

LA TROISIÈME ÈRE DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Nicolas Miailhe

Co-fondateur et président de « The Future Society »

Cyrus Hodes

Vice président et Responsable Intelligence Artificielle de « The future Society »



Nicolas Miailhe est co-fondateur et Président de « The Future Society at Harvard Kennedy School », dans le cadre de laquelle il a également fondé et dirigé la « AI Initiative ».

Stratège reconnu, entrepreneur social et leader visionnaire, il conseille multinationales, gouvernements et organisations internationales. Nicolas est Senior Visiting Research Fellow du Program on Science, Technology and Society (STS) à la HKS. Il est également spécialiste des problématiques d'innovation urbaine et d'engagement citoyen. Depuis plus de dix ans, Nicolas évolue à la croisée de l'industrie de haute technologie, de l'innovation, de la gouvernance et de la société civile, notamment sur les marchés émergents, à l'image de l'Inde.

Cyrus est passionné par les technologies disruptives, comme l'intelligence artificielle (IA), la robotique, les nanotechnologies, les biotechnologies, la génétique, les TI et les sciences cognitives, ainsi que par leur pollinisation croisée et leurs conséquences sur la société. Il dirige actuellement une startup de robotique (Autonomous Guided Vehicles) et une entreprise de biotechnologie. En 2015, Cyrus a fondé la AI Initiative. Il est Vice-président de la Future Society et membre de deux commissions (Politique et Principes généraux) de la *Global Initiative for Ethical Considerations in Artificial Intelligence and Autonomous Systems* de l'IEEE.

MOTS CLÉS

- INTELLIGENCE ARTIFICIELLE FAIBLE
- INTELLIGENCE ARTIFICIELLE GÉNÉRALE
- ROBOTIQUE
- ÉCONOMIE POLITIQUE
- BIG DATA

Si les limites de la définition de l'intelligence artificielle (IA) ne sont pas clairement définies, les experts s'accordent sur le fait que nous assistons à une révolution. Et aucun ne reste indifférent face à la question que tous se posent concernant les conséquences socio-économiques que pourrait entraîner la révolution de l'intelligence artificielle, notamment par rapport aux autres révolutions industrielles du XIX^e et du XX^e siècles : « Et si c'était différent, cette fois-ci ? ». Certes, cette révolution pourrait être une *destruction créatrice* au sens schumpétérien, synonyme de revenus plus élevés, de meilleure qualité de vie pour tous et de création de nouveaux emplois encore inconnus, remplaçant ceux que l'automatisation fait disparaître. Mais elle pourrait aussi tourner à la *création destructrice*, annonciatrice du chômage de masse ou de la perte de contrôle sur les processus de prise de décision. Tout dépendra de la rapidité et de l'ampleur du développement et de la diffusion des technologies d'intelligence artificielle, un point sur lequel les experts sont loin de s'accorder.

INTRODUCTION

La définition même d'« intelligence artificielle » continue à faire débat¹, notamment parce que la science n'a jamais été en mesure de forger une définition de l'« intelligence » acceptée de tous. Les définitions abondent et tendent à se recouper, désignant des « agents » (des programmes tournant sur des systèmes informatiques) capables d'apprendre, de s'adapter et de se développer dans des environnements dynamiques et incertains. En ce sens, la notion d'intelligence rejoint celles de l'autonomie et de l'adaptabilité, à travers la capacité à apprendre d'un environnement dynamique.

¹ Il n'existe pas de définition standard, acceptée dans le monde entier, de l'IA. « Le choix-même de ce nom, « intelligence artificielle », illustre le paradoxe : si le mathématicien John McCarthy a utilisé ces mots pour proposer le programme de recherche de l'université d'été de Dartmouth en 1956, atelier considéré par beaucoup comme le berceau de cette discipline de recherche, c'était autant pour la distinguer des recherches connexes, comme la théorie des automates et la cybernétique, que pour lui offrir sa propre définition [...]. Il existe aujourd'hui de nombreuses définitions de l'intelligence artificielle. Un premier groupe de définitions pourrait être intitulé « essentialiste », car elles visent à définir l'objectif final qu'un système doit présenter pour entrer dans la catégorie concernée [...]. Mais il existe aussi, ce qui est souvent complémentaire, des définitions que l'on pourrait qualifier d'« analytiques », car elles énumèrent une liste de capacités nécessaires à la création de l'intelligence artificielle, en partie ou en entier. [...] ». Tom Morisse, « AI New Age », Fabernovel, février 2017 <https://en.fabernovel.com/insights/tech-en/ais-new-new-age> ; Cf. aussi le rapport « Artificial Intelligence: opportunities and implications for the future of decision-making », 2016 (page 6) du Bureau pour la science du gouvernement du Royaume-Uni. Cf. aussi https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/566075/gs-16-19-artificial-intelligence-ai-report.pdf.



DÉFINIR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

À LA CROISÉE DU BIG DATA, DU MACHINE LEARNING ET DU CLOUD COMPUTING

Pour comprendre la renaissance actuelle de ce que nous appelons l'« intelligence artificielle », qui remonte clairement aux débuts de l'informatique, nous devons nous intéresser à la convergence de trois tendances : i) le Big Data, ii) le machine learning (apprentissage machine) et iii) le cloud super-computing (calcul de haute performance sur le cloud). En ce sens, l'essor de l'IA est bel et bien une manifestation de la révolution numérique. L'une de ses lois principales, prédites en 1965 par Gordon Moore, cofondateur du fabricant de puces *Intel*, stipule que la puissance informatique double tous les deux ans en moyenne, à coût constant². Cette croissance exponentielle résulte des prouesses technoscientifiques continues de la miniaturisation. Celle-ci a permis l'avènement de la micro-informatique, puis celui de la nano-informatique, qui ont débouché, avec leur puissance toujours accrue, sur l'apparition des smartphones et de l'« Internet des Objets ».

Associée au développement des protocoles de communication par Internet et de virtualisation des machines, la révolution numérique a rendu possible l'utilisation de capacités de calcul de haute performance sur le cloud. À partir de là, le flux de données³ haute résolution produit jour après jour par des machines et des humains connectés pouvait être traité par des algorithmes.

Ce contexte a finalement permis l'explosion d'une vieille branche de l'informatique appelée l'apprentissage machine⁴, désignant l'activité propre aux algorithmes capables de trier de façon automatique des schémas

complexes de très vastes ensembles de données, via l'apprentissage supervisé ou non supervisé⁵. Au cours des cinq dernières années, la convergence de deux branches de l'apprentissage machine a permis des résultats impressionnants : le deep learning (ou apprentissage profond)⁶ et l'apprentissage renforcé.

IA CONTRE ROBOTIQUE

Pour mieux comprendre l'intelligence artificielle en tant que domaine interdisciplinaire, il est intéressant de se pencher sur ses limites avec la robotique. Dans les deux cas, il est question de « machines » (car un algorithme est un robot, d'où l'abréviation « bot » désignant les programmes informatiques qui parlent), mais si la robotique est avant tout matérielle dans ses manifestations et fonctionne à la croisée de l'ingénierie mécanique, électrique et des sciences informatiques, l'intelligence artificielle est principalement⁷ immatérielle et virtuelle. Pour simplifier, à des fins d'analyse, nous pourrions dire que dans une « machine autonome », l'IA désigne l'intelligence et repose sur les fonctions cognitives, tandis que la robotique renvoie aux fonctions motrices.

La limite entre les fonctions cognitives et motrices est poreuse, car pour que la mobilité soit possible, il faut percevoir / connaître son environnement. Par exemple, les avancées de l'apprentissage machine ont joué un rôle essentiel dans la vision par ordinateur. Ceci étant dit, il n'est pas inutile de considérer la matérialité comme un critère de différenciation, car elle renvoie aux conséquences industrielles majeures qui affectent le potentiel de croissance des machines autonomes : plus les fonctions motrices sont complexes, plus la croissance est lente, et vice-versa. Les symboles les plus populaires de la convergence entre l'IA et la robotique sont les voitures sans chauffeur et les robots humanoïdes.

5 « Il existe différents types d'algorithmes utilisés dans le machine learning. La principale différence tient au fait que leur apprentissage est supervisé ou non. L'apprentissage non supervisé présente un algorithme d'apprentissage doté d'un ensemble de données non labellisées – ne correspondant pas à une « bonne » ou « mauvaise » réponse – et lui demande de trouver une structure parmi les données, par exemple en regroupant des éléments, en examinant un lot de photos de visages pour apprendre à repérer le nombre de personnes différentes. Le service Google News utilise cette technique pour regrouper des articles sur des sujets connexes, ce que font aussi les chercheurs en génomique pour rechercher des différences dans le degré d'expression d'un gène dans une population donnée, ou les professionnels du marketing pour segmenter un public cible. L'apprentissage supervisé implique le recours à un ensemble de données labellisées pour former un modèle, qui peut alors être utilisé pour classer ou trier un nouvel ensemble de données non encore examiné (par exemple, apprendre à repérer une personne en particulier dans un lot de photographies). Cela permet d'identifier des éléments dans les données (phrases clés, attributs physiques...), de prédire des issues probables, ou de repérer des anomalies ou des aberrations. Cette méthode revient en fait à proposer à l'ordinateur un ensemble de « bonnes réponses » et à lui demander d'en trouver d'autres. L'apprentissage profond est une forme d'apprentissage supervisé. » Rapport « Artificial Intelligence: opportunities and implications for the future of decision-making », 2016 (page 6) du Bureau pour la science du gouvernement du Royaume-Uni.

6 Brève infographie explicative de la Royal Society : <https://www.youtube.com/watch?v=bHvf7Tagt18>

7 L'IA fait référence à un programme fonctionnant sur un ordinateur, soit intégré, soit sur le cloud. Le terme renvoie donc à une notion très concrète, ce que nous avons tendance à oublier.

2 Les premiers processeurs des années 1970 pouvaient exécuter environ 92 000 commandes par seconde. Aujourd'hui, le processeur d'un smartphone moyen peut traiter des milliards de commandes par seconde.

3 IBM estime que 90 % des données dans le monde ont été créées au cours des deux dernières années. Si l'on examine diverses plateformes d'applications, les experts estiment que Spotify dispose de 10 pétaoctets de stockage (1 pétaoctet = 1 million de gigaoctets) ; eBay de 90 Po ; Facebook de 300 Po et Google de 15 000 Po. À titre de comparaison, le cerveau humain dispose de 2,5 pétaoctets de stockage. <https://royalsociety.org/topics-policy/projects/machine-learning/machine-learning-infographic/>

4 Brève infographie explicative de la Royal Society : <https://royalsociety.org/topics-policy/projects/machine-learning/machine-learning-infographic/>



IA CONTRE NEUROSCIENCES

Pour affiner notre compréhension de l'état actuel de l'intelligence artificielle et de ses évolutions possibles, nous devons nous intéresser à sa relation avec le champ interdisciplinaire des neurosciences. La renaissance de l'IA depuis 2011 est principalement attribuée au succès d'une branche de l'apprentissage machine appelé « deep artificial neural networks » (également appelé apprentissage profond), soutenu par une autre branche, l'« apprentissage renforcé ». Toutes deux prétendent émuler librement la manière dont le cerveau traite l'information, de la même manière qu'ils apprennent via la reconnaissance de formes.

Il est essentiel de ne pas exagérer la convergence actuelle entre l'IA et les neurosciences. Aujourd'hui, notre compréhension des processus biochimiques extrêmement complexes qui animent le cerveau humain reste inaccessible pour la science. En résumé, le cerveau humain demeure une « boîte noire ». Si les neurosciences savent de quelle manière fonctionne le cerveau, c'est surtout en établissant des corrélations entre des données d'entrée et de sortie. En réalité, les concepteurs d'algorithmes ne peuvent pas se baser sur grand-chose, surtout quand on sait que l'apprentissage machine continue à opérer exclusivement dans le domaine des statistiques et sur des systèmes informatiques à base de silicium, qui sont radicalement différents des cerveaux biologiques. Nous devrions assister à une convergence beaucoup plus significative entre l'IA et les neurosciences un peu plus tard au cours du siècle actuel, quand nous aurons percé les mystères de la « boîte noire » et cherché à comprendre le cerveau humain de façon plus approfondie.

L'intelligence artificielle et nos cerveaux biologiques ayant suivi des évolutions très différentes, deux conséquences notables sont à souligner. Tout d'abord,

les humains peuvent développer de façon fiable la reconnaissance de formes et généraliser les connaissances transférables à partir d'un très petit nombre d'occurrences, mais nous avons généralement des difficultés à reproduire et à transférer les processus d'apprentissage d'une matière éducative à une autre. Les machines, au contraire, ont besoin de gros volumes de données⁸ pour parvenir à la reconnaissance des formes et peinent à généraliser les connaissances. En revanche, elles excellent dans le transfert et la reproduction de la reconnaissance de formes à grande échelle quand elles l'ont déjà effectuée. L'exemple le plus connu est sans doute la reconnaissance faciale. Ensuite, même si les machines autonomes combinant les techniques les plus avancées d'IA et de robotique ont toujours du mal à reproduire les fonctions motrices non cognitives élémentaires maîtrisées par la plupart des animaux (par exemple, marcher ou manipuler un objet), elles s'avèrent de plus en plus souvent capables de dépasser les performances humaines dans un certain nombre de fonctions cognitives complexes, comme la reconnaissance d'images en radiologie ou les tâches nécessitant un grand nombre de calculs.

INTELLIGENCE ARTIFICIELLE « ÉTROITE » CONTRE INTELLIGENCE ARTIFICIELLE « GÉNÉRALE »

L'avant-dernière notion à prendre en compte aux fins de mieux définir et comprendre ce que nous voulons dire par intelligence artificielle est la frontière entre l'intelligence artificielle étroite (ANI, pour *Artificial Narrow Intelligence*, également appelée IA « faible ») et l'intelligence artificielle générale (AGI pour *Artificial General Intelligence*, également appelée IA « forte »). Pour la plupart des spécialistes, l'AGI fait référence à la capacité de la machine autonome à effectuer toute tâche intellectuelle pouvant être réalisée par un humain. Cela passe notamment par la généralisation et l'abstraction de l'apprentissage sur un ensemble de fonctions cognitives. Pour l'instant, le transfert de l'apprentissage de façon autonome et agile d'un domaine à un autre n'en est qu'à ses balbutiements⁹.

⁸ À titre de comparaison, un enfant doit être exposé à environ cinq ou dix images d'éléphants pour être en mesure de reconnaître ensuite un éléphant. Pour un réseau neuronal profond, il faut plus d'un million d'images.

⁹ Cf. ici le domaine émergent du « transfert des connaissances », perçu par un nombre grandissant d'experts, Google Deepmind constituant une voie possible de progrès accéléré dans les décennies à venir. Cf. les articles <https://hackernoon.com/transfer-learning-and-the-rise-of-collaborative-artificial-intelligence-41f9e2950657#.n5aboetnm> et <https://medium.com/@thoszymkowiak/deepmind-just-published-a-mind-blowing-paper-pathnet-f72b1ed38d46#.6fnivpish>

D'après les experts, les systèmes les plus avancés d'intelligence artificielle, comme le célèbre *IBM Watson*¹⁰ ou Google's *AlphaGo*¹¹, sont toujours au stade « étroit » (faible), dans le sens où ils fonctionnent uniquement dans les limites des scénarios pour lesquels ils sont programmés. Même s'ils sont capables de généraliser la reconnaissance de formes, par exemple de transférer des connaissances apprises dans le cadre de la reconnaissance des images vers la reconnaissance de la parole¹², nous sommes toujours très loin de la versatilité de l'esprit humain. Cela devrait changer avec la convergence de l'apprentissage machine et des neurosciences dans les décennies à venir, mais les experts ne sont pas d'accord sur les possibilités, ni le calendrier, de la marche vers l'AGI. Certains estiment que cela n'arrivera jamais, d'autres qu'il faudra au moins un siècle, d'autres parlent d'un délai de trente ans, enfin certains parient sur dix ans¹³.

Au-delà de ces querelles d'experts, le fait de s'appuyer uniquement sur les limites entre l'intelligence artificielle étroite et générale pose problème en raison de sa mesure de référence : l'intelligence humaine. Comme nous n'avons encore qu'une compréhension imparfaite des processus complexes du fonctionnement du cerveau et de la manière dont la conscience et l'intelligence humaines se manifestent, il peut être risqué de n'évaluer les effets transformatifs de l'IA que par la loupe de l'intelligence humaine. Ce raisonnement pourrait nous exposer à des angles morts considérables et entraîner des pseudo-avancées masquant des implications socio-économiques majeures qu'il nous faudrait pourtant anticiper pour pouvoir nous y adapter. Notre recommandation serait de mener des recherches plus approfondies afin de mieux définir cette frontière, en vue de cartographier son environnement et imaginer son évolution avec plus de précision.

Par-delà leurs désaccords, les experts se rejoignent globalement sur deux points. Premièrement, les conséquences socio-économiques de l'essor actuel de l'ANI seront importantes. Elles généreront de nouvelles opportunités, de nouveaux risques et de nouveaux défis. Deuxièmement, l'avènement d'une AGI au cours du siècle actuel pourrait amplifier ces conséquences d'au moins un ordre de grandeur. Des recherches plus approfondies sont nécessaires pour cartographier et comprendre la nature de ces conséquences, ainsi que leur rôle sur les plans social et économique.

L'INSOLUBLE QUESTION DE LA CONSCIENCE ET LES SPÉCULATIONS SUR LA POSSIBILITÉ D'UNE EXPLOSION D'INTELLIGENCE

La dernière frontière à explorer pour imaginer l'avenir de l'IA est celle de la conscience. Dans ce domaine, il existe un vaste consensus entre experts : ni les systèmes d'IA les plus avancés qui existent aujourd'hui, ni ceux qui seront probablement développés dans les décennies à venir, ne sont/seront dotés de la capacité de conscience. Les machines (des programmes fonctionnant sur des systèmes d'ordinateurs connectés et capables de détection) ne sont pas conscientes d'elles-mêmes et cette « fonctionnalité » ne sera peut-être jamais possible. Mais encore une

fois, prudence : la science étant encore loin d'avoir expliqué les mystères de la sensibilité animale et de la conscience humaine, cette barrière n'est peut-être pas aussi infranchissable qu'il n'y paraît.

Enfin, un scénario certes spéculatif mais pouvant avoir des conséquences majeures à long terme, aussi présent sur les médias grand public que dans les cercles de spécialistes : « la singularité technologique ». D'après un scénario très contesté, popularisé par Ray Kurzweil, inventeur, futuriste et aujourd'hui Directeur de l'ingénierie chez Google, l'essor de l'IA pourrait déboucher sur une « explosion de l'intelligence » dès 2045. Celle-ci résulterait de l'émergence d'une super intelligence artificielle (ASI pour *Artificial Super Intelligence*) : une IA auto-récursive s'améliorant de manière exponentielle, qui pourrait suivre d'assez près (quelques décennies, voire moins) l'avènement d'une AGI (intelligence artificielle générale). Si ce scénario venait à se produire, il aurait naturellement des conséquences existentielles pour l'humanité et pour la vie intelligente¹⁴. Nous recommandons la tenue d'un débat raisonnable parmi la communauté des experts et la société au sens large, sur les possibilités et conséquences d'une ASI, afin de faire des choix responsables en matière d'investissement et de gestion du risque. Il sera essentiel d'encadrer la conversation de manière adéquate : transparence et modération seront essentielles.

Pour être clairs, nous avons exclu de l'analyse présentée dans la suite de cet article les scénarios de l'AGI ou de l'ASI. Afin de réduire encore la définition à des fins pratiques d'analyse, l'intelligence artificielle telle que mentionnée ci-dessous renverra aux algorithmes d'apprentissage machine, qui associent diverses techniques (ex. apprentissage profond) et disposent de capteurs et autres programmes informatiques et algorithmes. Ils sont capables de percevoir¹⁵, d'appréhender¹⁶ et d'agir¹⁷ sur le monde, d'apprendre de leurs expériences et de s'adapter au fil du temps.

10 Cf. <https://www.ibm.com/cognitive/>

11 Cf. <https://deepmind.com/research/alphago/>

12 Cf. <https://hackernoon.com/transfer-learning-and-the-rise-of-collaborative-artificial-intelligence-41f9e2950657#.n5aboetnm>

13 Une analyse détaillée des études menées sur l'IA par *AI Impacts* en 2015 tire cette conclusion : « Si l'on regroupe plusieurs significations légèrement différentes de l'« IA de niveau humain », selon les estimations, il y aurait 10 % de chances de voir une IA de niveau humain en moyenne autour des années 2020 (données issues de sept enquêtes) ; pour 50 % de chances de voir une IA de niveau humain, les estimations tablent en moyenne sur la période entre 2035 et 2050 (données issues de sept enquêtes). Sur trois enquêtes menées ces dernières décennies, demandant des prédictions et non des probabilités, deux proposent des estimations moyennes de l'arrivée d'une IA de niveau humain dans les années 2050 et une en 2085. Une petite enquête informelle s'intéressant au niveau auquel nous nous trouvons (et non à celui où nous devons aller), table sur plus d'un siècle pour arriver à une IA de niveau humain. Elle est donc en rupture avec les autres enquêtes. Les participants sont pour la plupart des experts de l'IA ou des domaines connexes, avec un vaste contingent d'autres disciplines. Parmi les participants à l'enquête, les personnes particulièrement optimistes quant à une arrivée prochaine de l'IA de niveau humain semblent quelque peu surreprésentées ». Cf. <http://aiimpacts.org/ai-timeline-surveys/>

14 Pour en savoir plus. Cf. Nick Bostrom, *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies*, Oxford University Press, 2014.

15 Le traitement informatisé de l'audio et de la vidéo, par exemple, est capable de percevoir activement le monde qui l'entoure en acquérant et en traitant des images, des sons et des discours. La reconnaissance faciale et de la parole font partie des applications les plus classiques.

16 Les moteurs de traitement du langage naturel et les moteurs d'inférence peuvent permettre l'analyse des informations recueillies. La traduction des textes fait partie des applications les plus classiques.

17 Un système d'IA peut effectuer des actions cognitives telles que la prise de décision (par exemple une demande de crédit ou un diagnostic de tumeur) ou bien entreprendre des actions dans le monde physique (par exemple, l'assistance au freinage ou le pilote automatique intégral sur les véhicules).

DYNAMIQUE ACTUELLE ET PRINCIPAUX ACTEURS

OMNIPRÉSENCE DE L'IA

Deux macro-tendances soutiennent la montée en puissance de l'intelligence artificielle : l'accès illimité au calcul haute performance sur le cloud (un marché qui devrait atteindre 70 milliards de dollars en 2015)¹⁸ et l'expansion continue du big data, qui affiche un taux de croissance annuel composé supérieur à 50 % depuis 2010¹⁹. Les systèmes IA influent d'ores et déjà sur notre mode de vie, sur notre vie professionnelle et sur nos relations sociales. Le marché a déjà mis à notre disposition des assistants personnels virtuels, des moteurs de recommandation, des voitures sans chauffeur, des systèmes de surveillance, des outils de prévision des récoltes, des réseaux intelligents, des drones, des services de banque et de courtage ainsi que des machines de séquençage génétique. De plus en plus de multinationales ont engagé une transformation de leur modèle économique afin de s'appuyer sur les données et sur les analyses prédictives pour être capables d'anticiper les gains de productivité qui résulteront de l'essor de l'IA.

Leur évolution se nourrit, d'une part, de leur quête de solutions technologiques permettant d'affronter les défis planétaires les plus urgents, notamment le changement climatique, la croissance et le développement, la sécurité ou la démographie, qui prennent une ampleur croissante dans le contexte urbain. D'autre part, elle est aiguillonnée par une concurrence stratégique internationale permanente, qui incite les États-nations à financer la recherche scientifique et l'innovation en vue d'aboutir à une domination technologique. Celle-ci est ensuite amplifiée par des acteurs privés mondiaux dans leur volonté de devenir des plateformes « go-to ». Même si l'ambiguïté des frontières définitionnelles de l'« intelligence artificielle » entrave la possibilité de générer une classification ou un classement robustes des pays les plus avancés en matière d'IA, les capacités en informatique et en technologies de l'information et de la communication (TIC) peuvent nous y aider. Ainsi, les États-Unis, la Chine, la Russie, le Japon, la Corée du Sud, le Royaume-Uni, la France, l'Allemagne et Israël semblent être les pays dominants dans le domaine de l'IA. Compte tenu de leurs aptitudes technoscientifiques et des dimensions de leur marché, l'Inde et le Brésil devraient également figurer dans ce groupe, même s'ils doivent encore concrétiser leur potentiel.

LE RÔLE DES GOUVERNEMENTS

Les gouvernements nationaux continueront probablement à jouer, comme ils l'ont toujours fait,

18 https://www.accenture.com/us-en/_acnmedia/PDF-33/Accenture-Why-AI-is-the-Future-of-Growth.pdf

19 https://www.accenture.com/us-en/_acnmedia/PDF-33/Accenture-Why-AI-is-the-Future-of-Growth.pdf

“DE PLUS EN PLUS DE MULTINATIONALES ONT ENGAGÉ UNE TRANSFORMATION DE LEUR MODÈLE ÉCONOMIQUE AFIN DE POUVOIR S'APPUYER SUR LES DONNÉES ET SUR LES ANALYSES PRÉDICTIVES POUR ÊTRE CAPABLES D'ANTICIPER LES GAINS DE PRODUCTIVITÉ QUI RÉSULTERONT DE L'ESSOR DE L'IA.”

un rôle clé dans la promotion de l'IA via l'octroi de budgets éducation, recherche et développement plus élevés pour la défense, la sécurité, les soins de santé, la science et la technologie (c'est-à-dire, l'informatique, les neurosciences, les TIC), l'infrastructure (notamment le transport, l'énergie, les soins de santé et les finances), et via des politiques en faveur de l'innovation. L'IA est de plus en plus perçue comme une source de domination technologique à l'ère de l'information, alors que les univers numérique et physique fusionnent pour donner lieu à un monde hybride. Ainsi, de plus en plus de pays ont déjà lancé leur stratégie nationale pour l'IA, ou s'apprentent à le faire.

Aux États-Unis, pays d'origine de l'expression « intelligence artificielle », qui a joué un rôle pionnier en la matière depuis les débuts, dans les années 1950, l'administration Obama avait lancé l'année dernière une initiative interorganisations portant sur la « Préparation pour l'avenir de l'intelligence artificielle »²⁰. Cette initiative de haut niveau avait abouti à la publication du « Plan stratégique national de recherche et développement de l'intelligence artificielle »²¹ et de deux rapports²². Historiquement, l'Agence de recherche de pointe du ministère américain de la Défense (DARPA) et, plus récemment, l'Activité de projets de recherche avancée sur l'intelligence (IARPA) ont toujours mis en place des investissements à long terme et à haut risque en matière d'intelligence artificielle, jouant ainsi un rôle déterminant dans de nombreuses découvertes technoscientifiques dans le domaine. L'année dernière, le ministère américain de la Défense (DoD) a dévoilé sa stratégie dite du « Third Offset »²³, assortie d'un investissement global sur cinq ans de 18 milliards de dollars²⁴. Pour entretenir la domination technologique, cette macro-stratégie entend placer l'intelligence artificielle et les systèmes autonomes au premier plan de tous les réseaux numériques américains, ainsi que des processus opérationnels, de planification et de support. L'objectif opérationnel du DoD consiste à rendre les processus plus rapides et plus efficaces. En janvier 2017, un rapport publié par un groupe de scientifiques d'élite qui conseille le gouvernement américain sur les problématiques technoscientifiques sensibles a confirmé l'importance stratégique de la montée en puissance des capacités en matière d'IA²⁵.

Entre-temps, le gouvernement chinois a dévoilé au mois de mai 2016 un ambitieux plan national sur trois ans. Celui-ci a été conçu à la fois par

20 <https://obamawhitehouse.archives.gov/blog/2016/05/03/preparing-future-artificial-intelligence>

21 https://www.nitrd.gov/PUBS/national_ai_rd_strategic_plan.pdf

22 Bureau exécutif du Président des États-Unis, « Preparing for the Future of Artificial Intelligence », octobre 2016. Et « Artificial Intelligence, Automation and the Economy », décembre 2016.

23 DEPSECDEF, <http://www.defense.gov/News/Speeches/Speech-View/Article/606641/the-third-us-offset-strategy-and-its-implications-for-partners-and-allies>. La stratégie du « First Offset » fait référence au développement des armes nucléaires ; le « Second Offset », aux munitions à guidage de précision.

24 Mackenzie Eaglen, « What is the Third Offset Strategy », *Real Clear Defense*, février 2016. Remarque : cet investissement de 18 milliards de dollars sur cinq ans dépasse largement le cadre de l'intelligence artificielle. http://www.realcleardefense.com/articles/2016/02/16/what_is_the_third_offset_strategy_109034.html

25 JASON, The MITRE Corporation, *Report on Perspectives on Research in Artificial Intelligence and Artificial General Intelligence Relevant to DoD*, janvier 2017. <https://fas.org/irp/agency/dod/jason/ai-dod.pdf>



la Commission nationale pour le développement et la réforme, par le ministère de la Science et de la Technologie, par le ministère de l'Industrie et des Technologies de l'information, et par l'administration chinoise en charge du cyberspace. Le gouvernement envisage de créer un marché de 15 milliards de dollars d'ici à 2018 en investissant dans la recherche et en soutenant le développement de la base technindustrielle de l'IA chinoise. Fait intéressant, le pays a dépassé l'année dernière les États-Unis en nombre d'articles publiés chaque année sur le « deep learning »²⁶. Le taux de croissance a été remarquablement élevé, ce qui témoigne du changement très rapide des priorités de recherche de la Chine.

Au-delà des États-Unis et de la Chine, le Japon, la Corée du Sud²⁷, la France²⁸, le Royaume-Uni²⁹ et l'Allemagne sont également en train de développer des plans et des stratégies scientifiques dans les domaines de l'intelligence artificielle, de la robotique et des autres secteurs connexes.

LA PLATEFORME COMMERCIALE

D'un point de vue commercial, il semble que l'on se dirige vers un oligopole planétaire de l'IA, dominé par une dizaine de multinationales américaines (*Google, Apple, Facebook, Amazon, Microsoft* et *IBM*) et chinoises (*Baidu, Alibaba, Tencent, Xiaomi*).

Pour jouer un rôle à l'échelle mondiale, la longueur du code est aujourd'hui beaucoup moins importante que la dimension des bases de données. Pour réussir un exercice de reconnaissance de formes, un système d'intelligence

artificielle a besoin de visualiser des millions de photos d'animaux ou de voitures. Quant à Facebook, il s'appuie sur les dix milliards d'images publiées chaque jour par ses utilisateurs pour continuer d'améliorer ses algorithmes de reconnaissance visuelle. De la même façon, Google DeepMind a pioché énormément de vidéos sur YouTube pour former son logiciel de reconnaissance d'images. Ainsi donc, les internautes constituent le principal vivier permettant de former les systèmes d'intelligence artificielle à comprendre leurs comportements et leurs interactions.

L'efficacité des systèmes d'IA dépend également des performances de microprocesseurs spécifiques qui jouent un rôle croissant dans l'infrastructure IA sur le cloud. Par exemple, la phase de formation des réseaux neuronaux profonds repose en grande partie sur les « processeurs graphiques » (GPU), des dispositifs initialement conçus pour les jeux vidéo qui ont gagné en puissance au fil des années³⁰. Pour la phase de déploiement, les géants du numérique ont eu tendance à développer des processeurs dédiés. Par exemple, Google a conçu le « Tensor Processing Unit » (TPU), tandis que Microsoft a transformé son « Field Programmable Gate Array » (FPGA).

Les géants du numérique bâtissent des écosystèmes autour du service IA qu'ils contrôlent dans l'espoir de devenir la principale plateforme d'accès à l'IA, celle qui accueillera les données des usagers et des entreprises. Du côté de Google et d'IBM, on semble avoir décidé de vendre de l'IA via le modèle économique « software-as-a-service » (SAAS). Les startups sont elles aussi très actives dans ce domaine. Selon CB Insight, la valeur des fusions et acquisitions dans le secteur de l'IA est passée de 160 millions de dollars en 2012 à plus de 658 millions de dollars en 2016, tandis que les financements connus ont bondi de 589 millions de dollars à plus de 5 milliards de dollars sur la même période³¹. Près de 62 % des transactions bouclées en 2016 concernaient des startups américaines, contre 79 % en 2012³², les startups britanniques, israéliennes, indiennes et canadiennes arrivant ensuite. Le marché de l'IA devrait représenter entre 40 et 70 milliards de dollars d'ici à 2020, la marge d'erreur étant notamment liée aux frontières définitionnelles³³.

Les algorithmes de machine learning ayant besoin d'un très grand volume de données pour parvenir à une reconnaissance efficace des formes, la masse critique du marché grand public devrait s'avérer décisive dans la constitution des bases technindustrielles de l'IA, à l'instar des capacités technoscientifiques.

26 <https://www.washingtonpost.com/news/the-switch/wp/2016/10/13/china-has-now-eclipsed-us-in-ai-research/>

27 Le gouvernement sud-coréen a annoncé en mars 2016 un plan d'investissement en R&D de 863 millions de dollars sur cinq ans portant sur l'IA. <http://www.nature.com/news/south-korea-trumpets-860-million-ai-fund-after-alphago-shock-1.19595>

28 Le gouvernement français a annoncé en janvier 2017 qu'il travaille sur une stratégie nationale en IA, dont la publication était prévue en mars 2017. <http://www.gouvernement.fr/en/franceia-the-national-artificial-intelligence-strategy-is-underway>

29 Le gouvernement du Royaume-Uni a annoncé en janvier que l'IA serait au cœur de sa « Stratégie industrielle moderne » post-Brexit. <http://www.cbronline.com/news/verticals/central-government/modern-industrial-strategy-theresa-may-bets-ai-robotics-5g-uks-long-term-future/>. Cf. également le rapport du Bureau scientifique du gouvernement du Royaume-Uni « Artificial Intelligence: opportunities and implications for the future of decision-making », 2016 (page 6). https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/566075/gs-16-19-artificial-intelligence-ai-report.pdf

30 <http://www.nvidia.com/object/what-is-gpu-computing.html>. Voir aussi JASON, *Report on Perspectives on Research in Artificial Intelligence and Artificial General Intelligence Relevant to DoD*, (p. 7 et 15). Ibid.

31 CB Insights, « The 2016 AI Recap: Startups See Record High In Deals And Funding », janvier 2017, <https://www.cbinsights.com/blog/artificial-intelligence-startup-funding/>. À noter que ces chiffres ne tiennent pas compte du marché chinois.

32 Ibid.

33 <http://techemergence.com/valuing-the-artificial-intelligence-market-2016-and-beyond/>; et https://www.bofam.com/content/dam/boamimages/documents/PDFs/robotics_and_ai_condensed_primer.pdf