun d'entre nous, pourquoi ne pas partir de ces réalités pour en expliquer les tenants et les aboutissants ? Les différentes formes d'IA qui, par le passé, se sont opposées les unes aux autres de façon dogmatique deviennent un espace d'explication possible. Contrairement au monde physique et biologique, l'homme est le créateur de cet univers, ses fondements sont sans secrets, et même s'ils restent parfois mystérieux, ils sont présents dans les modèles qui ont permis leur élaboration. Il est ainsi possible de s'infiltrer au cœur de ces machines pour en observer le fonctionnement.

## Ce que vous pourriez apprendre

---

Jusqu'à présent, les techniques d'IA étaient enseignées lors d'études supérieures en informatique pour former des spécialistes amenés à développer des systèmes intelligents, que ce soient des robots ou des logiciels. Les techniques de machines apprenantes (*machine learning*) sont également enseignées dans des cursus de mathématiques appliquées et dans des modules de formation sur les sciences de la donnée (*data sciences*). Des livres spécialisés dans ces domaines ciblent les ingénieurs ou les chercheurs. Peu d'ouvrages scientifiques récents, à de rares exceptions près<sup>3</sup>, donnent une vue globale de l'IA ; le domaine devient trop vaste pour cela. Les livres de vulgarisation portent quant à eux souvent sur des projections futuristes. Ils côtoient la science-fiction et mélangent mythes et réalité. Or, nul besoin de se projeter dans le futur pour expliquer l'IA : le présent est déjà impressionnant. L'objectif de ce livre est donc de faire découvrir et comprendre ce qu'est l'IA aujourd'hui en s'appuyant sur une explication de ses fondements scientifiques et principes de fonctionnement, tout en s'adressant à un plus large public. Un intérêt particulier est porté aux perspectives de business, aux enjeux économiques et sociétaux ainsi qu'aux risques et questions éthiques à considérer.

## Sept compétences clefs à acquérir

---

Ce livre vous invite à découvrir l'IA. Il s'articule autour de l'acquisition de 7 compétences.

1. *Observer et identifier les IA.* Le livre commence par une compréhension intuitive de ce sujet illustrée par un choix d'IA existantes parmi les plus marquantes et les plus prometteuses. Étant donné leurs rapides évolutions, quelques repères chronologiques ne seront pas inutiles. Nous recensons notamment les cas où un programme d'IA a égalé ou dépassé l'homme, voire battu un champion du

.....  
 3 Stuart Russell et Peter Norvig, *Intelligence artificielle*, traduit de l'anglais par Marie-Cécile Baland, David de Loenzien, Patrick Haond *et al.*, Pearson, 2010.

monde en titre. L'observation de logiciels et de robots apparemment intelligents en pleine action ainsi que la sensibilisation à différentes approches scientifiques vous permettront de discerner des formes d'IA variées. Vous commencerez ainsi à apprendre à identifier les IA, à reconnaître leurs différentes formes, à apprécier leurs performances à leur juste valeur, à être en mesure de suivre la progression de leurs exploits.

2. *S'adapter aux définitions variées de l'IA.* Parler d'intelligence est un sujet sensible. Il n'est pas rare que les définitions de l'IA considérées non seulement dans les médias mais également dans un cadre professionnel soient incomplètes ou un peu restrictives. Ce livre vous donnera une vision globale de l'IA ; il introduit différents fondements permettant d'appréhender sa pluralité. Ainsi, vous serez capable de vous faire votre propre opinion quant à ce que recouvre l'IA et vous aurez la capacité d'adapter votre discours à vos interlocuteurs en fonction du contexte et de leur point de vue.
3. *Anticiper les transformations de business.* L'effervescence actuelle autour de ce sujet est liée aux perspectives de business et aux disruptions imminentes qui s'appêtent à redistribuer la donne dans plusieurs secteurs d'activité. L'IA va apporter des changements économiques importants. Les enjeux sont considérables. Sans en dévoiler l'ampleur dès à présent, sachez qu'elle devrait impacter l'économie et le produit intérieur brut (PIB) mondial de façon notable, et – ce qui n'était pas anticipé – devoir composer avec une très importante crise économique mondiale. Les programmes gouvernementaux quinquennaux n'étaient visiblement plus de mise, ils viennent en quelque sorte de faire leur réapparition autour de ce sujet. L'IA a commencé à transformer différents secteurs d'activité. Plusieurs innovations de rupture d'envergure se profilent dans la santé, les transports, la défense, la communication avec les machines. Elles vont à n'en pas douter s'ajouter aux *success stories* disruptives dont nous nous sommes fait le témoin<sup>4</sup>. De par son orientation business, ce livre va vous renseigner sur les enjeux internationaux ainsi que sur les tendances du marché. Il apporte

.....

<sup>4</sup> Thierry Bouron, *Innovation : 50 success stories, ruptures, héritages, coups de génie*, Dunod, 2017.



des arguments étayant le caractère disruptif des innovations et des informations permettant de saisir les opportunités de business. Ils sont illustrés par plusieurs cas d'étude dans lesquels l'IA opère d'importantes disruptions, notamment autour des médias sociaux, des véhicules autonomes et des machines douées de la parole.

4. *Maîtriser les risques.* L'IA pose des questions éthiques. Ses applications dans le domaine de la défense, de la sécurité, sa capacité à nous surpasser soulèvent des inquiétudes. Les usages de cette technologie peuvent être perçus comme dangereux. Ils comportent certes des risques ; beaucoup n'en demeurent pas moins maîtrisables. Et ils ne sont pas nécessairement là où l'on croit. Ce livre va vous conduire à discerner les risques effectifs des mythes, en apportant des explications sur leur nature et en indiquant des bonnes pratiques pour les maîtriser ou les éviter. Il fournit des éléments utiles aux managers pour répondre aux incertitudes et aux peurs liées aux transformations organisationnelles et sociétales qui en découlent ; il anticipe la gestion de systèmes où des agents artificiels autonomes, y compris des robots mobiles intelligents, sont responsables des actes qui relèvent de leurs décisions.
5. *Comprendre le fonctionnement des systèmes autonomes et des machines apprenantes.* Pour aller plus loin dans la compréhension des comportements des IA et prendre part à des projets dans ce domaine, il est nécessaire de connaître les grands principes des machines apprenantes et des systèmes autonomes intelligents. Ce livre en explique les fonctionnements. Ces descriptions prennent essentiellement la forme de récits pour être accessibles à tous. Les fameuses machines apprenantes, les réseaux de neurones, les agents intelligents, les planificateurs prendront ainsi corps. Cela vous permettra d'approfondir le sujet avec une vue plus opérationnelle des rouages des IA.
6. *Se mettre à la place d'une IA.* Tout au long de ce livre, vous allez vous initier à l'IA au travers d'exercices et d'expériences. Après avoir découvert le top 10 d'IA impressionnantes, vous serez invité à élaborer une fiche signalétique de ces drôles d'individus. Vous construirez des raisonnements basés sur des états mentaux avec différents degrés d'intentionnalité. Vous réfléchirez aux stratégies

possibles des différents gouvernements. Vous utiliserez des procédés d'apprentissage supervisé permettant de détecter des bonnes affaires et de prédire un prix de vente sur le marché immobilier à partir des transactions passées. Vous prendrez part à une découverte scientifique autour du calcul du sens des mots en utilisant un modèle d'apprentissage simple, mais incroyablement performant, basé sur des réseaux de neurones. Le temps d'un jeu sur des stratégies de marque, vous prendrez place au sein d'une population d'agents artificiels intelligents. Vous serez également amené à manipuler des stratégies de planification appliquées à la mobilité et à l'évitement d'obstacles par un robot autonome.

7. *Réfléchir à une stratégie d'entreprise sur l'IA.* Au cours de la prochaine décennie, nombre de secteurs d'activité seront impactés par l'IA. Pour anticiper ces changements et construire une stratégie, qu'elle soit offensive ou défensive, sur la question, les entreprises devront être capables d'analyser :
- les innovations de rupture propres à leurs métiers, susceptibles de modifier les jeux d'acteurs, de transformer les chaînes de valeur et d'offrir de nouvelles opportunités ;
  - les dimensions du marché, les bénéfices et les coûts de ces transformations technologiques ;
  - les risques techniques et les problématiques éthiques à aborder ;
  - les types d'IA et les domaines techniques à maîtriser ;
  - les ressources dont elles disposent, que ce soient des compétences ou des sources de données, et celles à acquérir pour soutenir une telle stratégie ;
  - l'introduction de nouveaux métiers centrés sur l'apprentissage et les données.

Les chapitres suivants abordent chacune de ces questions et posent ainsi les termes d'une réflexion stratégique.