artificial
intelligence
index

Rapport annuel 2018

Comité de pilotage

Yoav Shoham *(Président)*
Université de Stanford

Raymond Perrault
SRI International

Erik Brynjolfsson
MIT

Jack Clark
OpenAI

James Manyika
McKinsey Global Institute

Juan Carlos Niebles
Université de Stanford

Terah Lyons
Partnership on AI

John Etchemendy
Université de Stanford

Barbara Grosz
Université de Harvard

Chef de projet

Zoe Bauer

Voici le rapport annuel 2018 de l'AI Index

Notre mission est de poser les bases d'une discussion autour des données sur l'intelligence artificielle.

L'AI Index a pour but de suivre, compiler, distiller et visualiser toutes les données relatives à l'intelligence artificielle. Il aspire à offrir une base de données et d'analyses aussi complète que possible aux décideurs, aux chercheurs, aux cadres supérieurs, aux journalistes et au grand public pour développer les connaissances sur le vaste sujet qu'est l'intelligence artificielle.

Comment citer ce rapport :

Yoav Shoham, Raymond Perrault, Erik Brynjolfsson, Jack Clarck, James Manyika, Juan Carlos Niebles, Terah Lyons, John Etchemendy, Barbara Grosz et Zoe Bauer, « Rapport annuel 2018 de l'AI Index », Comité de pilotage de l'AI Index, Human-Centered AI Initiative, Université de Stanford, Stanford, Californie, décembre 2018.

® 2018 – Stanford University. Le « Rapport annuel 2018 de l'AI Index » est disponible sous licence Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 (International) https://creativecommons.org/licences/by-nd/4.0/legalcode

Table des matières

Introduction au Rapport annuel 2018 de l'AI Index 5
Rapport de l'IA Index : un aperçu 6
Volume d'activité 8
Recherche 9
Articles publiés 9
Inscriptions universitaires 21
Participation 25
Systèmes d'exploitation robotique 29
Industrie 30
Startups / Investissements 31
Emploi 33
Brevets 35
Adoption de l'IA 36
Impact sur les revenus 40
Installations de robots 41
Open Source 42
Distinctions accordées par GitHub 42
Intérêt public 43
Couverture médiatique 43
Mentions par des gouvernements 44
Performances techniques 46
Vision 47
Langage 50
Autres mesures 54
Mesures dérivées 55
Initiatives gouvernementales 57
Performances de niveau humain : étapes-clefs 59
Que nous manque-t-il ? 63
Remerciements 66
Annexes 69

Introduction au Rapport annuel 2018 de l'AI Index

Nous sommes heureux de vous présenter le Rapport annuel 2018 de l'AI Index. Cette année, le rapport répond à deux objectifs : le premier est de mettre à jour les indicateurs de l'année dernière, le second de donner un contexte général chaque fois que c'est possible. La mise à jour des indicateurs est une des missions-clefs de l'AI Index – pour poser les bases d'une discussion autour de l'intelligence artificielle, il faut suivre au jour le jour ses évolutions volumétriques et techniques. Le second objectif est également essentiel. Il ne peut y avoir d'histoire de l'intelligence artificielle sans une perspective globale. Le rapport 2017 se basait essentiellement sur les activités nord-américaines, découlant d'un nombre limité de partenariats internationaux initiés par le projet plutôt que d'un parti pris. Cette année, nous commençons à réduire ce fossé. Nous sommes conscients qu'il nous reste encore beaucoup de chemin à parcourir – par la mise en place d'une collaboration accrue et de partenariats internationaux notamment – pour que ce rapport soit vraiment complet.

Toutefois, nous pouvons affirmer que l'intelligence artificelle *est internationale*. 93% des articles sur l'intelligence artificielle publiés sur Scopus ne proviennent pas des USA. 28% proviennent d'Europe – le pourcentage le plus élevé pour une région donnée. Le taux d'inscription aux cours universitaires traitant de l'intelligence artificielle (IA) et du machine learning (ML) augmente partout dans le monde, plus particulièrement à l'université de Tsinghua (Chine), où le taux d'inscription aux cours d'IA et de ML pour l'année universitaire 2017 a été multiplié par 16 par rapport à 2010. On constate également des progrès notables en dehors des USA, de la Chine et de l'Europe. La Corée du Sud et le Japon occupent les deuxième et troisième places de production de brevets liés à l'IA en 2014, juste derrière les USA. Par ailleurs, l'Afrique du Sud a accueilli la deuxième édition de la conférence Deep Learning Indaba, l'un des plus gros événements sur le ML au monde, laquelle a attiré plus de 500 participants d'une vingtaine de pays africains.

La diversité de l'IA n'est pas seulement géographique. À ce jour, plus de 50% des membres du Partnership on AI sont des associations à but non lucratif – parmi lesquelles l'ACLU (Union américaine pour les libertés civiles), l'Oxford Future of Humanity Institute et le Programme de Développement des Nations Unies. En outre, on remarque une prise de conscience accrue sur l'importance de la diversité des genres et des races dans les progrès de l'IA. Par exemple, de plus en plus d'organisations, dont AI4ALL et Women in Machine Learning (WiML), œuvrent pour encourager l'implication des groupes sous-représentés.

Rapport de l'AI Index : un aperçu

Ce rapport se divise en quatre parties :

1. Données : volume d'activité et performances techniques,
2. Autres mesures : initiatives gouvernementales récentes, mesures dérivées et performances de niveau humain,
3. Discussion : que nous manque-t-il ?
4. Annexes.

DONNÉES

Les indicateurs du ***volume d'activité*** évaluent l'implication des universitaires, des entreprises, des entrepreneurs et du grand public dans des activités liées à l'IA. Les données volumétriques vont du nombre d'étudiants qui suivent des cours sur l'IA au pourcentage de candidatures féminines reçues pour des emplois liés à l'IA, en passant par la croissance du financement en capital-risque des startups spécialisées en IA.

Les indicateurs de ***performances techniques*** rendent compte de l'évolution des performances en termes d'IA au fil du temps. Par exemple, nous mesurons la qualité des réponses apportées aux questions posées et la vitesse à laquelle les ordinateurs peuvent être formés pour détecter des objets.

Le rapport 2018 inclut également une granularité à l'échelle des pays par rapport aux données de l'an passé : taux d'installation de robots, taux de participation aux conférences liées à l'IA, etc. De plus, nous avons ajouté de nouveaux indicateurs et champs de recherche : brevets, téléchargements de systèmes d'exploitation des robots, indicateur GLUE et classement COCO. Globalement, nous constatons une continuité dans les conclusions auxquelles nous étions parvenus l'année dernière : l'activité liée à l'IA augmente à peu près partout dans le monde et les performances technologiques s'améliorent dans tous les domaines. Certains points-clefs de l'an passé sont particulièrement intéressants : l'amélioration considérable du langage naturel et la sous-représentativité des femmes dans les salles de classe.

AUTRES MESURES

Comme l'année dernière, dans la partie sur les ***mesures dérivées***, nous faisons un rapprochement avec les tendances actuelles. Nous nous intéressons également à une mesure d'exploitation, l'AI Vibrancy Index (indice de vitalité de l'IA), qui combine des tendances académiques et industrielles pour quantifier la vitalité de l'IA en tant que domaine d'expertise.

Cette année, nous proposons un nouvel indicateur : les ***initiatives gouvernementales récentes***. Il s'agit d'une vue d'ensemble simplifiée des investissements gouvernementaux récents sur l'IA. Nous avons étudié des initiatives américaines, chinoises et européennes. Nous espérons inclure plus d'indicateurs gouvernementaux à l'avenir, en collaborant avec de nouveaux organismes.

La partie sur les ***performances de niveau humain*** repose sur une chronologie de cas où l'IA a fait preuve de capacités humaines, voire surhumaines. Vous trouverez dans cette partie quatre nouveaux exploits réalisés en 2018.

Enfin, pour engager un débat au sein de la communauté IA, la partie ***Que nous manque-t-il ?*** présente des suggestions d'experts pour que l'AI Index soit encore plus complet et représentatif.

ANNEXES

Les ***annexes*** fourniront à nos lecteurs une liste / description des sources, méthodologies et nuances utilisées. Nos annexes contiennent également des données complémentaires pour quasiment tous les graphiques présentés dans le rapport. Nous espérons que les membres de la communauté IA pourront interagir avec les données qui sont le plus pertinentes pour chacun.

SYMBOLIQUE

Nous intégrons le symbole représentant un globe (présenté ci-contre) lorsque nous parlons de l'universalité de l'IA (ce qui inclut des comparaisons entre pays, des focus sur des régions autres que les USA et des données sur la diversité dans la communauté IA).

VOLUME D’ACTIVITÉ

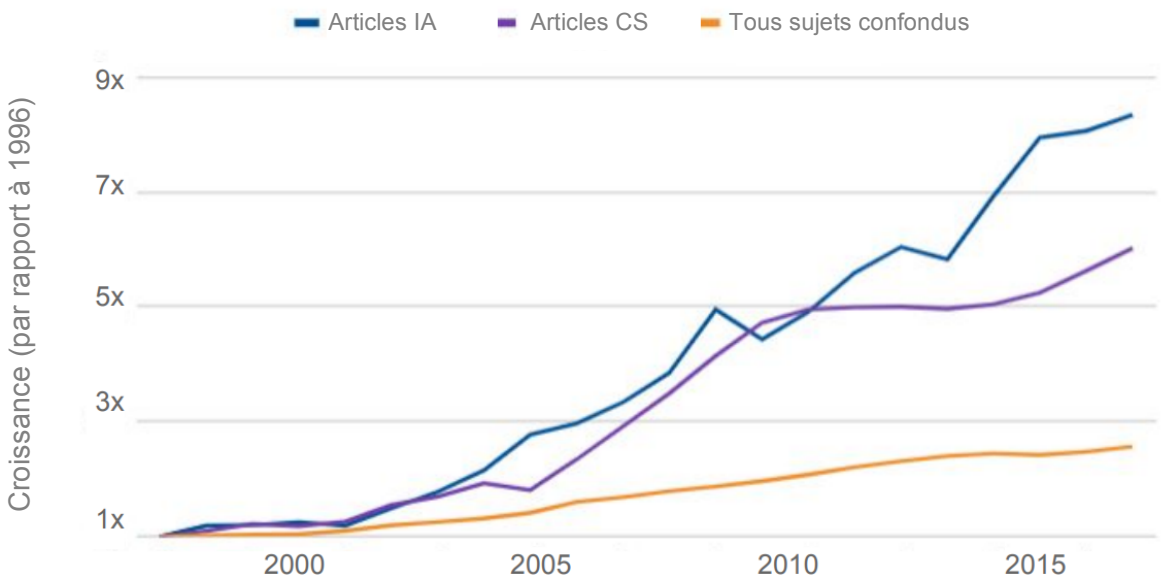
Articles publiés : articles par sujet

Le graphique ci-après montre l'évolution des publications annuelles d'articles universitaires par rapport à 1996. Il compare les publications dans tous les domaines, de l'informatique (*Computer science*, CS) à l'IA.

La hausse du nombre d'articles traitant d'IA reste supérieure à celle des articles traitant d'informatique, ce qui laisse à penser que le nombre croissant d'articles sur l'IA est motivé par un intérêt grandissant pour l'informatique.

Voir annexe 1 pour les données et la méthodologie.

Croissance des articles publiés annuellement, par sujet (1996-2017)
Source : Scopus



Note : Ce graphique utilise les mots-clefs « Intelligence artificielle » utilisés sur le moteur de recherche de Scopus et non l'approche Elsevier par mot-clef. Voir annexe pour plus de détails.

→ **L'IA distance l'informatique**
La publication d'articles liés à l'IA a été multipliée par 8 depuis 1996.
La publication d'articles liés à l'informatique a été multipliée par 6 sur la même période.

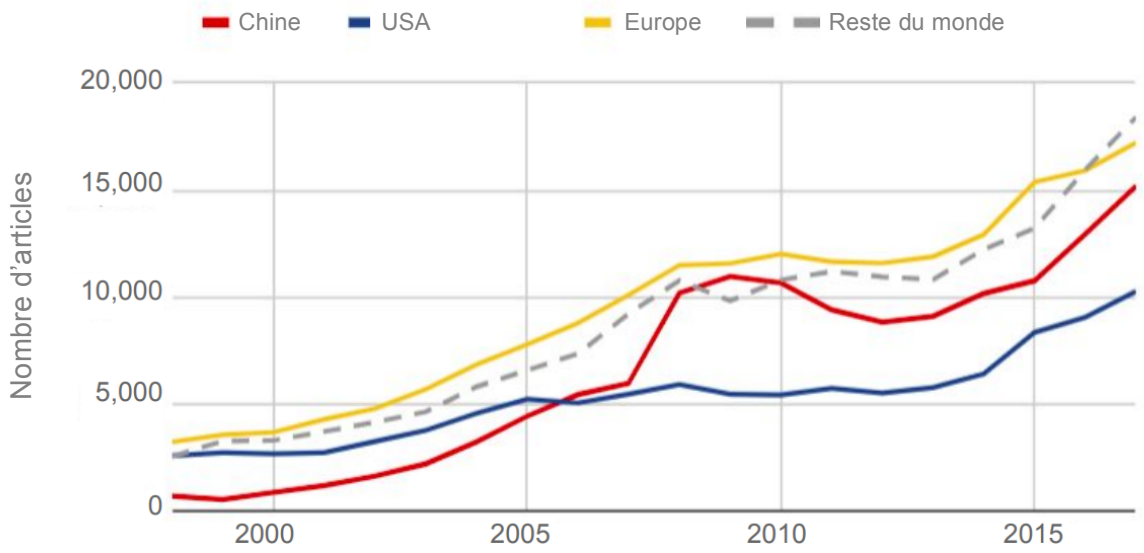
Articles publiés : articles par sujet

Le graphique ci-après montre le nombre de publications annuelles d'articles par région.

L'Europe a toujours été le plus grand pourvoyeur d'articles sur l'IA – 28% des articles relatifs à l'IA publiés sur Scopus en 2018 proviennent d'Europe. Dans le même temps, le nombre d'articles publiés en Chine a augmenté de 150% entre 2007 et 2017, et ce malgré un taux de publication en dents de scie constaté en 2008.

Voir annexe 2 pour les données et la méthodologie.

Articles sur l'IA publiés chaque année sur Scopus, par région (1998-2017)
Source : Elsevier



Note : Nous émettons l'hypothèse que la hausse des articles publiés en Chine aux alentours de 2008 est le résultat du Programme National de Développement des Sciences et des Technologies à moyen et long-terme (2006-2020) et d'autres programmes gouvernementaux qui offrent financement et directives sur la recherche en IA. De même, le FP7 (2007-2013) et d'autres programmes européens de recherche sur les sciences et les technologies ont probablement contribué à la légère hausse des publications en Europe entre 2008 et 2010.

→ **L'Europe est le plus grand pourvoyeur d'articles liés à l'IA**
En 2017, 28% des articles relatifs à l'IA publiés sur Scopus provenaient d'auteurs européens, suivis par les Chinois (25%) et les Américains (17%).

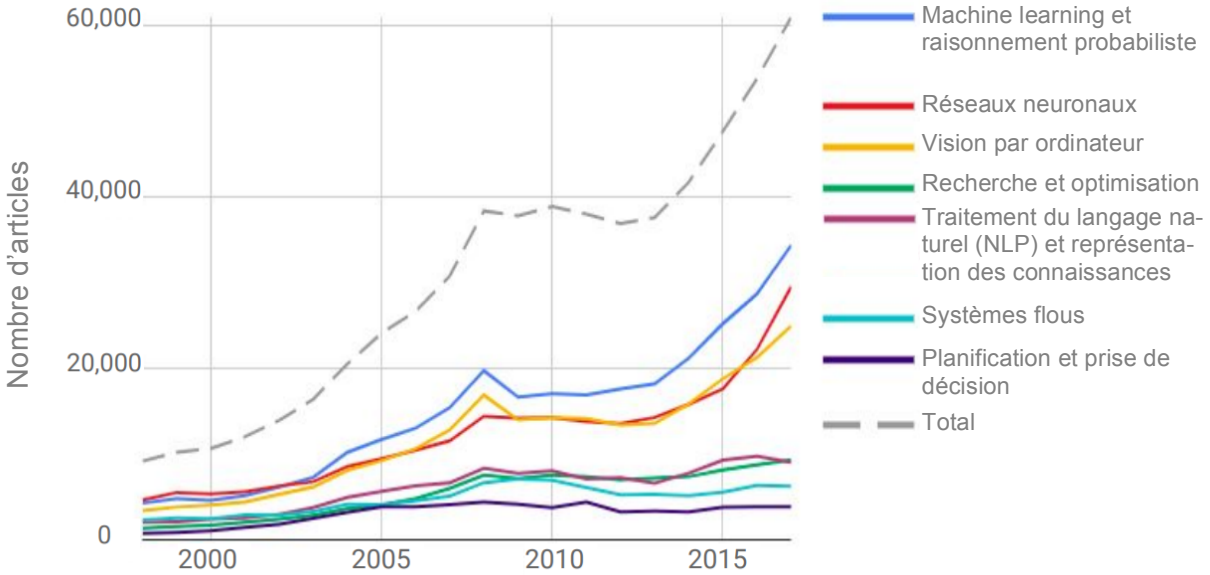
Articles publiés : articles par sous-catégorie

Le graphique ci-après montre le nombre d'articles relatifs à l'IA publiés sur Scopus, par sous-catégorie. Les sous-catégories ne sont pas mutuellement exclusives.

En 2017, 56% des articles entrent dans la sous-catégorie *Machine learning et raisonnement probabiliste* (contre 28% en 2010). Pour la plupart des sous-catégories mentionnées ci-après, les articles ont été publiés à une fréquence plus rapide sur la période 2014-2017 que sur la période 2010-2014 – c'est d'autant plus notable pour la sous-catégorie *Réseaux neuronaux*, qui enregistre un taux de croissance annuel cumulé (TCAC) de 3% entre 2010 et 2014 contre 37% entre 2014 et 2017.

Voir annexe 2 pour les données et la méthodologie.

Articles sur l'IA publiés sur Scopus, par sous-catégorie (1998-2017)
Source : Elsevier



→ **Le nombre d'articles publiés sur Scopus dans la sous-catégorie Réseaux neuronaux a eu un TCAC de 37% entre 2014 et 2017**

Articles publiés : articles publiés sur arXiv

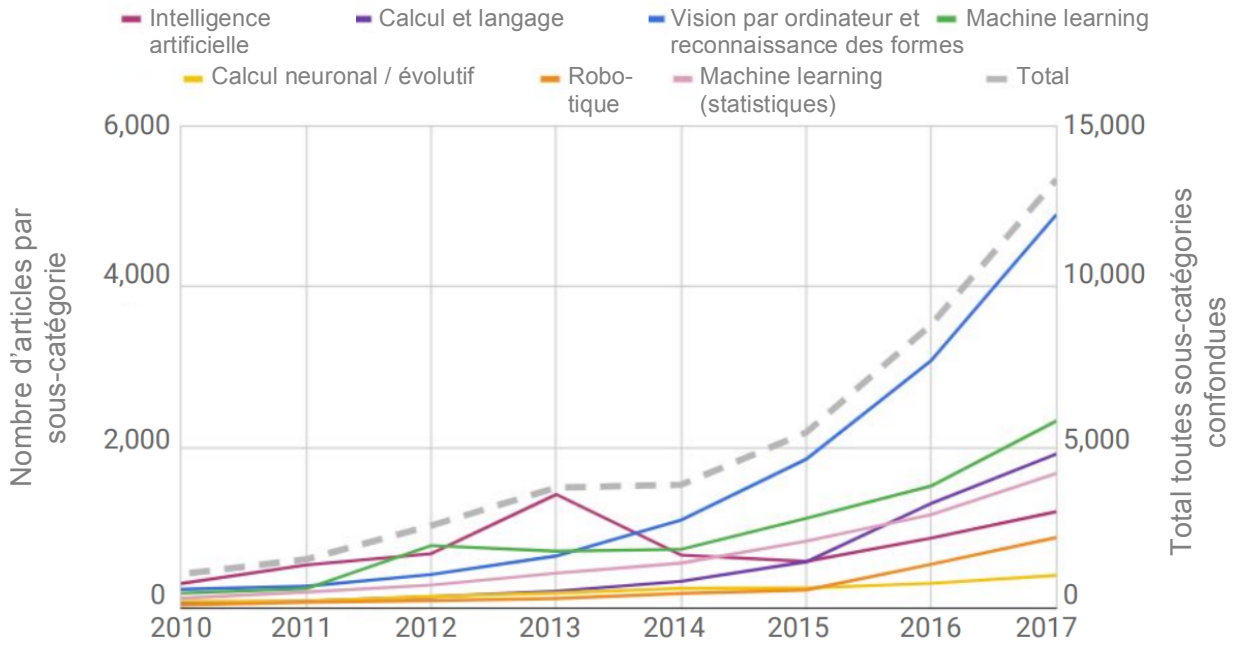
Le graphique ci-après montre le nombre d'articles relatifs à l'IA publiés sur arXiv, par sous-catégorie principale. L'axe de droite représente la somme des articles relatifs à l'IA publiés sur arXiv (représentée par la ligne grise en pointillés).

Le nombre d'articles relatifs à l'IA publiés sur arXiv augmente de manière générale et dans un certain nombre de sous-catégories. Cela démontre la tendance qu'ont les auteurs à diffuser leurs recherches, qu'elles aient été ou non validées par leurs pairs ou dans des conférences sur l'IA. Cela démontre également que ce domaine de recherche est très concurrentiel.

La sous-catégorie *Vision par ordinateur et reconnaissance des formes* est la plus représentée sur arXiv depuis 2014. Avant 2014, la croissance de cette sous-catégorie suivait de près celles des sous-catégories *Intelligence artificielle* et *Machine learning*. Cela démontre un intérêt croissant pour la *Vision par ordinateur* (et plus généralement ses mises en pratique) ainsi que pour d'autres champs d'application de l'IA, tels que *le calcul et le langage* ainsi que *la robotique*.

Voir annexe 3 pour les données et la méthodologie.

Articles sur l'IA publiés sur arXiv, par sous-catégorie (2010-2017)
Source : arXiv



« Outre l'augmentation du nombre de publications, il est important de noter que ces communautés ont adopté arXiv pour diffuser leurs résultats de recherche. Nous avons déjà vu plusieurs fois par le passé à quel point la mise en place d'une masse critique peut engendrer un taux de participation plus élevé au sein d'une communauté. »

Paul Ginsparg, université de Cornell

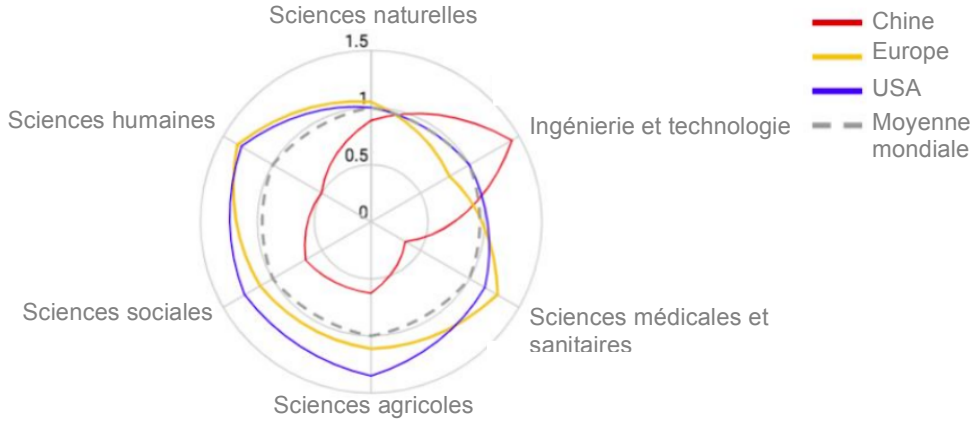
Articles publiés : focus sur l'activité par région

Les graphiques ci-après montrent l'Index relatif d'activité (RAI) pour les USA, l'Europe et la Chine. Le RAI détermine la spécialisation d'une région en comparant ses recherches sur l'IA aux recherches internationales sur l'IA. Le RAI est calculé en fonction du taux de publication d'un pays par rapport au taux de publication global. Une valeur de 1,0 indique que les recherches sur l'IA d'un pays correspondent exactement aux recherches internationales sur l'IA. Une valeur supérieure à 1,0 implique un plus grand intérêt, tandis qu'une valeur inférieure à 1,0 suggère un intérêt moindre.

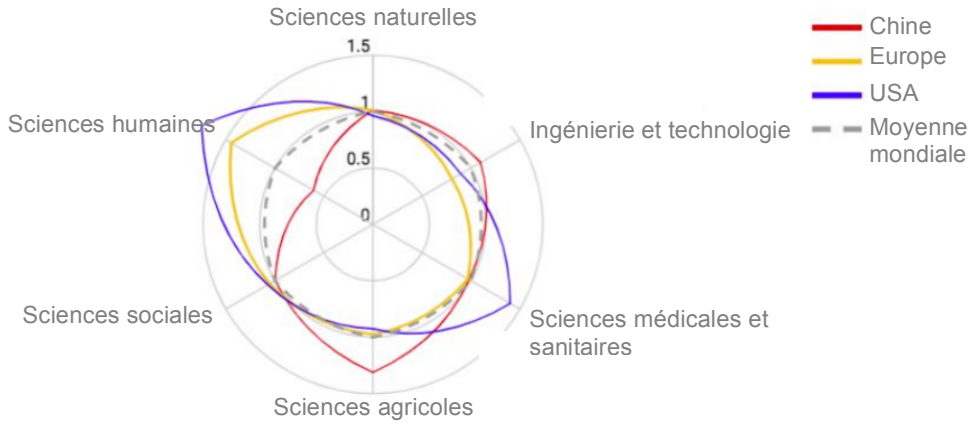
Les articles chinois relatifs à l'IA sont davantage axés sur *l'ingénierie et la technologie* et *les sciences agricoles*, tandis que les articles américains et européens semblent être plus orientés sur *les sciences humaines* et *les sciences médicales et sanitaires*. Comparées aux données de 2000, les données de 2017 montrent une spécialisation accrue dans ces trois régions et un intérêt croissant pour l'agriculture en Chine. Cela est conforme à nos prévisions puisque la Chine est le plus grand producteur mondial de produits alimentaires et semble focaliser ses recherches sur l'IA appliquée.

Voir annexe 2 pour les données et la méthodologie.

Domaines de spécialisation par région et secteurs de recherche en IA (2000)
Source : Elsevier



Domaines de spécialisation par région et secteurs de recherche en IA (2017)
Source : Elsevier



Articles publiés : focus par secteur

Les trois premiers graphiques ci-après montrent le nombre d'articles publiés sur Scopus affiliés à des gouvernements, des entreprises et des organisations médicales. Les deux derniers graphiques ci-après comparent les trois régions (le premier représente la croissance des articles publiés dans le secteur industriel, le second des articles publiés dans le secteur gouvernemental).

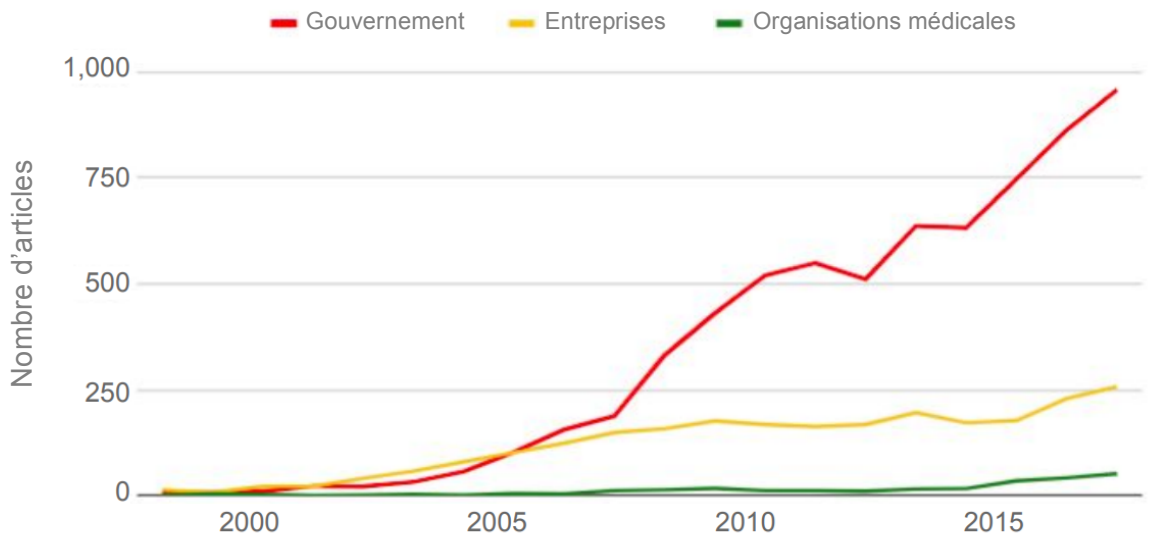
En 2017, le gouvernement chinois a produit près de 4 fois plus d'articles relatifs à l'IA que les entreprises chinoises. Toujours en Chine, les articles relatifs à l'IA publiés par le gouvernement ont augmenté de 400% depuis 2007 contre seulement 73% par les entreprises sur la même période.

Aux USA, une proportion relativement importante des articles relatifs à l'IA a été publiée par des entreprises. En 2017, la part d'articles relatifs à l'IA publiés par des entreprises américaines était 6 fois plus importante que celle d'articles relatifs à l'IA publiés par des entreprises chinoises et 4,1 fois plus importante que celle d'articles relatifs à l'IA publiés par des entreprises européennes.

À noter que, dans ces trois régions, les articles universitaires (non pris en compte dans les graphiques) dépassent en nombre les articles gouvernementaux, industriels et médicaux (se référer aux commentaires sous chaque graphique).

Voir annexe 2 pour les données et la méthodologie.

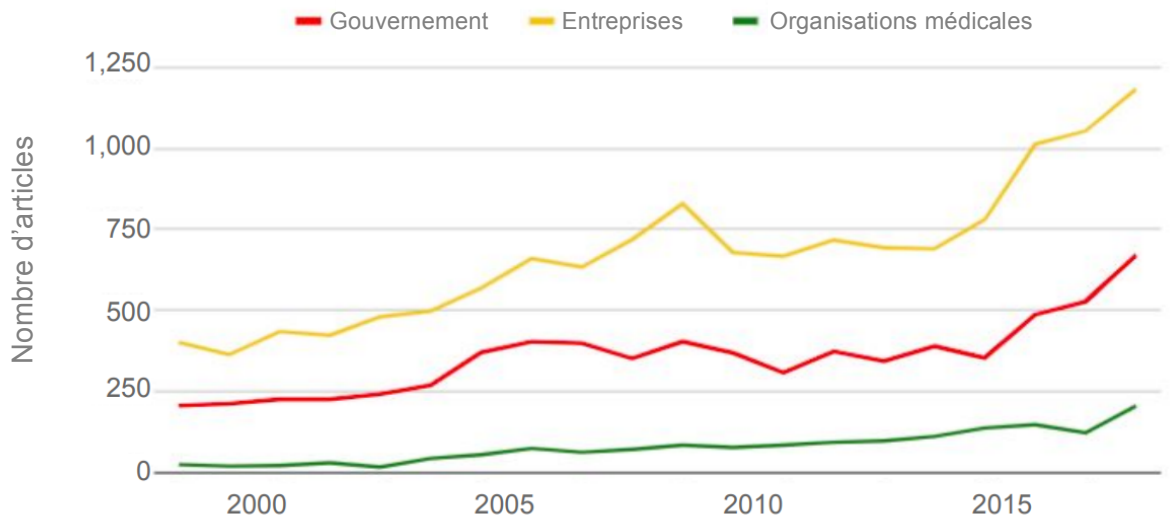
Articles publiés par secteur – Chine (1998-2017)
Source : Elsevier



Note : À titre de comparaison, en 2017, le nombre d'articles relatifs à l'IA publiés sur Scopus et affiliés au secteur universitaire chinois (non représenté) était d'environ 14 000, soit environ 92% du nombre total d'articles publiés en Chine.

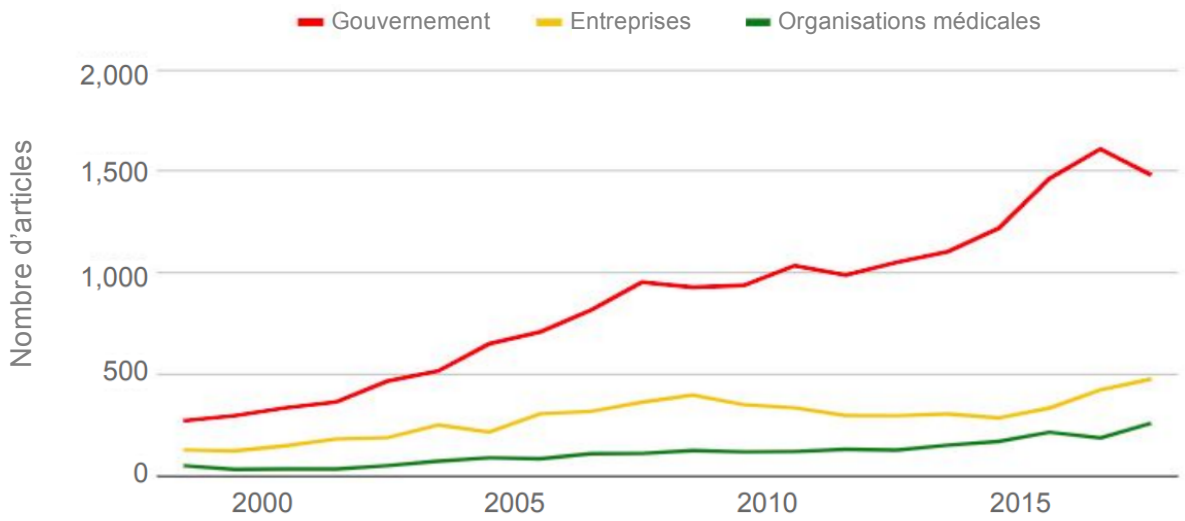
→ **En Chine, le nombre d'articles relatifs à l'IA publiés par le gouvernement a augmenté de 400%**
Sur la période 2007-2017, les articles relatifs à l'IA publiés par le gouvernement chinois ont augmenté de 400% contre 73% pour les articles publiés par les entreprises de chinoises.

Articles publiés par secteur – USA (1998-2017)
Source : Elsevier



Note : À titre de comparaison, en 2017, le nombre d'articles relatifs à l'IA publiés sur Scopus et affiliés au secteur universitaire américain (non représenté) était d'environ 9 000, soit environ 91% du nombre total d'articles publiés aux USA.

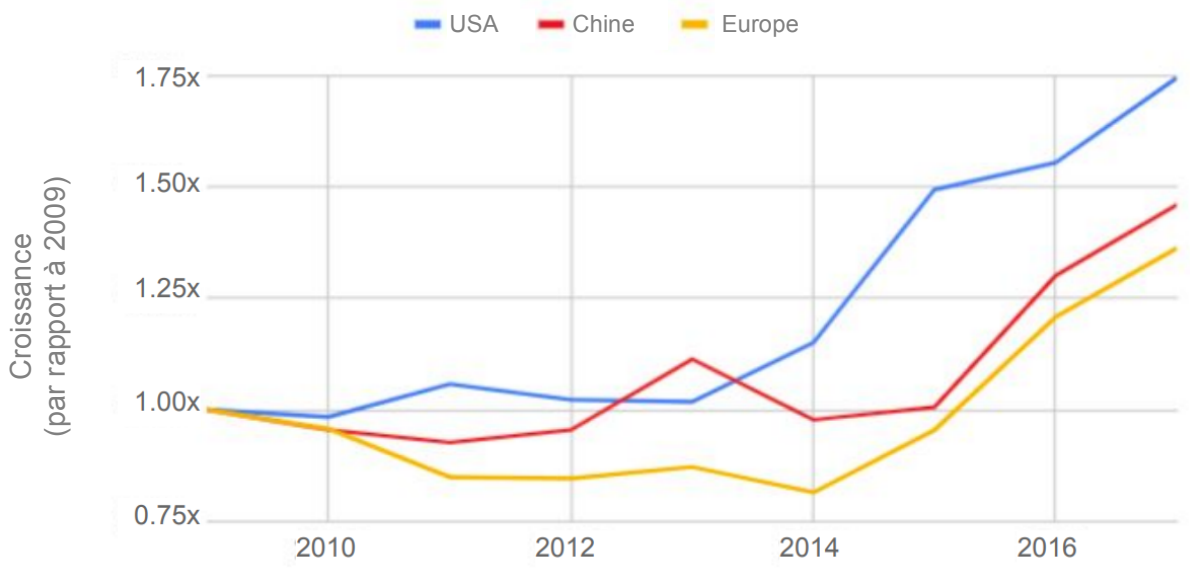
Articles publiés par secteur – Europe (1998-2017)
Source : Elsevier



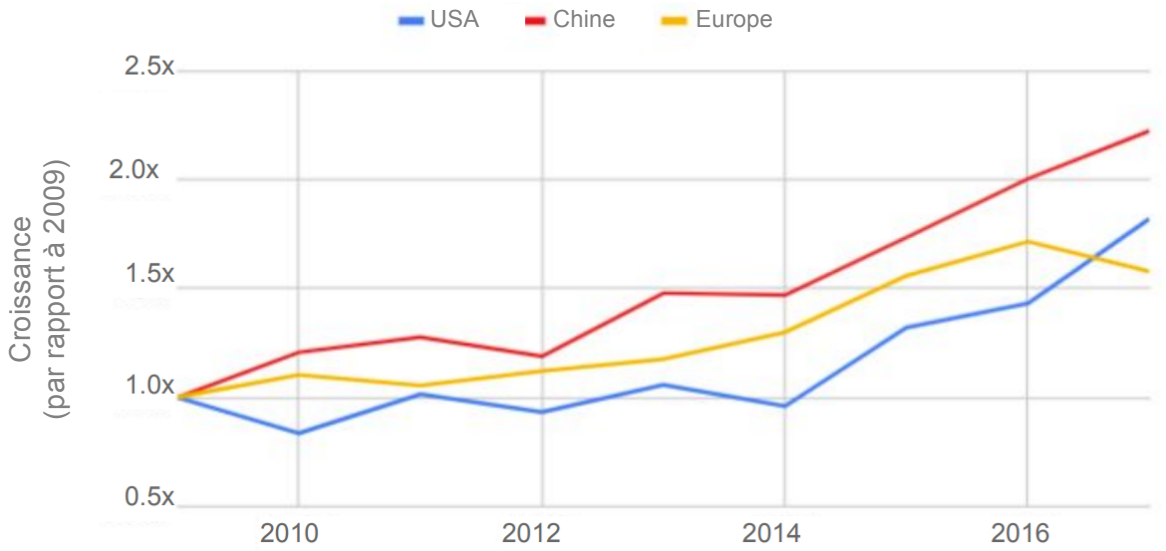
Note : À titre de comparaison, en 2017, le nombre d'articles relatifs à l'IA publiés sur Scopus et affiliés au secteur universitaire européen (non représenté) était d'environ 16 000, soit environ 88% du nombre total d'articles publiés en Europe.

→ **La part d'articles relatifs à l'IA publiés par des entreprises américaines est 6,6 fois supérieure à celle d'articles relatifs à l'IA publiés par des entreprises chinoises**

Croissance des articles liés à l'IA publiés par des entreprises (2009-2017)
Source : Elsevier



Croissance des articles liés à l'IA publiés par des organismes gouvernementaux (2009-2017)
Source : Elsevier



→ **Le nombre d'articles relatifs à l'IA affiliés au gouvernement chinois a plus que doublé depuis 2009**
Dans le même temps, les USA connaissent la plus forte croissance d'articles relatifs à l'IA publiés par des entreprises. En 2017, on dénombre aux USA 1,7 fois plus d'articles industriels qu'en 2009.

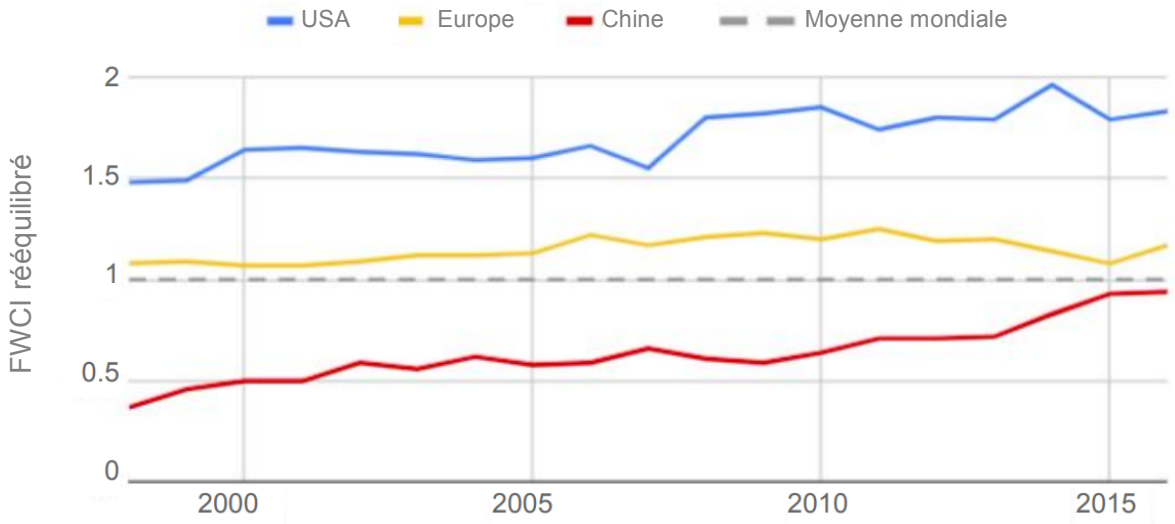
Articles publiés : impact des citations par région

Le graphique ci-après montre l'impact pondéré moyen des citations d'auteurs IA par région. L'impact pondéré des citations (FWCI) d'une région correspond au nombre moyen de citations attribuées à des auteurs IA de ladite région divisé par le nombre moyen de citations attribuées à tous les auteurs IA. Dans ce graphique, le FWCI a été rééquilibré, c'est-à-dire que les impacts des citations sont indiqués relativement à la moyenne mondiale. Un FWCI rééquilibré de 1 indique que les publications ont été citées autant que la moyenne mondiale. Un FWCI rééquilibré de 0,85 indique que les articles ont été 15% moins cités que la moyenne mondiale.

Alors que l'Europe détient le plus grand nombre d'articles relatifs à l'IA publiés annuellement, le FWCI rééquilibré européen demeure relativement flat, à égalité avec la moyenne mondiale. Au contraire, la Chine a considérablement augmenté son FWCI rééquilibré. Les auteurs IA en Chine ont été cités 44% plus souvent en 2016 qu'en 2000. Par ailleurs, les USA surpassent les autres régions sur l'ensemble des citations. Les auteurs IA américains sont cités 83% plus souvent que la moyenne mondiale.

Voir annexe 2 pour les données et la méthodologie.

FWCI des auteurs IA par région (1998-2016)
Source : Elsevier



→ **Les auteurs IA américains sont cités 83% plus souvent que la moyenne mondiale**

Articles publiés : mobilité des auteurs par région

Les graphiques ci-après montrent les effets de la mobilité internationale sur le taux de publication et l'impact des citations des auteurs IA.

On distingue quatre catégories de mobilité : les *Sédentaires*, les *Transitoires*, les *Flux Entrants* et les *Flux Sortants*. Les auteurs *sédentaires* sont des chercheurs actifs qui n'ont jamais rien publié en dehors de leur région d'origine. Les auteurs *transitoires* ont été publiés en dehors de leur région d'origine pendant deux ans ou moins. Les auteurs en *flux* ont contribué à des articles publiés dans une région autre que celle où ils résident pendant au moins deux ans. Le fait qu'un auteur entre dans la catégorie *flux entrants* ou *flux sortants* dépend de la perspective représentée sur le graphique.

L'axe horizontal montre le taux de publication relatif – c'est-à-dire le nombre moyen de publications pour les auteurs de chaque catégorie de mobilité divisé par le nombre moyen de publications dans la région concernée. L'axe vertical montre l'impact pondéré des citations (FWCI) – c'est-à-dire le nombre de citations attribuées aux auteurs de chaque catégorie de mobilité divisé par le nombre moyen de citations attribuées à la région concernée.

Seuls les auteurs IA ont été pris en compte dans cette analyse. Pour être considéré comme « auteur IA », il faut qu'au moins 30% des articles publiés par l'auteur traitent de l'IA. La région d'origine d'un auteur est la région où il a publié son premier article.

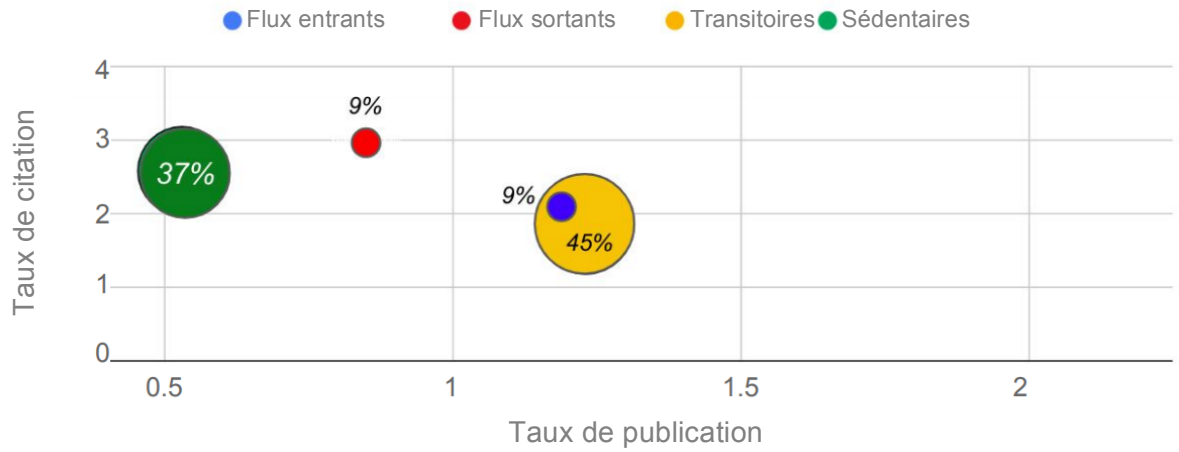
Aux USA, en Chine et en Europe, le taux de publication le plus bas est celui des auteurs sédentaires. Dans ces trois régions, les auteurs en flux (entrants et sortants) ont le FWCI le plus élevé. Ainsi, il semble que les auteurs mobiles soient cités plus souvent et publient plus fréquemment.

Des trois régions, c'est la Chine qui a le plus d'auteurs IA sédentaires (76%), suivie par l'Europe (52%) et enfin les USA (38%). Toutefois, les auteurs chinois non-sédentaires semblent avoir un taux de publication plus élevé que les auteurs non-sédentaires des deux autres régions. En d'autres termes, si les auteurs chinois géographiquement mobiles sont relativement peu nombreux en Chine, ils semblent plus productifs que la moyenne des auteurs mobiles européens et américains.

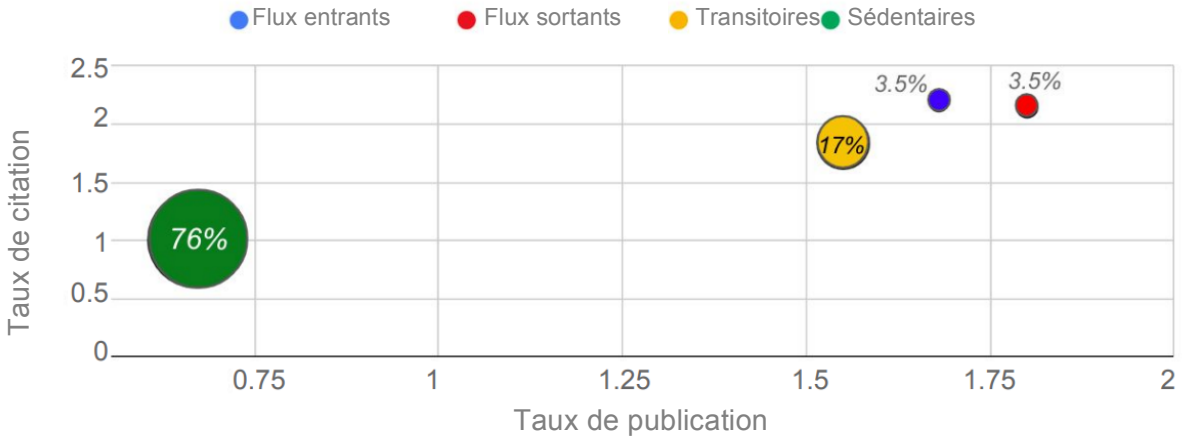
Voir annexe 2 pour les données et la méthodologie.

→ **Les auteurs mobiles sont cités plus souvent et publient plus fréquemment**

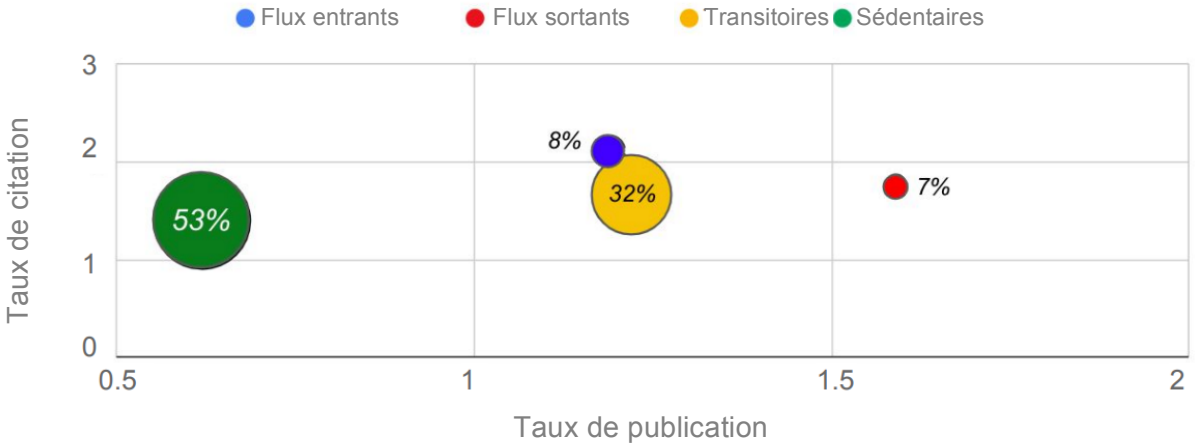
Taux de publication et de citation des auteurs IA par catégorie de mobilité – USA (1998-2017)
Source : Elsevier



Taux de publication et de citation des auteurs IA par catégorie de mobilité – Chine (1998-2017)
Source : Elsevier



Taux de publication et de citation des auteurs IA par catégorie de mobilité – Europe (1998-2017)
Source : Elsevier



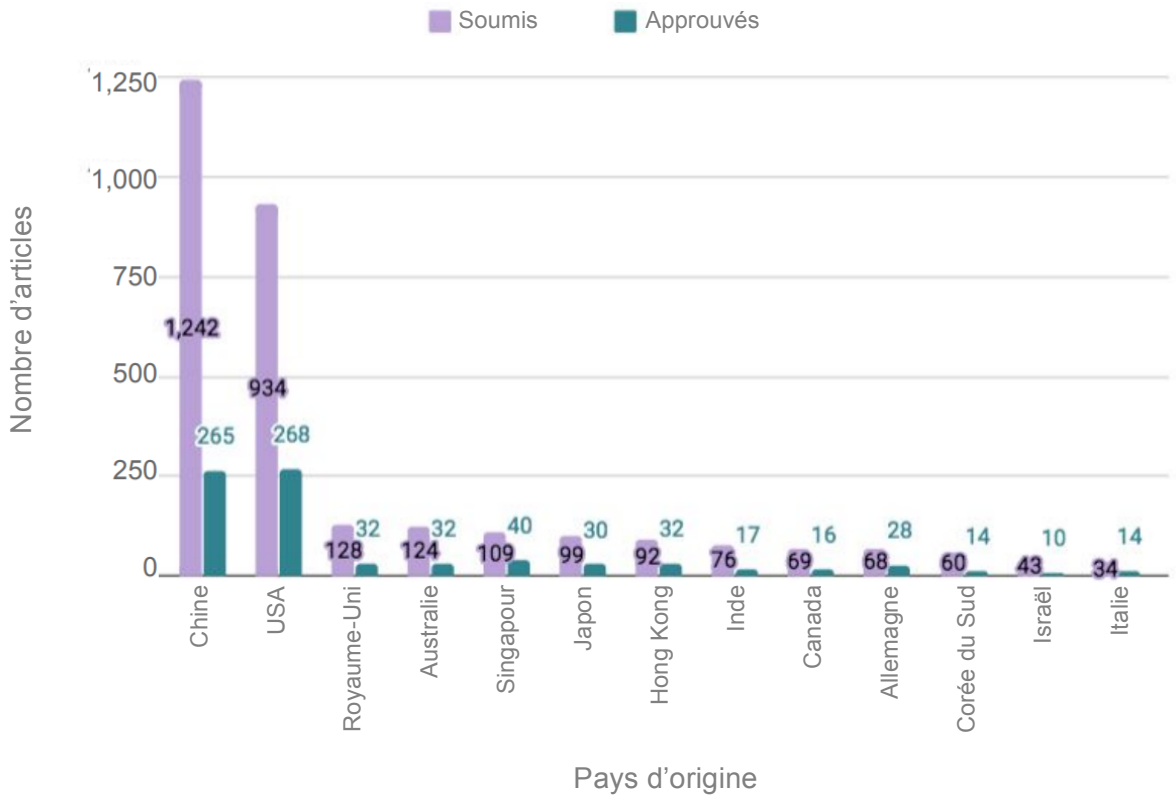
Articles publiés : articles approuvés par l'AAAI par pays

Le graphique ci-après montre le nombre d'articles soumis et validés à l'occasion de la conférence 2018 de l'Association for the Advancement of Artificial Intelligence (AAAI), par pays. La conférence 2018 de l'AAAI a eu lieu en février 2018 à La Nouvelle-Orléans (Louisiane).

Environ 70% des articles soumis à l'approbation de l'AAAI en 2018 provenaient des USA ou de la Chine. Si la Chine a soumis le plus grand nombre d'articles, les USA et la Chine ont eu un nombre similaire d'articles approuvés (respectivement 268 et 265). Par conséquent, les articles américains ont eu un taux d'acceptation de 29% contre 21% pour les articles chinois. Ce sont les articles allemands et italiens qui ont eu le plus fort taux d'acceptation (41%), bien que leur contribution totale ait été moins importante.

Voir annexe 4 pour les données et la méthodologie.

Nombre d'articles soumis et approuvés – Conférence AAAI 2018
Source : AAAI



→ **70% des articles soumis à l'approbation de l'AAAI sont américains ou chinois**
À la conférence 2018 de l'AAAI, 70% des articles soumis et 67% des articles approuvés provenaient des USA ou de la Chine.

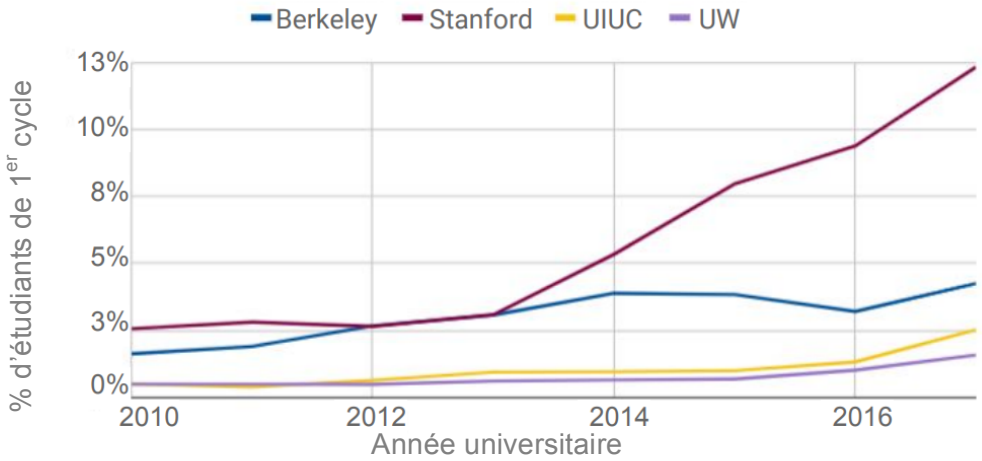
Inscriptions universitaires : l'enseignement de l'IA aux USA

Les graphiques ci-après montrent le pourcentage d'étudiants de premier cycle inscrits à des cours d'introduction à l'IA et au ML. Ces indicateurs prennent en compte la taille des écoles. Les critères de sélection des écoles, le nombre exact d'inscriptions et la liste exhaustive des universités sont disponibles en annexe.

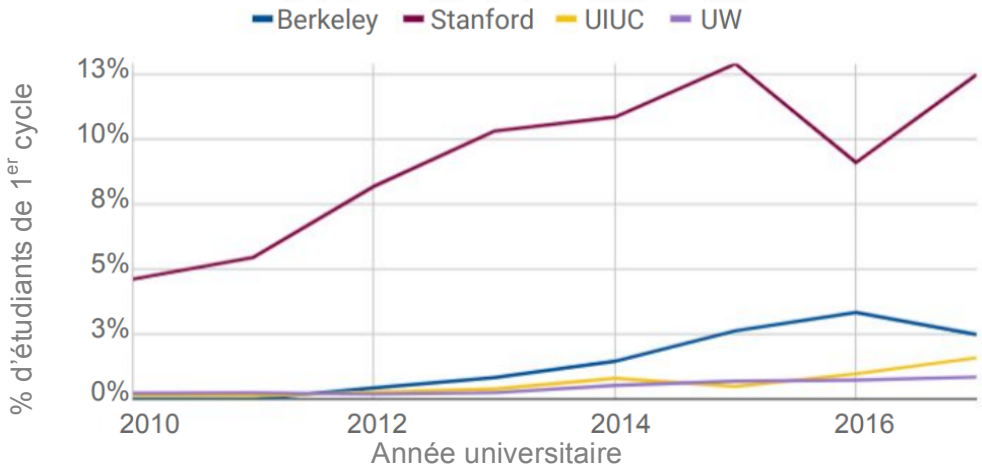
Si les cours d'introduction à l'IA semblent avoir légèrement plus de succès auprès des étudiants de premier cycle que les cours d'introduction au ML (5,2% en moyenne pour l'IA contre 4,4% pour le ML), le nombre d'étudiants de premier cycle inscrits à un cours d'introduction au ML augmente plus rapidement. Cela démontre l'importance croissante du ML en tant que domaine de spécialisation en IA.

Voir annexe 5 pour les données et la méthodologie.

Étudiants de premier cycle inscrits à un cours d'introduction à l'IA (2010-2017)
Source : données fournies par les universités



Étudiants de premier cycle inscrits à un cours d'introduction au ML (2010-2017)
Source : données fournies par les universités



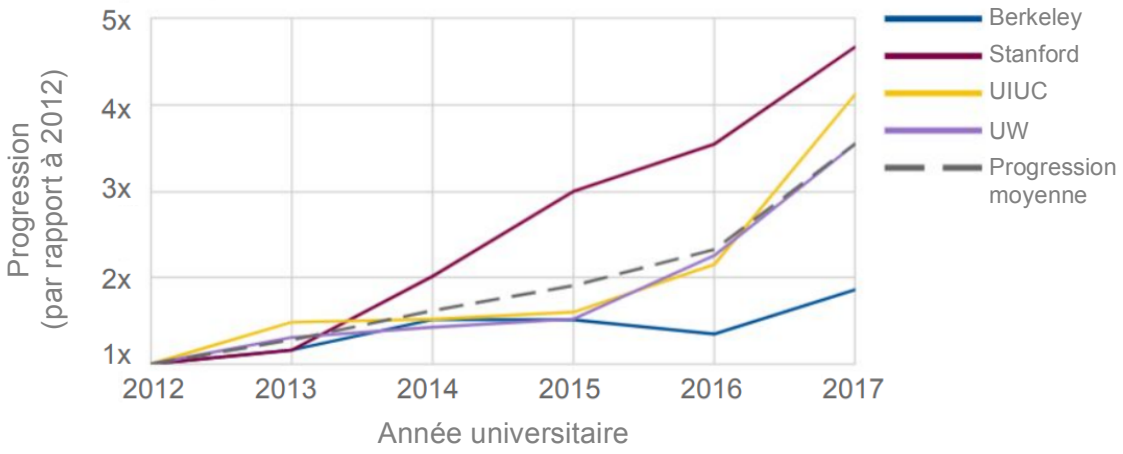
Note sur la parité hommes-femmes pour l'année universitaire 2017 :
Cours d'introduction à l'IA de Stanford : 74,45% d'hommes (sur 869 étudiants)
Cours d'introduction à l'IA de Berkeley : 73,37% d'hommes (sur 973 étudiants)
Cours d'introduction au ML de Stanford : 75,91% d'hommes (sur 876 étudiants)
Cours d'introduction au ML de Berkeley : 78,67% d'hommes (sur 720 étudiants)

Les graphiques ci-après montrent la progression des inscriptions aux cours d'IA et de ML dans les plus grandes écoles d'informatique aux USA. Les critères de sélection des écoles, le nombre exact d'inscriptions et la liste exhaustive des universités sont disponibles en annexe.

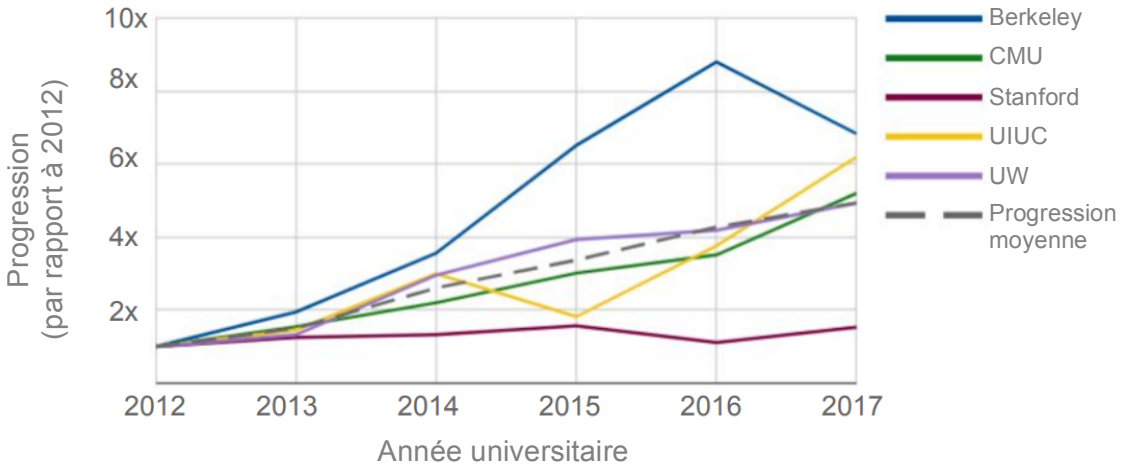
Les inscriptions aux cours d'introduction à l'IA en 2017 sont 3,4 fois supérieures à celles de 2012, tandis que les inscriptions aux cours d'introduction au ML sont 5 fois supérieures à celles de 2012. Le cours d'introduction au ML de l'université de Berkeley compte 6,8 fois plus d'étudiants qu'en 2012. De tous les cours d'introduction au ML que nous avons étudiés, c'est celui qui a connu la plus grande croissance.

Voir annexe 5 pour les données et la méthodologie.

Progression des inscriptions à un cours d'introduction à l'IA (2012-2017)
Source : données fournies par les universités



Progression des inscriptions à un cours d'introduction au ML (2012-2017)
Source : données fournies par les universités



→ **En 2017, le taux d'inscription aux cours d'introduction à l'IA était 5 fois supérieur à celui de 2012**

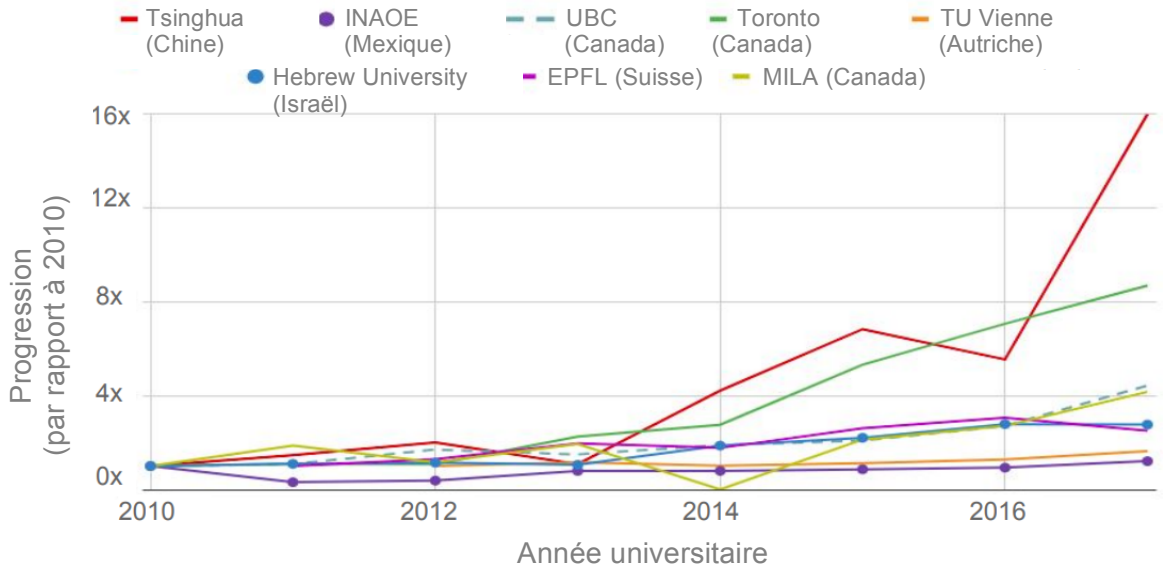
Inscriptions universitaires : l'enseignement de l'IA dans le monde

Les graphiques ci-après montrent la croissance des inscriptions aux cours d'IA et de ML dans les plus grandes université d'informatique en dehors des USA. Le premier graphique montre la croissance relative pour les écoles internationales qui ont publié des données pour les années universitaires 2010-2017. Le deuxième graphique montre la croissance relative pour les écoles internationales ayant publié des données pour les années universitaires 2016-2018. Les critères de sélection des écoles, le nombre exact d'inscriptions et la liste exhaustive des universités sont disponibles en annexe.

Les inscriptions aux cours d'IA et de ML de l'université de Tsinghua en 2017 sont 16 fois supérieures à celles de 2010. Parmi les écoles étudiées, nous avons constaté que le taux d'inscription à ces cours était relativement lié à l'école elle-même et n'avait pas particulièrement de lien avec la zone géographique. Nous espérons pouvoir affiner cette hypothèse dans nos futurs rapports.

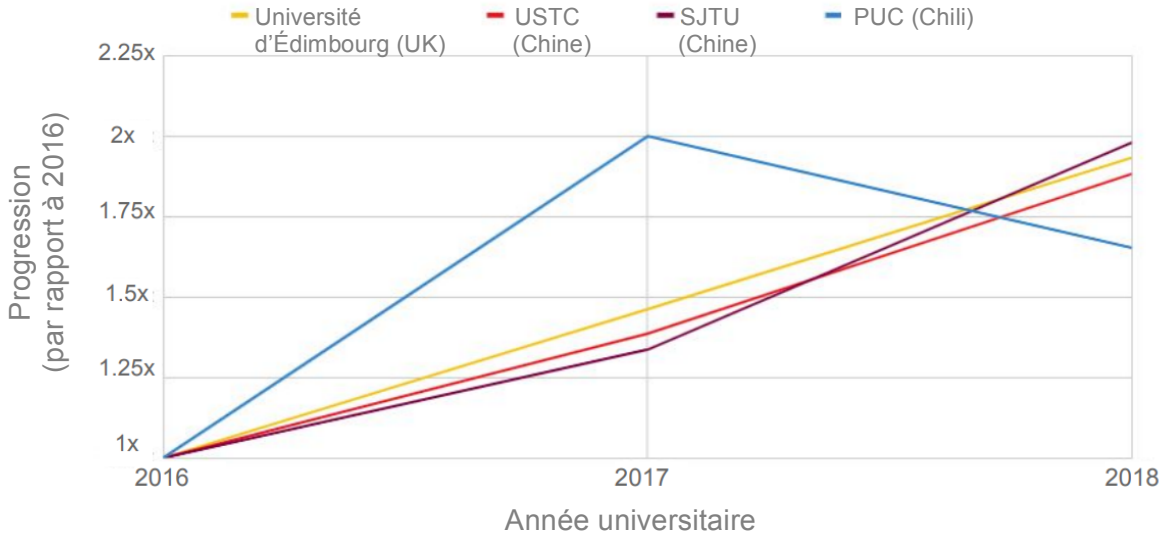
Voir annexe 6 pour les données et la méthodologie.

Progression des inscriptions à un cours d'introduction à l'IA et au ML en dehors des USA (2010-2017)
Source : données fournies par les universités



Note : Ce graphique présente les universités pour lesquelles nous avons pu obtenir des données sur la période donnée. Tous les taux de progression sont relatifs aux inscriptions pour l'année universitaire 2010, sauf pour l'EPFL (2011) et la TU Vienne (2012).

Progression des inscriptions à un cours d'introduction à l'IA en dehors des USA (2016-2018)
Source : données fournies par les universités



Note : Ce graphique présente les universités pour lesquelles nous n'avons pu obtenir que des données limitées. Tous les taux de progression sont relatifs aux inscriptions pour l'année universitaire 2016.

Participation : Diversité du corps enseignant

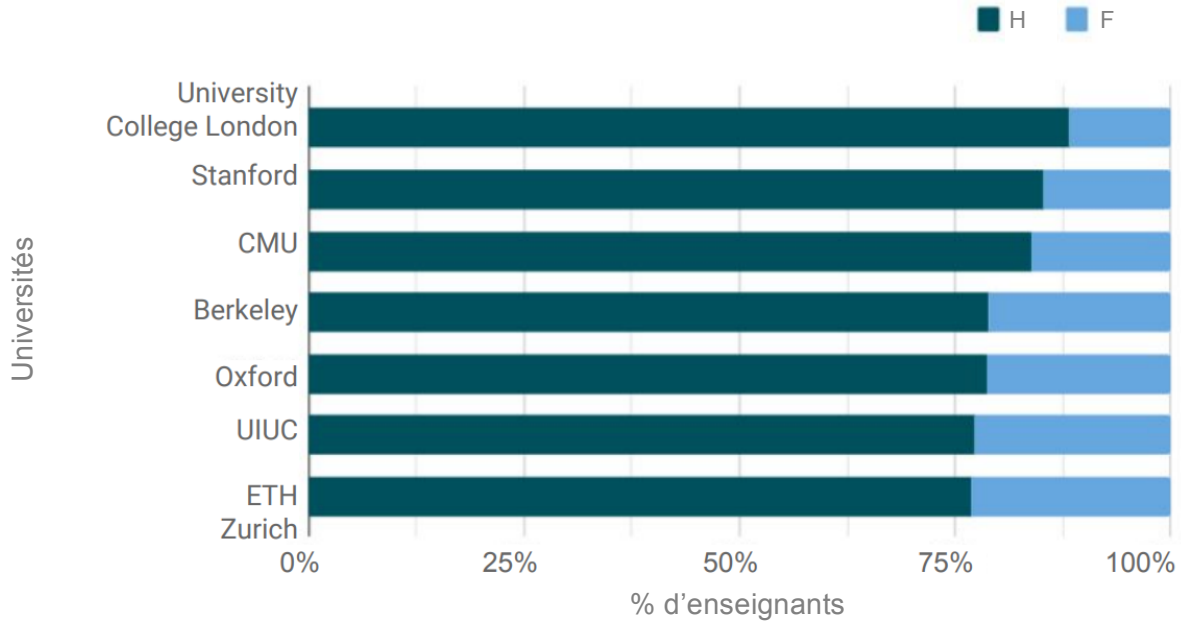
Le graphique ci-après montre la composition du corps enseignant des plus grandes universités d'informatique. Ces données ont été collectées via les listes du personnel des universités en date du 21 septembre 2018. Nous avons sélectionné les universités dont les listes du personnel étaient les plus facilement accessibles.

Un des principaux obstacles à la diversité du corps enseignant est le manque d'accès aux statistiques relatives à la parité hommes-femmes dans les entreprises et les universités. Nous encourageons les institutions à être plus transparentes sur ce sujet afin d'améliorer la diversité dans ce domaine.

Parmi les universités étudiées, nous avons constaté qu'en moyenne, 80% des professeurs d'IA sont des hommes. Nous avons également constaté de légères variations entre les universités, indépendamment de leur situation géographique. Toutefois, compte tenu du nombre limité d'universités étudiées, ces découvertes ne constituent qu'un aperçu du tableau d'ensemble.

Voir annexe 7 pour les données et la méthodologie.

Parité hommes-femmes dans le corps enseignant d'une sélection d'universités (septembre 2018)
Source : listes du personnel des universités



→ **80% des professeurs d'IA sont des hommes**
En moyenne, 80% des professeurs d'IA des universités de Berkeley, Stanford, UIUC, CMU, UC London, Oxford et ETH Zurich sont des hommes.

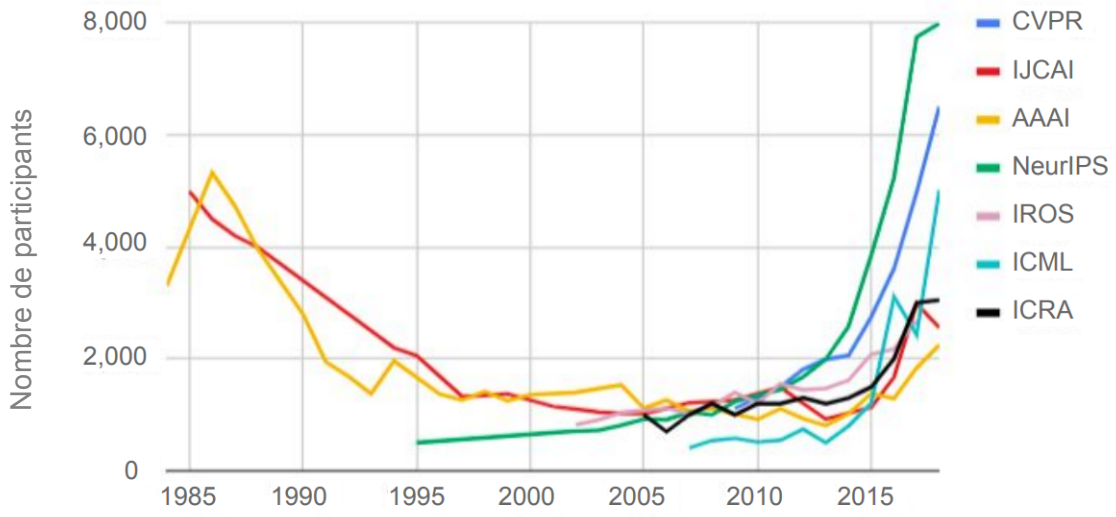
Participation : grandes conférences sur l'IA

Les graphiques ci-après montrent le nombre de participants aux grandes conférences sur l'IA, ainsi que l'évolution de ce nombre par rapport à 2012. On considère comme « grandes conférences » celles qui ont accueilli plus de 2 000 personnes en 2017.

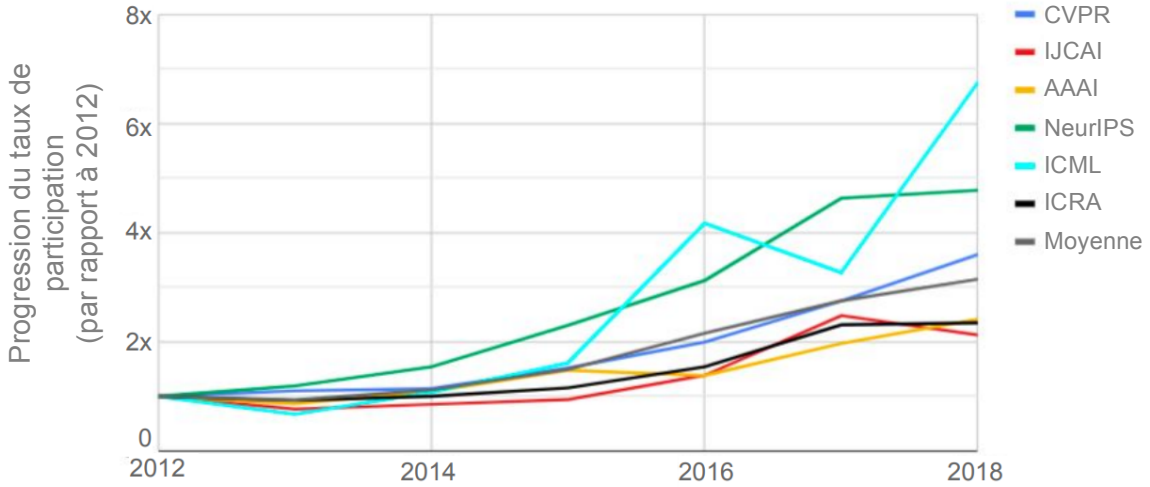
NeurIPS (initialement NIPS), CVPR et ICML, les conférences sur l'IA les plus fréquentées, ont connu la plus grande croissance du nombre de leurs participants depuis 2012. NeurIPS et ICML ont la croissance la plus rapide, avec respectivement 4,8 fois et 6,8 fois plus de participants depuis 2012. Cela démontre un intérêt continu pour le machine learning en tant que domaine de spécialisation de l'IA. Dans le même temps, les conférences traitant principalement du raisonnement symbolique connaissent une croissance faible du nombre de leurs participants.

Voir annexe 8 pour les données et la méthodologie.

Taux de participation aux grandes conférences (1984-2018)
Source : données fournies par les organisateurs de grandes conférences



Taux de participation aux grandes conférences (2012-2018)
Source : données fournies par les organisateurs de grandes conférences



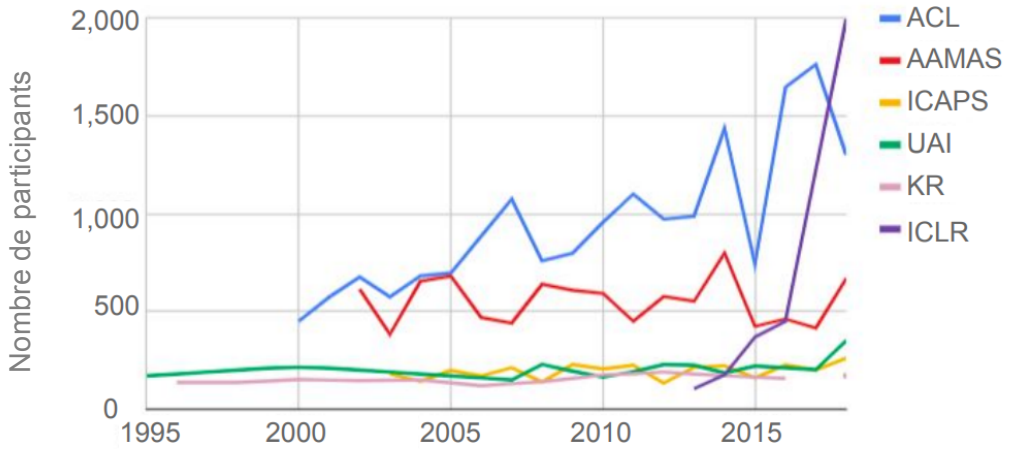
Participation : petites conférences sur l'IA

Les graphiques ci-après montrent le nombre de participants aux petites conférences sur l'IA, ainsi que l'évolution de ce nombre par rapport à 2012. On considère comme « petites conférences » celles qui ont accueilli moins de 2 000 personnes en 2017.

La conférence ICLR 2018 a accueilli 20 fois plus de participants qu'en 2012. Cet accroissement est probablement dû à un intérêt plus important porté au deep learning et au reinforcement learning (apprentissage par renforcement).

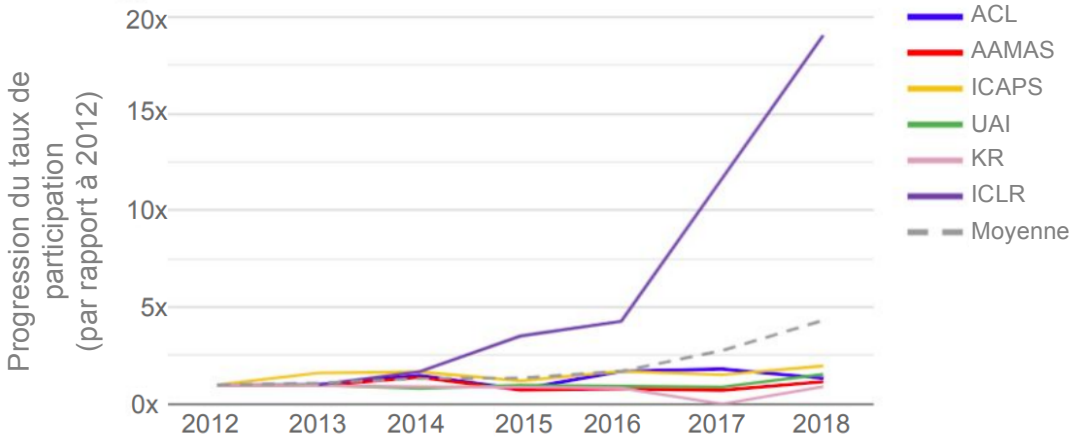
Voir annexe 8 pour les données et la méthodologie.

Taux de participation aux petites conférences (1995-2018)
Source : données fournies par les organisateurs de petites conférences



Note : KR a organisé son premier atelier en 2018. Pour plus de cohérence, le nombre de participants aux ateliers organisés par KR n'est pas inclus dans les données concernant l'ensemble des événements organisés par KR.

Taux de participation aux petites conférences (2012-2018)
Source : données fournies par les organisateurs de petites conférences



→ **Le nombre de participants à la conférence ICLR 2018 était 20 fois supérieur à celui de 2012**

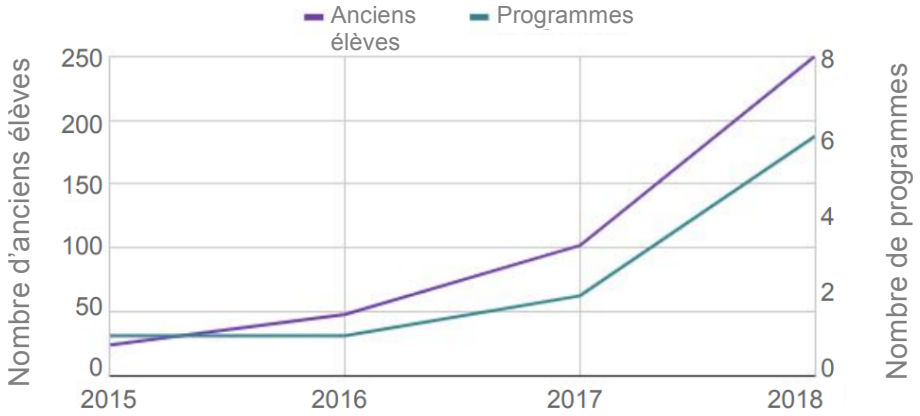
Participation : organisations œuvrant pour la diversité

Les graphiques ci-après montrent le nombre d'inscriptions au workshop annuel organisé par Women in Machine Learning (WiML), une organisation qui œuvre pour soutenir les femmes impliquées dans le ML, ainsi que le nombre d'anciens élèves de AI4All, une initiative éducative visant à développer la diversité et l'intégration des minorités en IA.

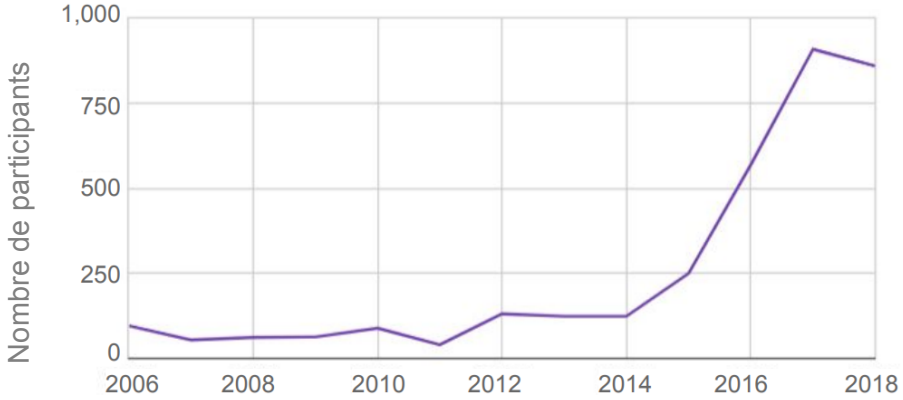
L'atelier WiML et AI4All ont vu leur taux d'inscriptions augmenter au cours de ces dernières années. Le nombre d'inscriptions à l'atelier WiML a augmenté de 600% et le nombre d'anciens élèves d'AI4All a augmenté de 900% par rapport à 2015. Ces hausses montrent un effort sans relâche pour intégrer les femmes et les groupes sous-représentés dans la communauté IA.

Voir annexe 8 pour les données et la méthodologie.

Anciens élèves et programmes de l'AI4All (2015-2018)
Source : AI4All



Taux d'inscriptions aux ateliers organisés par WiML (2006-2018)
Source : WiML



« Ces données reflètent la croissance de la communauté WiML ces dernières années et, nous en sommes convaincues, sont liées à une attention accrue portée à la diversité intentionnelle au sein des communautés IA. Mais le chemin à parcourir est encore long : en effet, on compte des centaines de participants aux événements WiML contre des milliers pour des événements tels que le NeurIPS. »

Comité de Direction du WiML

VOLUME D'ACTIVITÉ – RECHERCHE

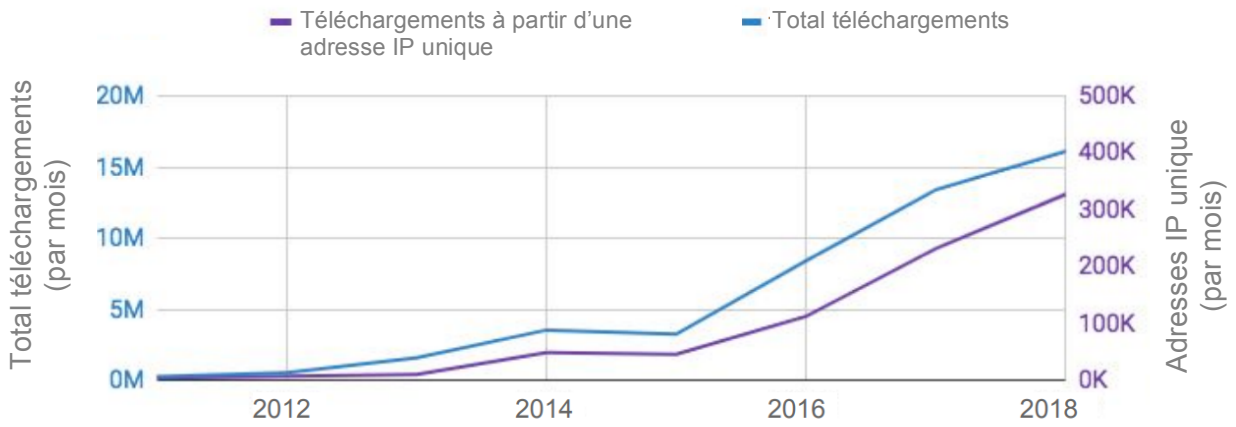
Téléchargements de systèmes d'exploitation robotique

Le graphique ci-après montre le nombre de packages binaires de systèmes d'exploitation robotique (ROS) téléchargés à partir de ROS.org. Les ROS sont un ensemble de logiciels en open source largement utilisés pour la robotique. Les ROS sont utilisés par de nombreux industriels et chercheurs universitaires. L'axe de gauche montre le nombre moyen de téléchargements mensuels globaux, tandis que l'axe de droite montre le nombre moyen de téléchargement mensuels à partir d'une adresse IP unique.

Depuis 2014, les téléchargements globaux et les téléchargements uniques ont respectivement augmenté de 352% et 567%. Cela démontre un intérêt accru pour la robotique d'une part et les systèmes d'exploitation des robots d'autre part. Puisque le nombre de téléchargements uniques augmente plus rapidement que le nombre de téléchargements globaux, nous pouvons en déduire qu'il y a de plus en plus d'utilisateurs de ROS, et non pas que les ROS sont utilisés plus fréquemment.

Voir annexe 9 pour les données et la méthodologie.

Téléchargements de packages ROS (2011-2018)
Source : rapports statistiques des ROS



→ **Depuis 2014, le nombre de téléchargements uniques de packages ROS à partir de ROS.org a augmenté de 567%**

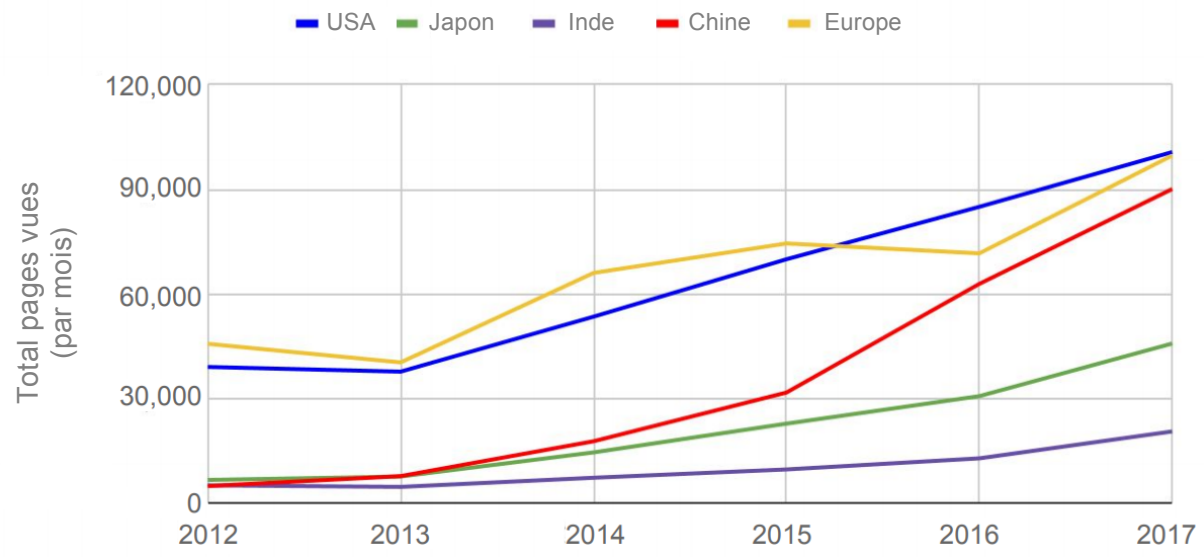
Téléchargements de système d'exploitation robotique (suite)

Le graphique ci-après montre les cinq régions les plus importantes en termes de pages vues sur ROS.org depuis 2012.

Les USA et l'Europe ont le plus gros volume de pages vues sur ROS.org. La Chine n'est pas loin derrière, avec la croissance la plus importante par rapport aux autres grandes régions. Le nombre de pages vues en Chine en 2017 est 18 fois supérieur au nombre de pages vues dans le pays en 2012. ROS.org note que la croissance de la Chine est organique et ne résulte pas d'une hausse du marketing ou d'autres ressources.

Voir annexe 9 pour les données et la méthodologie.

Pages vues sur ROS.org (2012-2017)
Source : rapports statistiques des ROS



→ **En 2017, le nombre de pages vues sur ROS.org en Chine est 18 fois plus important qu'en 2012**

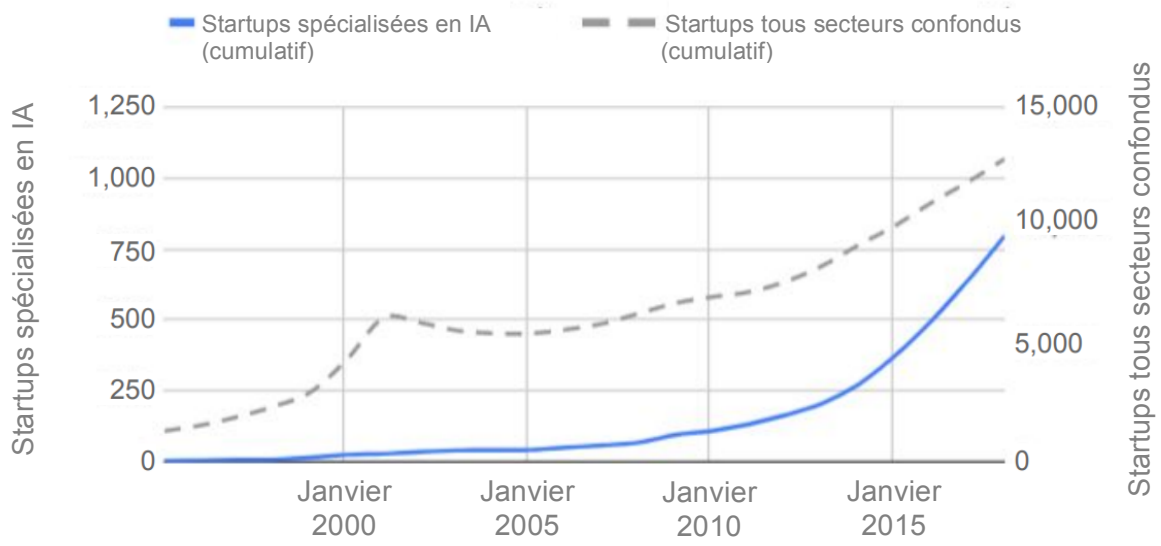
Startups / Investissements : startups spécialisées en IA

Le graphique ci-après montre le nombre de startups américaines privées soutenues par des fonds d'investissement sur une année donnée. La ligne bleue (axe de gauche) montre uniquement les startups spécialisées en IA, tandis que la ligne grise (axe de droite) montre toutes les startups soutenues par un fond d'investissement, dont les startups spécialisées en IA. Le graphique représente le nombre total de startups au mois de janvier de chaque année. En excluant les cas où certaines startups ont été supprimées des données (voir annexe pour plus de détails), le nombre de startups est cumulatif d'une année sur l'autre.

De janvier 2015 à janvier 2018, le nombre de startups actives spécialisées en IA a été multiplié par 2,1, tandis que le nombre de startups actives tous secteurs confondus a été multiplié par 1,3. La plupart du temps, la croissance du nombre de startups actives tous secteurs confondus est relativement stable, tandis que le nombre de startups actives spécialisées en IA a connu une hausse exponentielle.

Voir annexe 10 pour les données et la méthodologie.

Startup spécialisées en IA (USA, janvier 1995-janvier 2018)
Source : Sand Hill Econometrics



Note : La majorité des startups spécialisées en IA présentées dans ce graphique développent des systèmes d'IA. Une minorité utilisent l'IA comme partie intégrante de leur business mais ne développent pas elles-mêmes des systèmes d'IA. Voir annexe pour plus de détails.

→ **Aux USA, le nombre de startups actives spécialisées en IA a été multiplié par 2,1 entre 2015 et 2018**
Dans le même temps, le nombre de startups actives tous secteurs confondus a été multiplié par 1,3.

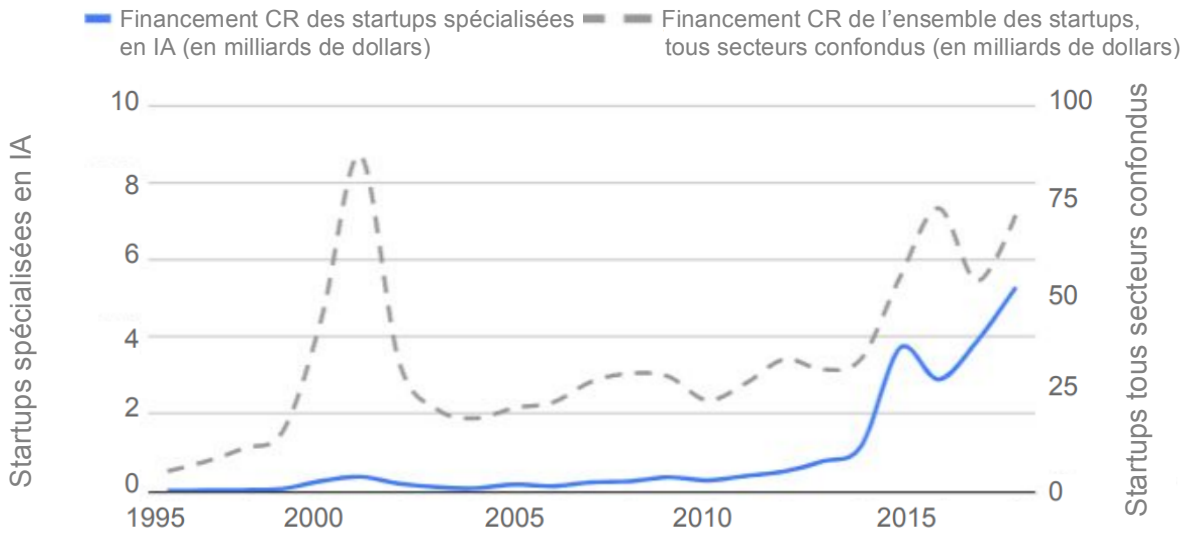
Startups / Investissements : financement en capital-risque

Le graphique ci-après montre le nombre de startups américaines actives soutenues par des fonds d'investissement en capital-risque (CR), à tous les stades de la procédure de financement. La ligne bleue (axe de gauche) montre uniquement le financement des startups spécialisées en IA, tandis que la ligne grise (axe de droite) montre le financement de toutes les startups (dont les startups spécialisées en IA) soutenues par des fonds d'investissement CR. Les données sont annuelles et, contrairement à celles de la page précédente, non-cumulatives d'une année sur l'autre.

De 2013 à 2017, le financement CR des startups spécialisées en IA a été multiplié par 4,5 contre 2,08 pour l'ensemble des startups, tous secteurs confondus. Le pic de financements CR entre 1997 et 2000 peut s'expliquer par la bulle Internet. Les pics modérés de 2014 et 2015 démontrent une période de croissance économique relativement importante.

Voir annexe 10 pour la méthodologie.

Financement CR annuel des startups spécialisées en IA (USA, 1995-2017)
Source : Sand Hill Econometrics



→ **De 2013 à 2017, le financement CR des startups spécialisées en IA a été multiplié par 4,5**
Dans le même temps, le financement CR de l'ensemble des startups, tous secteurs confondus, a été multiplié par 2,08.

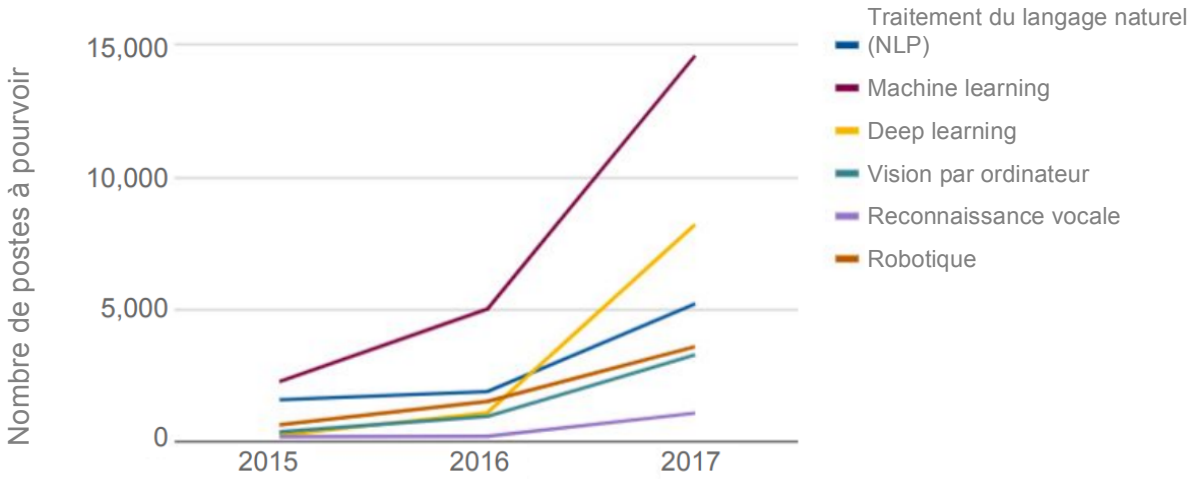
Emploi : postes à pourvoir dans le secteur de l'IA

Les graphiques ci-après montrent les chiffres annuels de postes à pourvoir requérant des compétences en IA, ainsi que la croissance relative de ces chiffres. Les compétences en IA ne sont pas mutuellement exclusives.

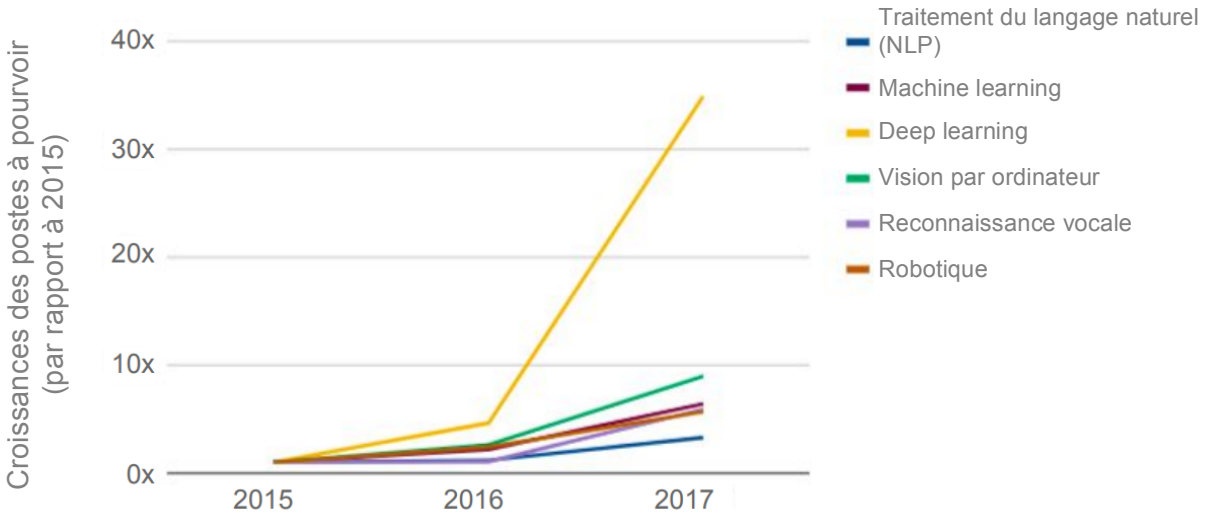
Si le machine learning est la compétence la plus attendue pour les postes à pourvoir, la compétence deep learning est celle qui connaît la croissance la plus rapide – entre 2015 et 2017, le nombre de postes à pourvoir requérant la compétence deep learning a été multiplié par 35.

Voir annexe 11 pour la méthodologie.

Postes à pourvoir dans le secteur de l'IA par compétences requises (2015-2017)
Source : Monster.com



Croissance des postes à pouvoir dans le secteur de l'IA par compétences requises (2015-2017)
Source : Monster.com



Note : Bien que le nombre de postes à pourvoir dans le secteur de l'IA augmente, il ne représente qu'une toute petite proportion des postes à pourvoir en ingénierie informatique.

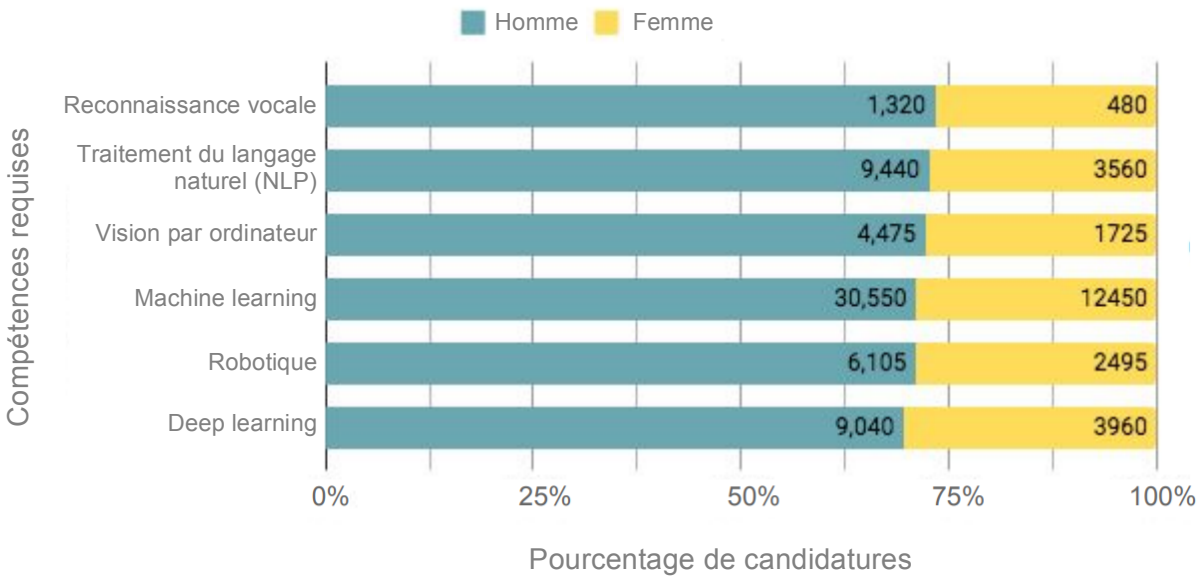
Emploi : parité hommes-femmes des candidatures

Le graphique ci-après montre la répartition hommes-femmes dans les candidatures pour les postes à pourvoir en IA en 2017. Les données sont classées par compétences requises, lesquelles ne sont pas mutuellement exclusives. Le nombre de candidatures n'implique pas nécessairement des recrutements et n'est pas représentatif de l'ensemble du secteur.

En moyenne, les hommes représentent 71% des candidatures reçues aux USA. Comme la compétence machine learning représente le plus gros volume de candidatures, cette moyenne est largement portée par les candidatures pour des emplois requérant des compétences en machine learning. En plus de la compétence machine learning, les compétences en deep learning et en robotique sont celles qui ont la meilleure parité, comparativement aux autres compétences.

Voir annexe 11 pour les données et la méthodologie.

Candidatures par sexe (2017)
Source : Gartner TalentNeuron



→ **En moyenne, les hommes représentent 71% des candidatures reçues aux USA**

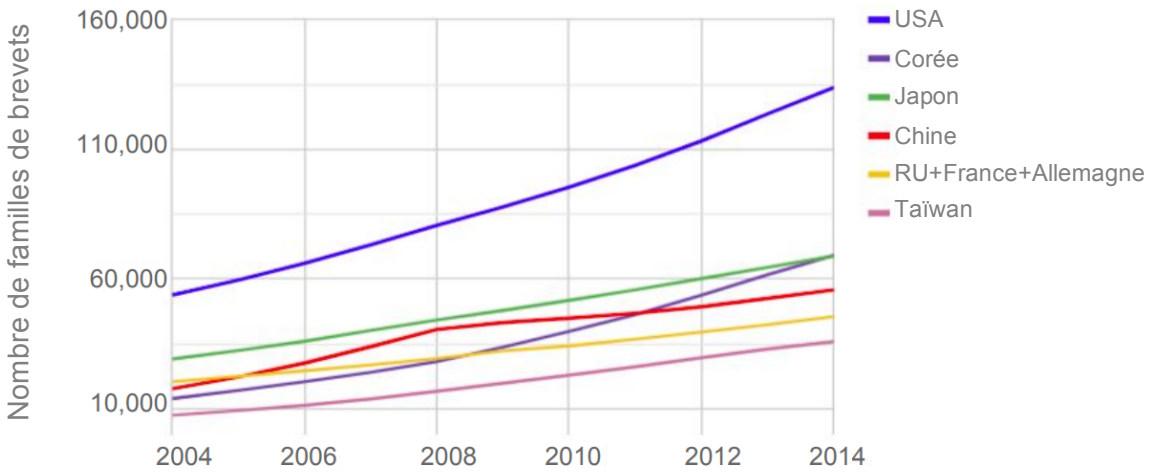
Brevets

Les graphiques ci-après montrent le nombre de brevets en IA déposés par région d'origine de leurs inventeurs, ainsi que la croissance de ce nombre. Les brevets ont été agrégés par rapport aux familles *Capacité de compréhension cognitive* et *Technologie des interfaces humaines* définies par les codes IPC (International Patent Classification). Il est difficile de suivre les brevets au fil du temps (voir annexe pour plus de détails sur cet indicateur).

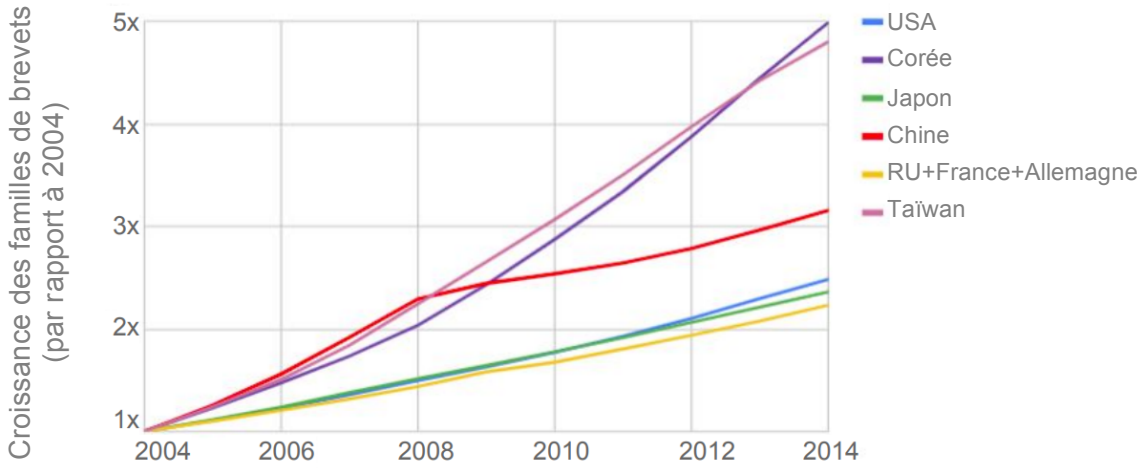
En 2014, environ 30% des brevets en IA provenaient des USA, suivis par la Corée du Sud et le Japon (16% chacun). En tête des régions d'origine des inventeurs, la Corée du Sud et Taïwan ont connu la plus grosse croissance, avec 5 fois plus de brevets en 2014 qu'en 2004.

Voir annexe 12 pour les données et la méthodologie.

Brevets en IA par région d'origine de leurs inventeurs (2004-2014)
Source : amplified



Croissance des brevets en IA par région d'origine de leurs inventeurs (2004-2014)
Source : amplified



Note : RU+France+Allemagne correspond au nombre combiné de brevets déposés par le Royaume-Uni, la France et l'Allemagne.

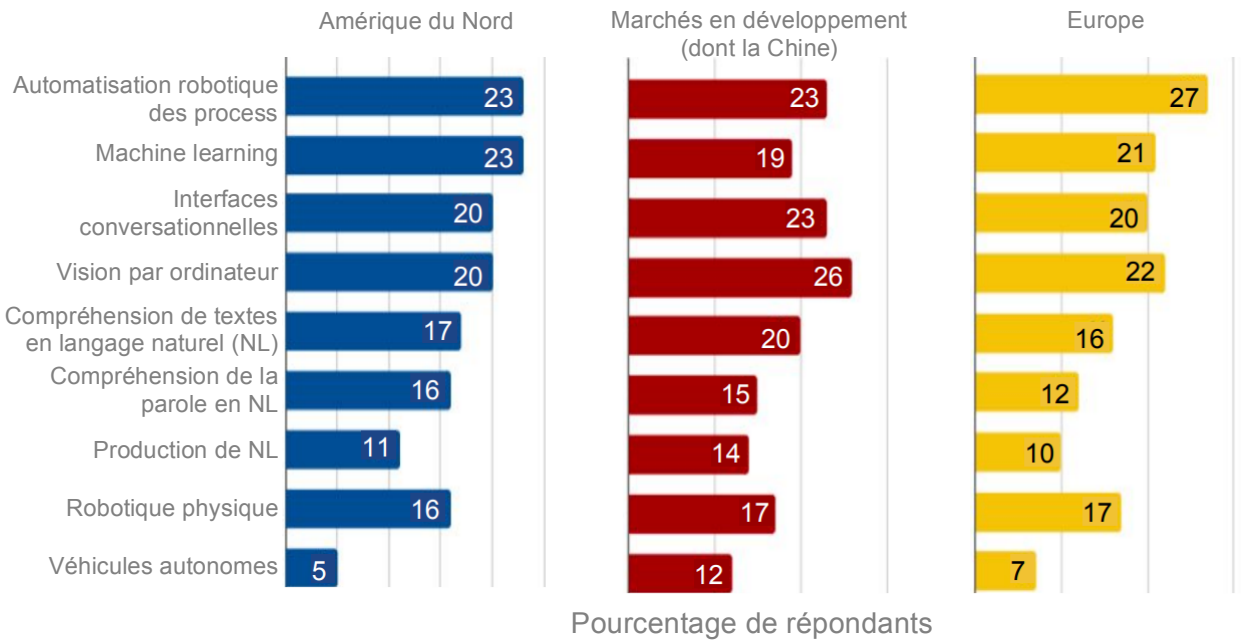
Adoption de l'IA : potentiel par région

Les graphiques ci-après (dont page suivante) montrent les résultats d'une étude menée par McKinsey & Company auprès de 2 135 personnes, qui répondaient en qualité de représentant de leur organisation. Ces graphiques montrent le pourcentage de répondants dont les organisations ont intégré le potentiel de l'IA dans au moins une de leurs activités ou business units. Les répondants ont pu sélectionner plusieurs fonctions liées à l'IA. Voir page suivante pour les données des régions *Asie-Pacifique*, *Inde*, *Moyen-Orient*, *Afrique du Nord* et *Amérique latine*.

Si des fonctions liées à l'IA ont été beaucoup plus largement adoptées par certaines régions que d'autres, on constate que les fonctions liées à l'IA en général sont adoptées de façon égale dans l'ensemble des régions. Nous avons hâte de découvrir comment cette tendance évoluera au fil du temps.

Voir annexe 13 pour les données et la méthodologie.

Fonctions de l'IA intégrées dans au moins une activité des entreprises (2018)
Source : McKinsey & Company



Note : La taille des barres est calculée en fonction du nombre de fonctions de l'IA adoptées par chaque région ; Amérique du Nord : N = 479, Marchés en développement (dont la Chine) : N = 189 (Chine : N = 35), Europe : N = 803.

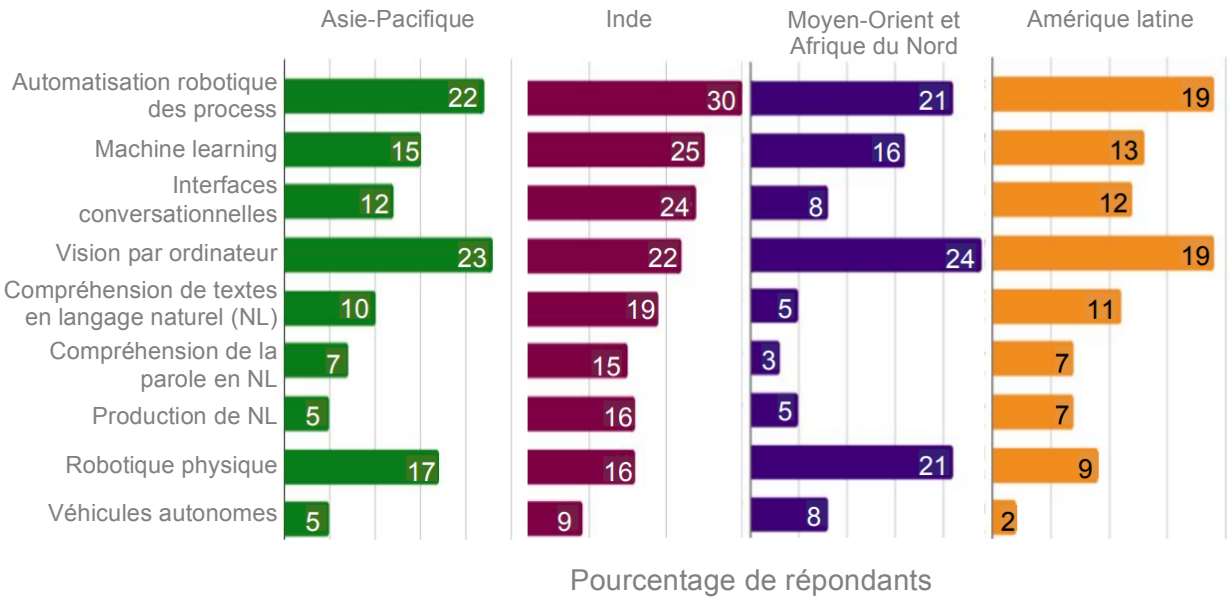
« Nous avons constaté une large adoption du potentiel de l'IA par secteurs d'activité, fonctions et zones géographiques à travers le monde. Environ la moitié de l'ensemble des entreprises a intégré l'IA dans ses process. Toutefois, il est encore un peu tôt : la plupart n'ont pas encore adopté les pratiques complémentaires nécessaires pour tirer le meilleur de l'IA à grande échelle… »

Michael Chui, McKinsey & Company et McKinsey Global Institute

Adoption de l'IA : potentiel par région (suite)

Voir page précédente pour les données des régions *Amérique du Nord*, *Marchés en développement (dont la Chine)* et *Europe*.

Fonctions de l'IA intégrées dans au moins une activité des entreprises (2018)
Source : McKinsey & Company



Note : La taille des barres est calculée en fonction du nombre de fonctions de l'IA adoptées par chaque région ; Asie-Pacifique : N = 263, Inde : N = 197 ; Moyen-Orient et Afrique du Nord : N = 77 ; Amérique latine : N = 127.

VOLUME D'ACTIVITÉ – INDUSTRIE

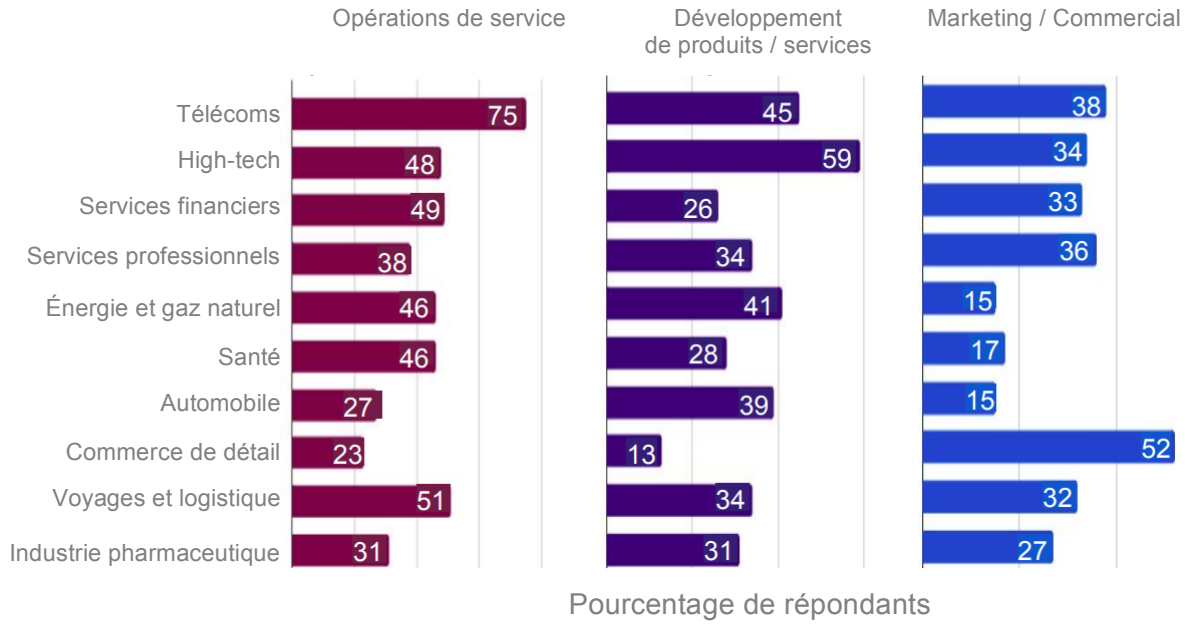
Adoption de l'IA : industrie et activité

Les graphiques ci-après (dont page suivante) montrent les résultats d'une étude menée par McKinsey & Company auprès de 2 135 personnes, qui répondaient en qualité de représentant de leur organisation. Ces graphiques montrent le pourcentage de répondants dont les organisations ont intégré le potentiel de l'IA dans une activité de leur business en particulier. Les répondants ont pu sélectionner plusieurs fonctions liées à l'IA. Voir page suivante pour les données sur la *fabrication*, le *management de la supply-chain* et la *gestion des risques*.

Les organisations semblent intégrer le potentiel de l'IA dans les activités qui ont la plus forte valeur ajoutée pour l'entreprise. Par exemple, les entreprises qui proposent des *services financiers* ont largement intégré l'IA dans leur *gestion des risques*, le secteur *automobile* en a fait de même pour la *fabrication* et le *commerce de détail* pour le *marketing / commercial*. Cela signifie que les progrès en IA pour des activités spécifiques (par exemple la *fabrication*) seront certainement corrélés à l'utilisation de l'IA par des entreprises où ces activités sont particulièrement importantes.

Voir annexe 13 pour les données et la méthodologie.

Intégration de l'IA par secteur d'entreprise et par type d'activité (2018)
Source : McKinsey & Company

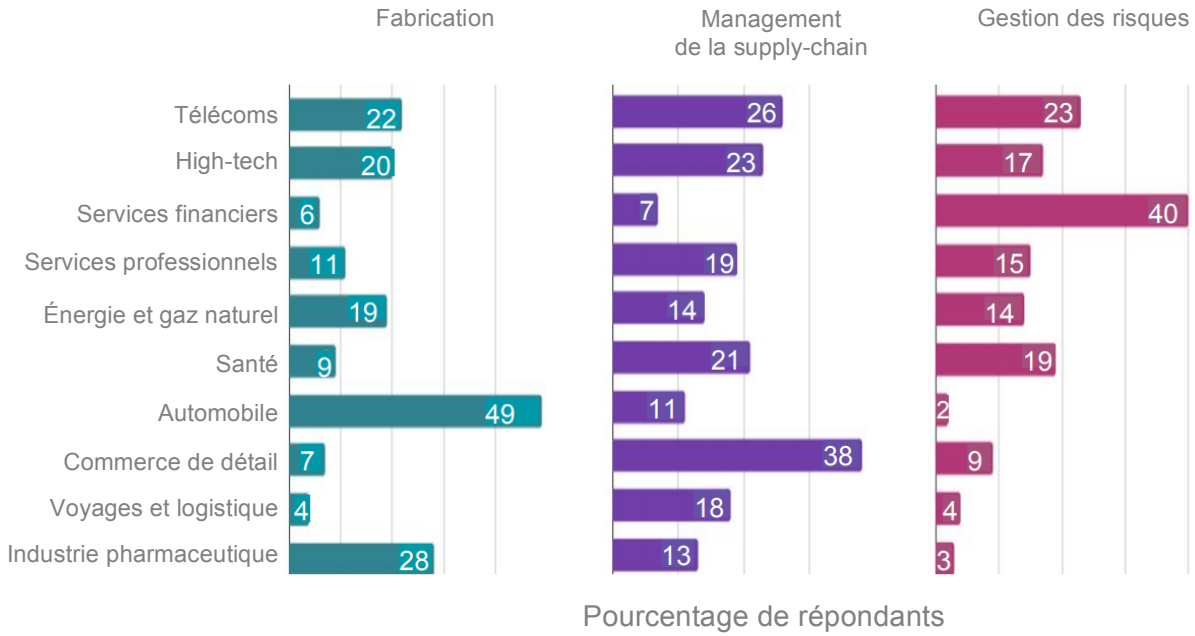


Note : La taille des barres est calculée en fonction du nombre d'entreprises pour chaque type d'activité ; Télécoms : N = 77 ; High-tech : N = 215 ; Services financiers : N = 306 ; Services professionnels : N = 221 ; Énergie et gaz naturel : N = 54 ; Santé : N = 67 ; Automobile : N = 120 ; Commerce de détail : N = 46 ; Voyages, transport et logistique : N = 55 ; Industrie pharmaceutique : N = 65.

Adoption de l'IA : industrie et activité (suite)

Voir page précédente pour les données sur les *opérations de service*, le *développement de produits / services* et le *marketing / commercial*.

Intégration de l'IA par secteur d'entreprise et par type d'activité (2018)
Source : McKinsey & Company



Note : La taille des barres est calculée en fonction du nombre d'entreprises pour chaque type d'activité ; Télécoms : N = 77 ; High-tech : N = 215 ; Services financiers : N = 306 ; Services professionnels : N = 221 ; Énergie et gaz naturel : N = 54 ; Santé : N = 67 ; Automobile : N = 120 ; Commerce de détail : N = 46 ; Voyages, transport et logistique : N = 55 ; Industrie pharmaceutique : N = 65.

→ **Les organisations adoptent l'IA pour les activités ayant la plus forte valeur ajoutée dans l'entreprise**
Cela signifie que les progrès en IA pour des activités spécifiques seront certainement corrélés à l'utilisation de l'IA par des entreprises où ces activités sont particulièrement importantes.

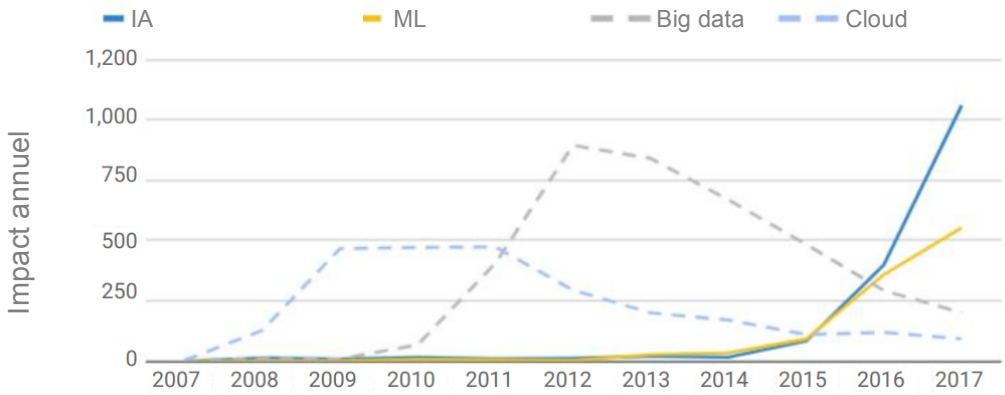
Impact sur les revenus

Les graphiques ci-après montrent l'impact de l'IA et du machine learning sur les revenus des entreprises, par secteur d'activité. Le premier graphique montre l'impact sur les revenus des entreprises informatiques uniquement, ce secteur étant celui qui utilise le plus l'IA et le ML. Le second graphique montre l'impact sur les revenus des entreprises autres qu'informatiques. L'impact du *Big data* et du *Cloud* ont été intégrés pour mettre en perspective celui de l'IA et du ML. Cette analyse ne prend en compte que les entreprises cotées à la Bourse de New York.

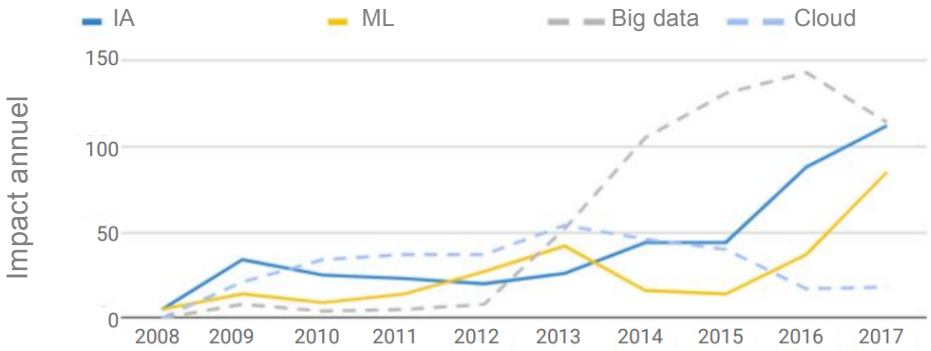
L'impact de l'IA et du ML sur les revenus des entreprises informatiques a augmenté en 2015. Pour la plupart des autres secteurs d'activité, cette hausse a débuté en 2016. Les secteurs *informatique*, *biens de consommation*, *financier* et *santé* sont ceux pour lesquels l'IA a eu le plus d'impact sur leurs revenus.

Voir annexe 14 pour les données et la méthodologie.

Impact sur les revenus – entreprises informatiques (2007-2017)
Source : Prattle



Impact sur les revenus – ensemble des entreprises (sauf informatiques) (2008-2017)
Source : Prattle



Top 10 des entreprises – impact de l'IA sur les revenus (2017)
NVIDIA Corporation (93), LivePerson (50), Pegasystems (44), Facebook (40), Axon Enterprise (37), salesforce.com (36), Intel Corporation (35), Microsoft Corporation (34), Genpact Limited (34), Applied Materials (33)
Top 10 des entreprises – impact du ML sur les revenus (2017)
Alphabet (57), Nasdaq (26), ServiceNow (21), Progress Software Corporation (21), Cadence Design Systems Inc. (20), Splunk Inc. (18), Twitter (17), Overstock.com (14), Synopsis Inc. (14), Aspen Technology (14)

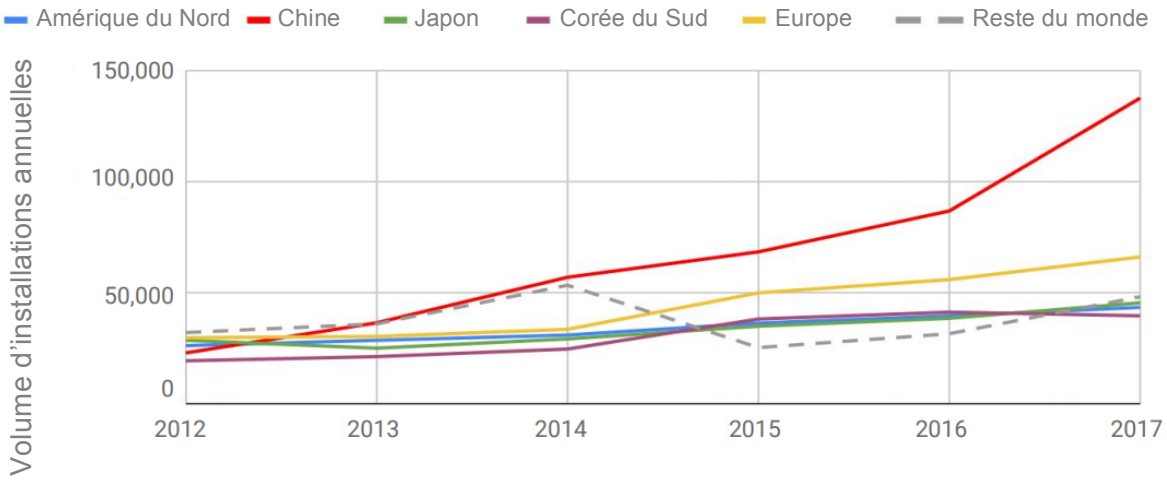
Installations de robots

Les graphiques ci-après montrent le nombre annuel d'installations de robots, par région. Le premier graphique montre les cinq plus grandes régions en termes d'installations de robots, le second ce qu'il en est dans le reste du monde.

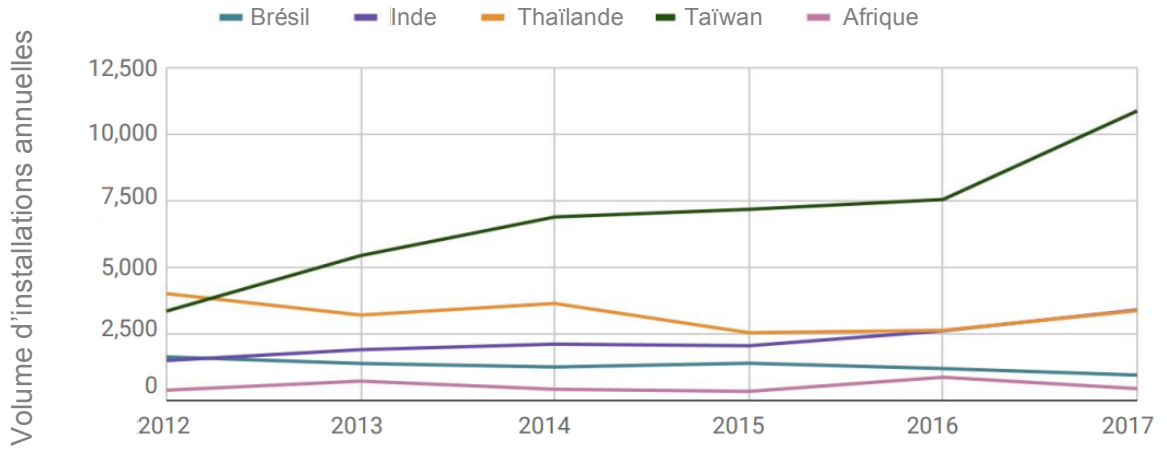
La Chine a connu une hausse de 500% des installations annuelles de robots depuis 2012, tandis qu'en Corée du Sud et en Europe par exemple, les hausses ont été respectivement de 105% et 122%. Parmi les plus petites régions (toujours en termes d'installations de robots), Taïwan a aujourd'hui le plus gros volume d'installations annuelles et a connu sa croissance la plus forte sur la période 2012-2017.

Voir annexe 15 pour les données et la méthodologie.

Installations de robots – régions principales (2012-2017)
Source : ifr.org



Installations de robots – reste du monde (2012-2017)
Source : ifr.org



Note : Le nombre d'installations est de production nationale (dont les imports, moins les exports).

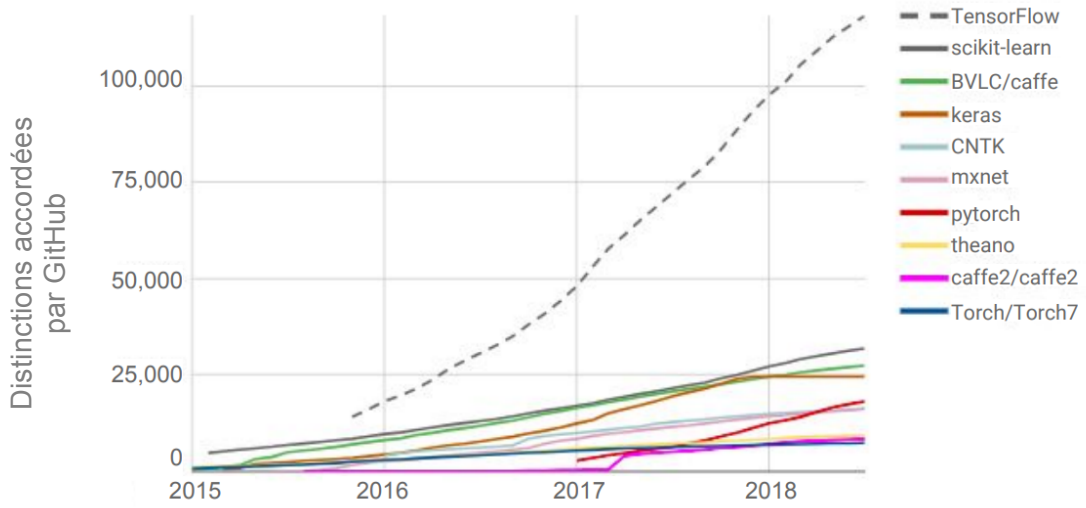
Distinctions accordées par GitHub

Les graphiques ci-après montrent le nombre de fois où des logiciels d'IA et de ML se sont vus accorder des distinctions par GitHub. Cela nous permet d'avoir une idée générale de la popularité des différents systèmes de programmation IA.

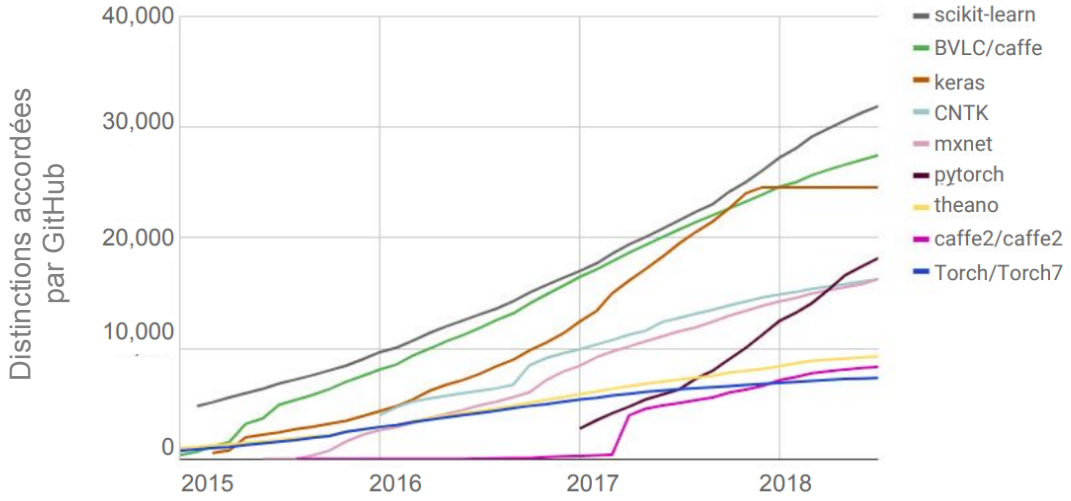
Deux des tendances actuelles sont la popularité grandissante de systèmes de programmation soutenus par de grandes entreprises (par exemple *TensorFlow* soutenu par *Google*, *Pytorch* soutenu par *Facebook*, *mxnet* soutenu par *Amazon*) d'une part, et la popularité significative de TensorFlow par rapport aux autres systèmes de programmation d'autre part.

Voir annexe 16 pour les données et la méthodologie.

Distinctions cumulées accordées par GitHub pour le catalogue IA (2015-2018)
Source : GitHub



Distinctions cumulées accordées par GitHub pour le catalogue IA, à l'exclusion de TensorFlow (2015-2018)
Source : GitHub



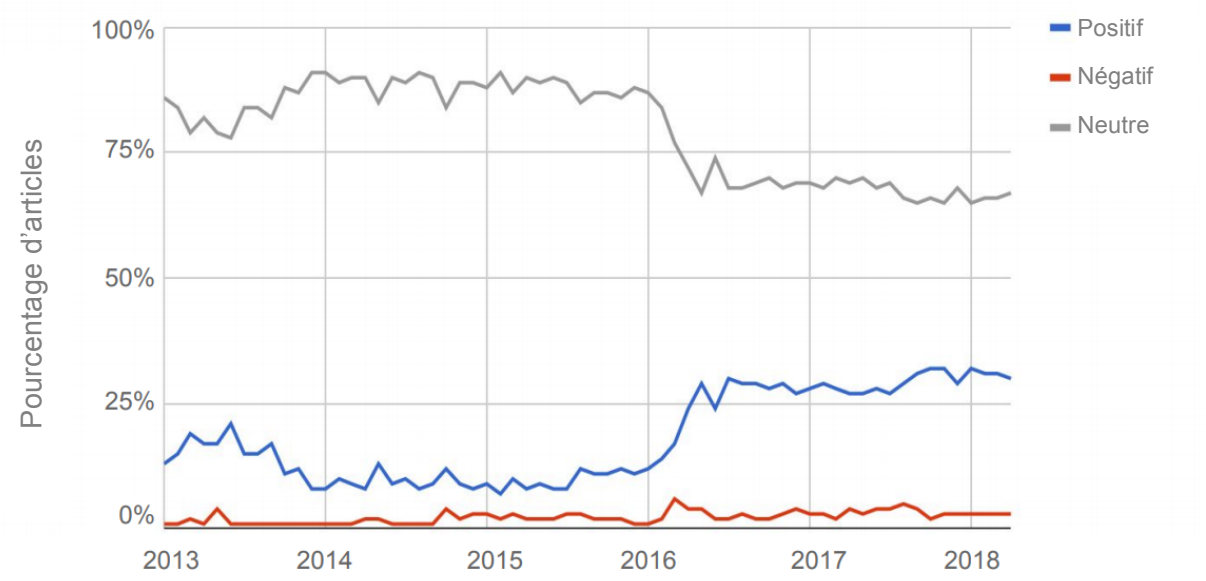
Couverture médiatique

Le graphique ci-après montre le pourcentage d'articles parus dans des médias répandus et contenant le terme *Intelligence artificielle*. Ces articles sont classés en fonction de leur contenu : *positif*, *négatif* ou *neutre*.

Les articles traitant d'IA sont devenus moins neutres et plus positifs, plus particulièrement depuis le début de l'année 2016, période au cours de laquelle les articles sont passés d'un contenu 12% positif (janvier 2016) à 30% positif (juillet 2016). Depuis, le taux d'articles positifs a oscillé autour de 30%.

Voir annexe 17 pour les données et la méthodologie.

Articles faisant référence à l'IA (2013-2018)
Source : TrendKite



→ **De 2016 à 2018, le contenu des articles traitant d'IA est devenu 2,5 fois plus positif**

Mentions par des gouvernements

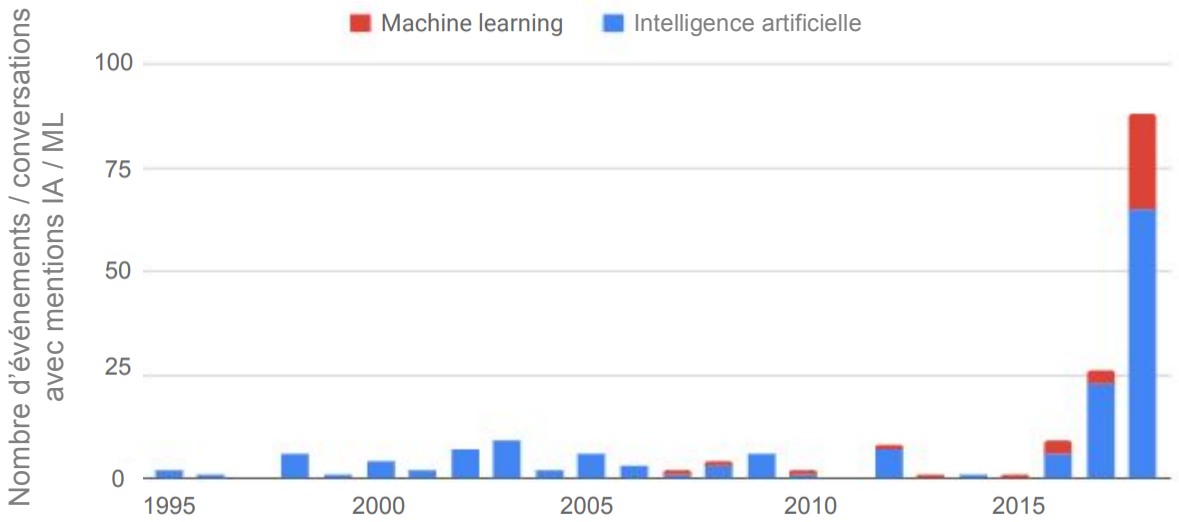
Les graphiques ci-après montrent les mentions des termes *Intelligence artificielle* et *Machine learning* dans les transcriptions du Congrès américain ainsi que les comptes-rendus (aussi appelés « Hansards ») des parlements canadien et britannique.

Parmi ces trois gouvernements, les mentions de ces termes ont connu une hausse dès 2016. Toutefois, le terme *Machine learning* n'est que rarement mentionné avant 2016 dans ces trois pays. Il représente d'ailleurs, encore aujourd'hui, un faible pourcentage du nombre total de mentions par rapport au terme *Intelligence artificielle*.

Il est à noter que les différences de méthodologie rendent les comparaisons entre pays difficiles. Par exemple, les données pour les USA indiquent que les termes *Machine learning* ou *Intelligence artificielle* ont été mentionnés au moins une fois au cours d'un événement ou d'une conversation. Au Royaume-Uni, les données indiquent que les mêmes termes ont été mentionnés au moins une fois dans un commentaire. De fait, plutôt que de faire des comparaisons entre pays, nous suggérons de comparer l'évolution des mentions au fil du temps pour chaque pays.

Voir annexe 18 pour les données et la méthodologie.

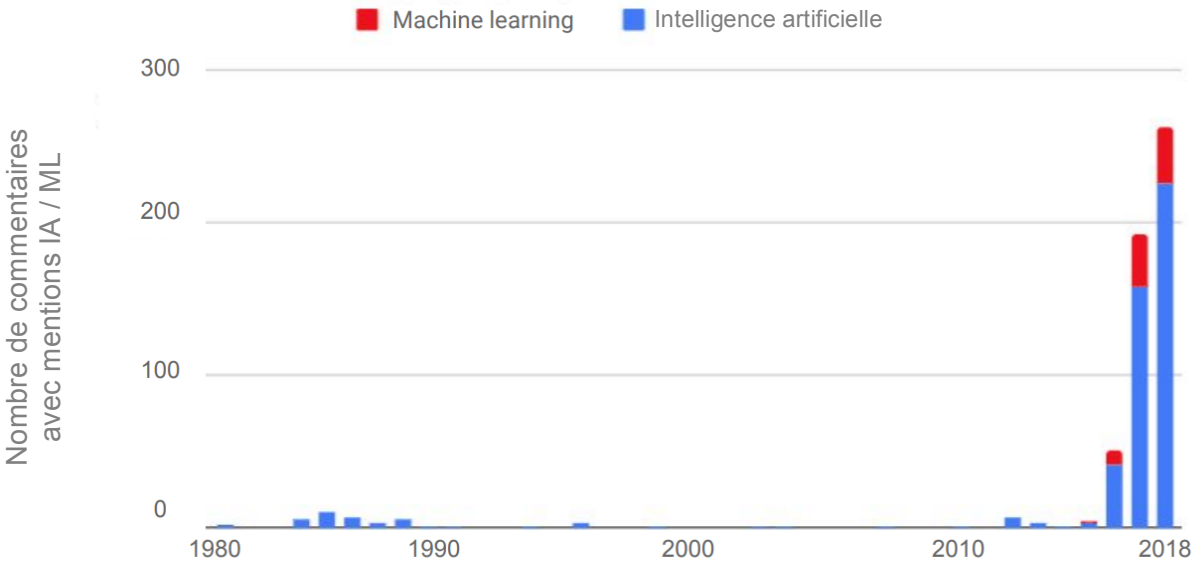
Mentions des termes IA et ML au Congrès américain (1995-2018)
Source : site Web des transcriptions du Congrès américain, analyse du McKinsey Global Institute



Note : Le Sénat et la Chambre des représentants sont inclus dans cette analyse. Les données pour l'année 2018 vont jusqu'au 20/11/2018.

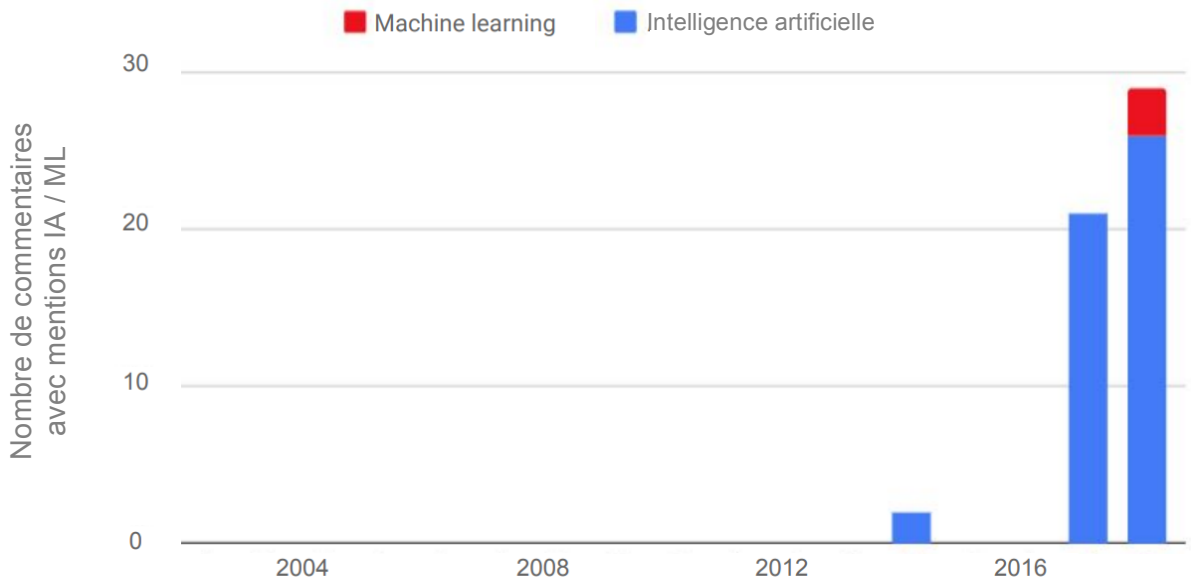
Mentions par des gouvernements (suite)

Mentions des termes IA et ML au Parlement britannique (1980-2018)
Source : site Web du Parlement britannique, analyse du McKinsey Global Institute



Note : La Chambre des communes, la Chambre des Lords, Westminster Hall et les comités sont inclus dans cette analyse. Les données pour l'année 2018 vont jusqu'au 20/11/2018.

Mentions des termes IA et ML au Parlement canadien (2002-2018)
Source : site Web du Parlement canadien, analyse du McKinsey Global Institute



Note : Seule la Chambre des communes est incluse dans cette analyse. Les données pour l'année 2018 vont jusqu'au 20/11/2018. Veuillez noter qu'il s'agit d'une reproduction non-officielle à but non-commercial. Les lecteurs souhaitant utiliser ce graphique doivent noter que la permission du Président ne s'applique pas aux initiatives à visée commerciale ou financière.

PERFORMANCES TECHNIQUES

Détection des objets : ImageNet

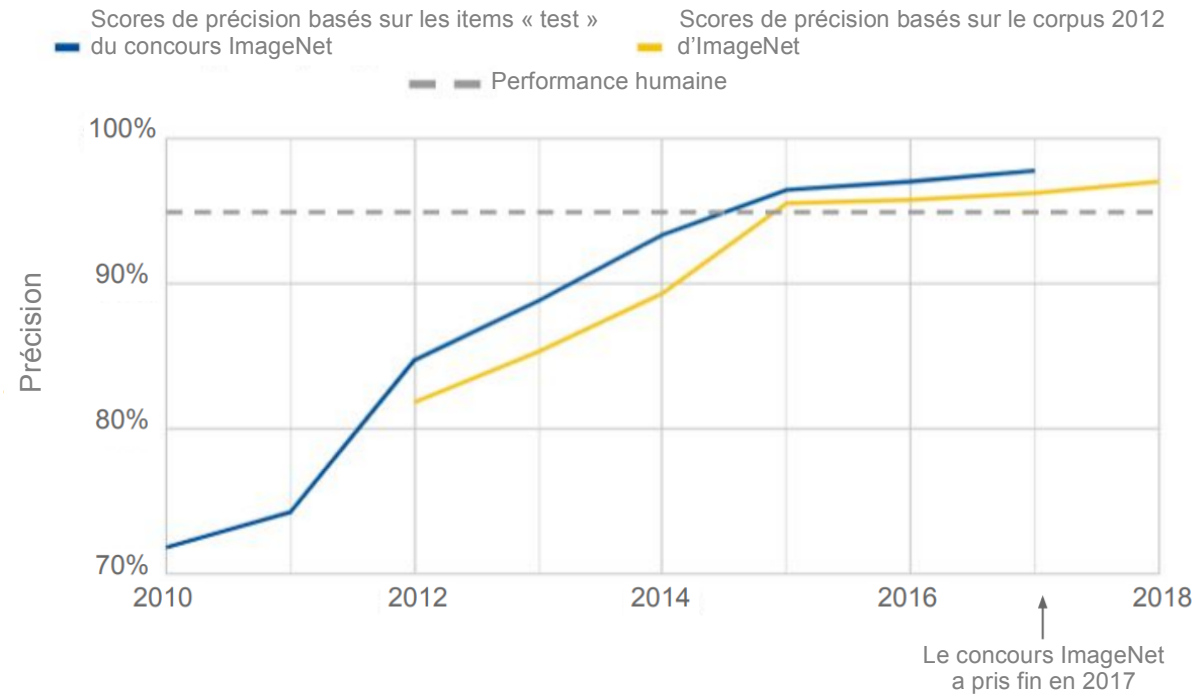
Le graphique ci-après montre les scores de précision ImageNet au fil du temps. Le concours ImageNet a eu lieu jusqu'en 2017 : les notes étaient attribuées en fonction d'un nombre d'items « test » spécifiques au concours. Ce concours n'existant plus aujourd'hui, l'AI Index a choisi d'analyser les évolutions des scores de précision suivant le modèle ImageNet, en utilisant des articles de recherche qui se basaient sur le corpus 2012 d'ImageNet.

Étant donné que nous comparons à la fois des résultats obtenus à partir des items « test » d'ImageNet et des résultats obtenus en dehors du concours, nous ne disposons plus d'un ensemble de données homogènes pour évaluer les modèles IA.

Cet indicateur met également en lumière un défi relatif à l'évolution des modèles IA au fil du temps : si un indicateur donné se base sur un concours, la disparition de ce concours rend plus difficile l'évaluation de l'évolution réelle. Toutefois, grâce à la mise à disposition de nombreux autres ensembles de données, nous pouvons établir une continuité en peaufinant le tout.

Voir annexe 19 pour les données et la méthodologie.

ImageNet (2010-2018)
Source : ImageNet (voir annexe)



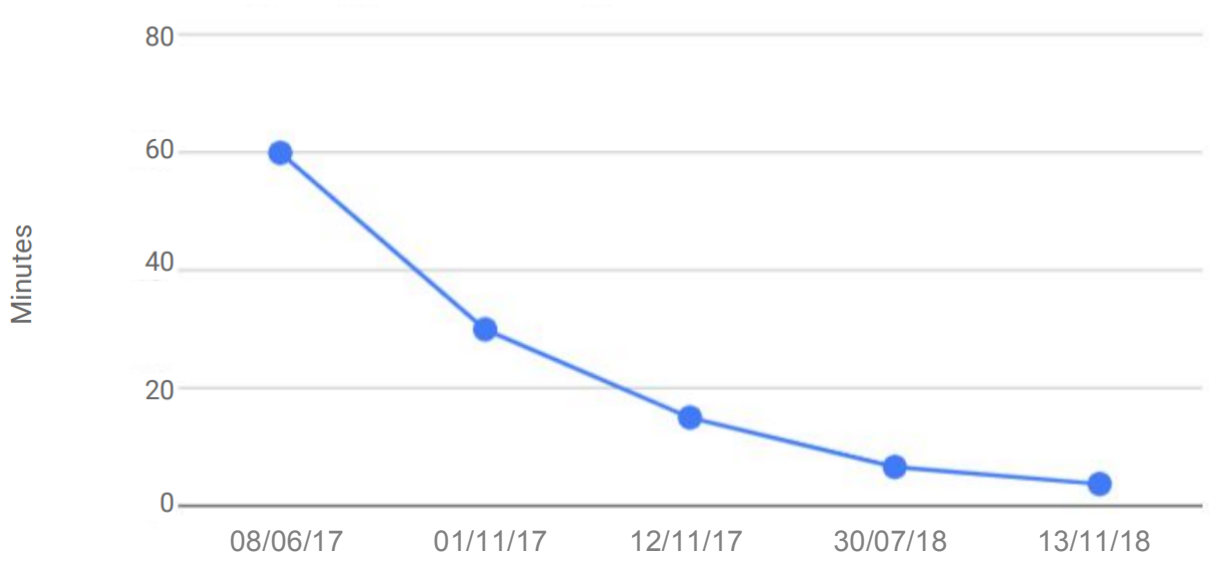
Détection des objets : durée de formation à ImageNet

Le graphique ci-après montre le temps nécessaire pour former un réseau à classifier avec une très grande précision les images provenant du corpus ImageNet (une banque d'images). Cet indicateur est également un moyen d'évaluer le temps nécessaire aux acteurs de l'IA disposant de moyens suffisants pour former de gros réseaux à effectuer des tâches liées à l'IA, comme la classification d'images par exemple. Étant donné que la classification d'images nécessite une supervision relativement générique, les progrès de cet indicateur peuvent être corrélés à des durées de formation plus courtes pour d'autres applications de l'IA. En l'espace d'un an et demi, le temps requis pour former un réseau est passé d'une heure à environ 4 minutes.

L'indicateur de durée de formation à ImageNet démontre également l'industrialisation des recherches IA. Les facteurs qui permettent de réduire le temps de formation à ImageNet incluent des innovations algorithmiques et des investissements sur l'infrastructure (le matériel nécessaire pour former le système ou le logiciel utilisé pour connecter l'ensemble du matériel, par exemple).

Voir annexe 19 pour les données et la méthodologie.

Durée de formation à ImageNet (juin 2017-novembre 2018)
Source : arXiv.org (voir annexe pour les auteurs)



→ **Le temps de formation à ImageNet a été divisé par 16 entre juin 2017 et novembre 2018**

Segmentation d'instance d'objets : COCO

Le graphique ci-après montre les performances de l'IA dans le cadre du Challenge « Objets communs dans le contexte » (*Common Objects in Context Challenge*, COCO).

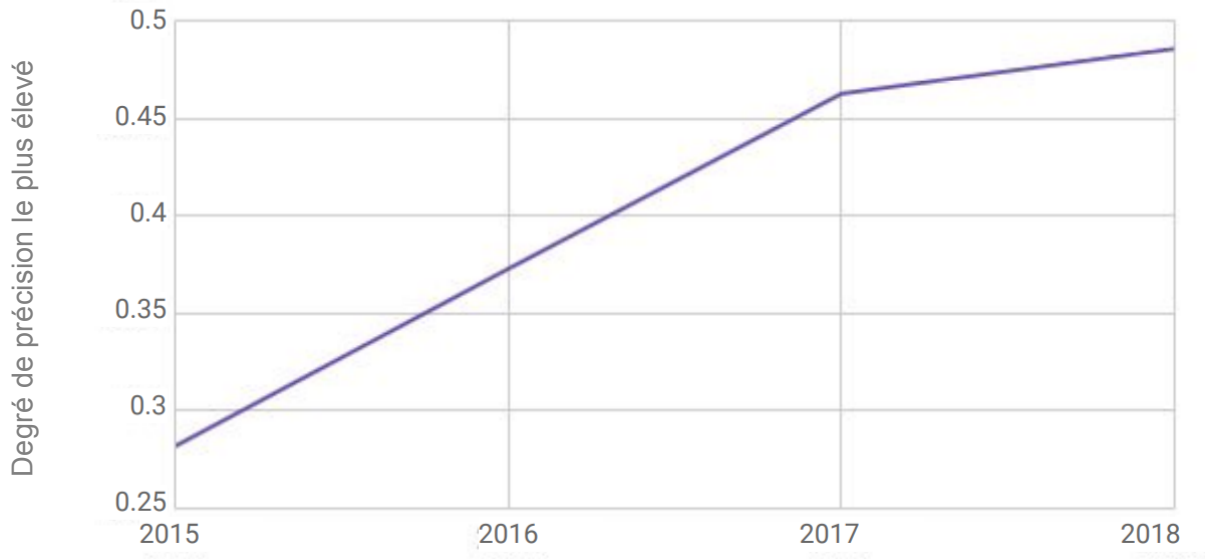
En 2017, le concours ImageNet a pris fin après que les algorithmes de vision par ordinateur ait obtenu des scores de performance élevés en termes de détection d'objets et de classification d'images fournies par ImageNet. Depuis, la communauté de chercheurs procède à des tests de vision par ordinateur plus compliqués. Les chercheurs se concentrent désormais sur des tests qui nécessitent un raisonnement plus sophistiqué, par exemple localiser des objets avec une précision au pixel près (la segmentation d'instance d'objets) et diviser un lieu en différentes zones avec une précision au pixel près (la segmentation sémantique).

L'indicateur COCO montre les performances de l'IA aux tests mentionnés ci-dessus. L'objectif du Challenge « Objets communs dans le contexte » est de construire un algorithme capable de localiser chaque objet et d'en définir les limites avec précision.

Depuis 2015, le degré de précision le plus élevé obtenu lors du COCO a augmenté de 0,2 point, soit 72%.

Voir ici pour les données et ici pour plus d'informations sur le COCO.

Challenge COCO de segmentation d'instance d'objets (2015-2018)
Source : classement COCO



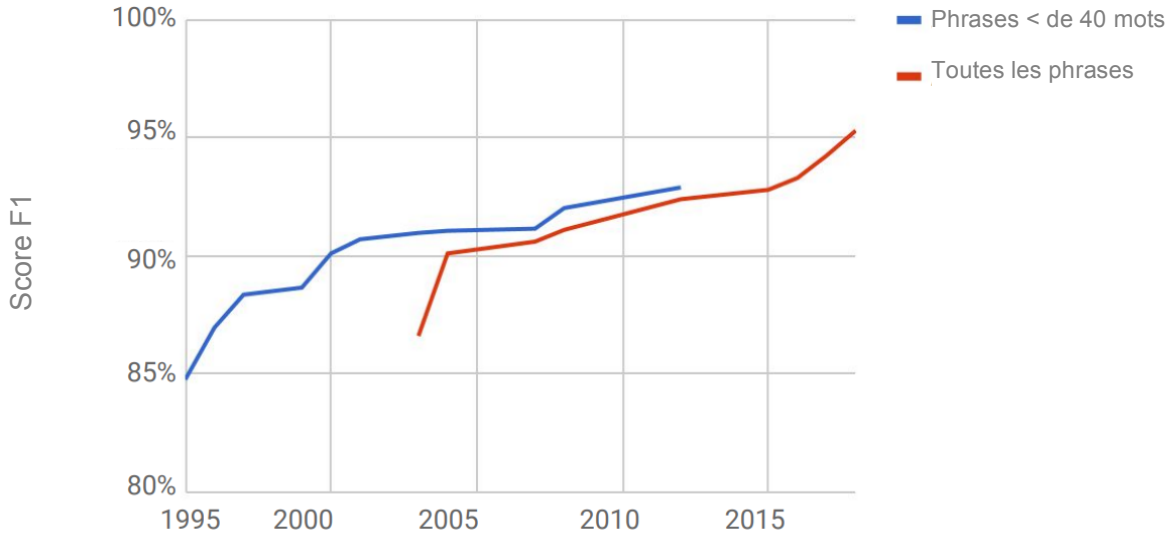
Analyse grammaticale

Le graphique ci-après montre les capacités des systèmes IA à déterminer la structure syntaxique des phrases.

L'indicateur de l'analyse grammaticale est une première étape pour comprendre le langage naturel dans le cadre de certaines fonctions, notamment répondre à des questions. À l'origine, la fonction « répondre à des questions » utilisait des algorithmes similaires à ceux utilisés pour l'analyse grammaticale des langages de programmation. Désormais, cette fonction utilise – et ce de façon universelle – le deep learning. Depuis 2003, les scores F1 pour toutes les phrases ont augmenté de 9 points, soit 10%.

Voir annexe 20 pour les données et la méthodologie.

Performance en d'analyse grammaticale – Penn Treebank (1995-2018)
Source : voir annexe



→ **Entre 2003 et 2018, les performances de l'IA en analyse grammaticale ont augmenté de 10%**

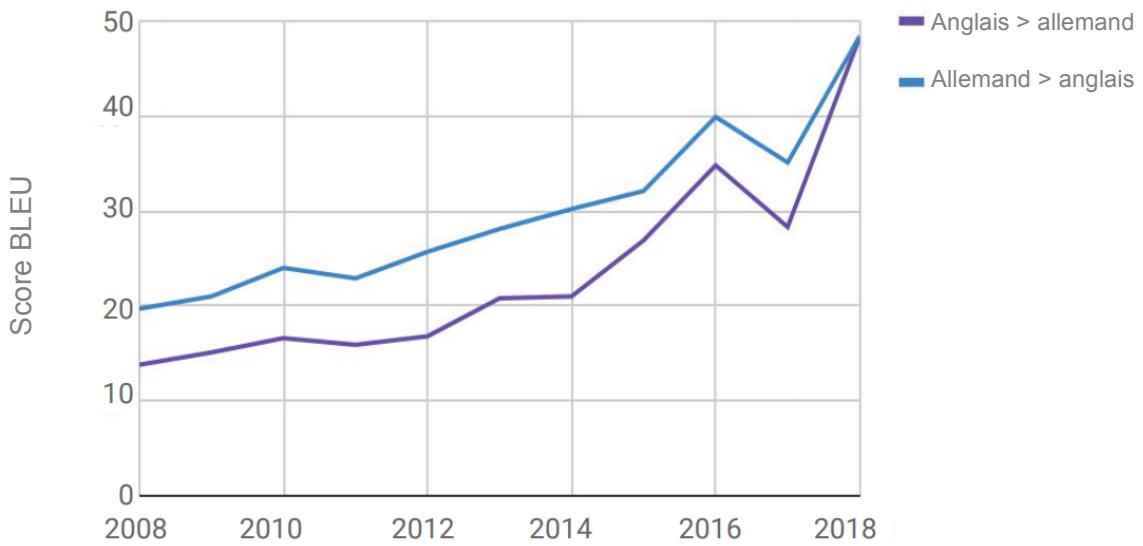
Traduction automatique

Le graphique ci-dessous montre les capacités des systèmes IA à traduire des informations de l'anglais vers l'allemand et de l'allemand vers l'anglais.

Les scores BLEU pour les traductions de l'anglais vers l'allemand sont 3,5 fois plus élevés aujourd'hui qu'en 2008. Les scores pour les traductions de l'allemand vers l'anglais ont été multipliés par 2,5 sur la même période. Étant donné que les dispositifs de test changent d'une année sur l'autre, il n'est pas possible d'établir une comparaison parfaite entre les scores de chaque année (nous pensons que cela explique la chute des scores constatée en 2017 – voir annexe pour plus de détails). Toutefois, les scores BLUE restent utiles pour évaluer les progrès de la traduction automatique.

Voir annexe 21 pour les données et la méthodologie.

Traduction d'informations – concours WMT (2008-2018)
Source : EuroMatrix



→ **Le score BLEU pour la traduction de l'anglais vers l'allemand est 3,5 fois plus élevé aujourd'hui qu'en 2008**

« Il y a deux choses que les systèmes les plus performants font très bien : ils utilisent l'architecture du transformateur pour la traduction automatique neurale et ils exploitent les données de manière plus efficace. L'architecture du transformateur peut donner de meilleurs résultats que les modèles de traduction automatique neurale plus anciens (basés sur les réseaux de neurones récurrents) mais le choix des paramètres est plus délicat et doit être optimisé. »

Barry Haddow, Université d'Édimbourg

Performance de la traduction automatique commerciale
Voir ici pour plus d'informations sur la traduction automatique commerciale

Réponse à des questions : ARC

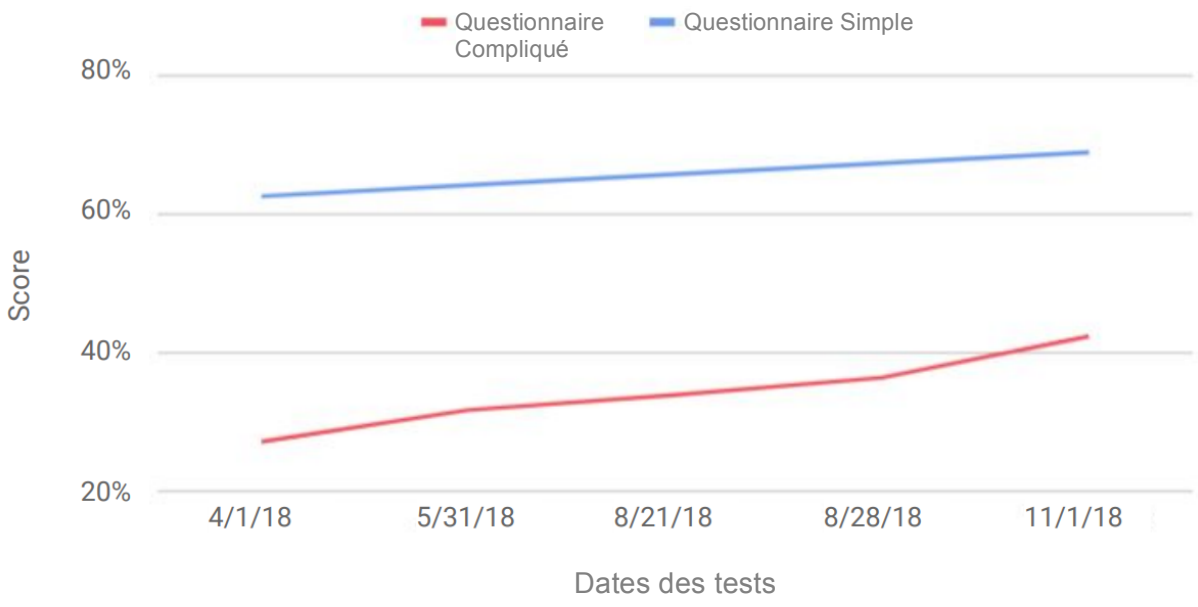
Le graphique ci-après montre les performances de l'IA au Challenge AI2 Reasoning (ARC). Le test proposé par l'ARC comporte 7 787 questions à choix multiple provenant du programme scolaire américain, du « 3rd grade » au « 9th grade » (l'équivalent du CE2 à la 3ème en France). Ces questions ont pour but d'encourager les recherches sur une fonction avancée de réponse aux questions. Elles se divisent en deux catégories : Questionnaire Compliqué (2 590 questions) et Questionnaire Simple (5 197 questions).

Le Questionnaire Compliqué comporte uniquement des questions auxquelles les algorithmes basés sur la récupération et la cooccurrence d'un mot ont apporté une réponse incorrecte. Les questions sont composées uniquement de texte et proviennent de tests sur la langue anglaise proposés à des classes dont les niveaux ont été précisés précédemment. Chaque question est présentée sous la forme d'un QCM (avec en général 4 réponses possibles). Les questions s'accompagnent du corpus ARC, un catalogue de 14 millions de phrases non-triées, en rapport avec les matières du programme scolaire et incluant des connaissances utiles dans le cadre du test. Les réponses aux questions du Questionnaire Compliqué ne se trouvent pas forcément dans ce corpus.

Le rapport de l'ARC a été publié en avril 2018. En 2018, le taux de performance de l'IA en termes de réponse aux questions est passé de 63% à 69% pour le Questionnaire Simple et de 27% à 42% pour le Questionnaire Compliqué.

Voir annexe 22 pour les données et la méthodologie.

Classement ARC (avril 2018-novembre 2018)
Source : Allen Institute for Artificial Intelligence



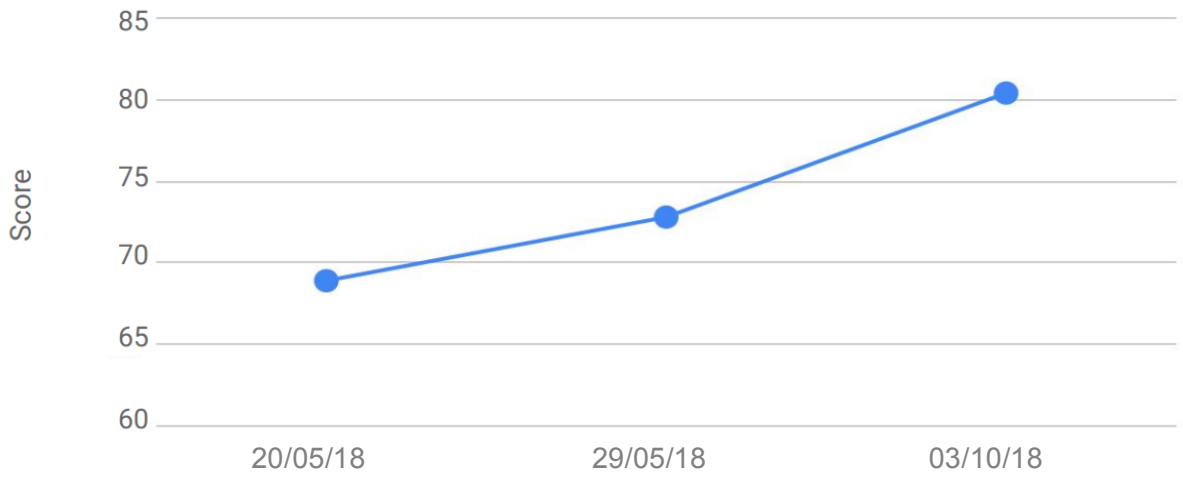
Note : Ce graphique montre les principales participations au Challenge ARC, connectées par une ligne de tendance. Des informations supplémentaires sur les dates des tests sont disponibles en annexe.

Réponse à des questions : GLUE

Le graphique ci-après montre les résultats du test de référence GLUE (General Language Understanding Evaluation). Ce dernier a pour but de tester les capacités des systèmes de compréhension du langage naturel (NLU) sur une variété de tâches et d'encourager le développement de nouveaux systèmes répondant à des besoins spécifiques. Le test comporte neuf sous-tâches : deux sur des phrases uniques (pour mesurer l'acceptabilité et le ressenti linguistiques), trois sur des phrases similaires ou des paraphrases et quatre sur des déductions du langage naturel (dont le Winograd Schema Challenge). La taille des corpus est variable, allant de moins de 1 000 à plus de 400 000 items. La méthode d'évaluation se base notamment sur l'exactitude / F1 et le Matthews Correlation Coefficient.

Bien que le test de référence GLUE n'ait été publié qu'en mai 2018, les performances ont déjà été améliorées : le fossé qui sépare la première étude de référence publiée du niveau estimé pour un humain non-expert est désormais comblé à quasiment 90%.

Voir annexe 23 pour les données et la méthodologie.



« Nous n'avons pas encore vu de communauté émerger autour du test GLUE mais je pense que les deux principales soumissions que nous avons reçues jusqu'à présent ont été reconnues comme une étape importante dans l'apprentissage de la compréhension de phrases. Le BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) de Google – la référence en la matière – a été déjà été cité huit fois alors qu'il a été publié il y a tout juste un mois. C'était l'un des principaux sujets de conversation dans les couloirs de la conférence EMNLP et il semble que ce sera désormais le record à battre en termes de recherche sur la compréhension du langage (qu'il s'agisse ou non de recherches sur les représentations préprogrammées). »

Sam Bowman, NYU

Autres tests sur la fonction « répondre aux questions »

Les tests de questions / réponses ont connu une expansion rapide. Voici quelques tests non-analysés dans le Rapport 2018 de l'AI Index : Squad 2.0 ; OpenBookQA ; HotpotQA ; MultiRC ; NarrativeQA ; DrQA ; CoQA ; QuAC ; CWQ.

AUTRES MESURES

MESURES DÉRIVÉES

La partie *Mesures dérivées* a pout but d'examiner les liens qui existent entre les différentes tendances identifiées dans les pages précédentes.

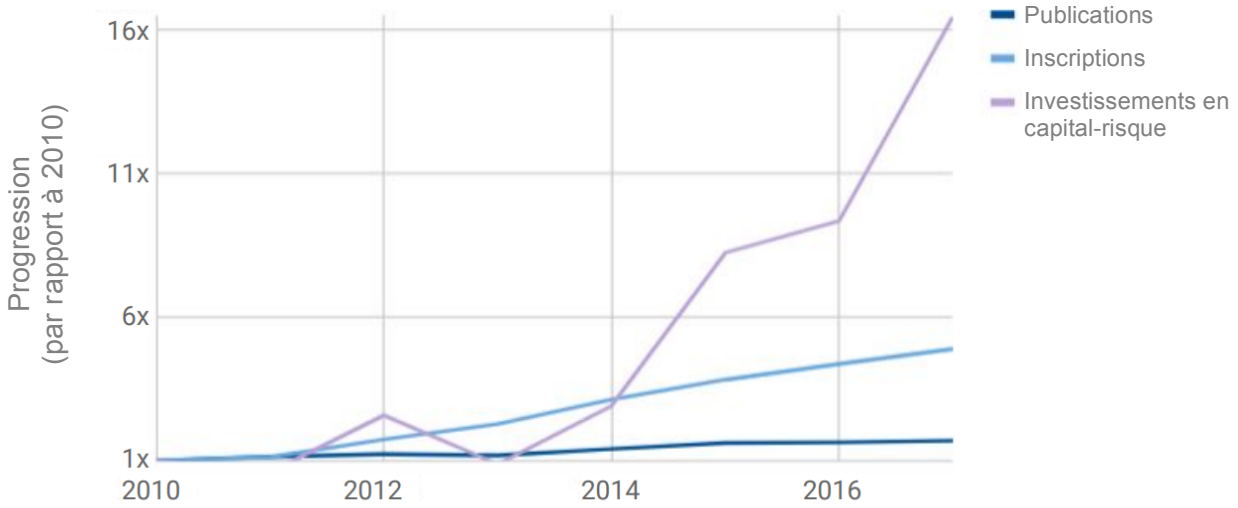
La première mesure, *Dynamiques Monde universitaire / Industrie*, établit un rapprochement entre la progression des données académiques et la progression des données industrielles. La seconde mesure, l'*AI Vibrancy Index*, combine les données académiques et industrielles en un seul index.

Dynamiques Monde universitaire / Industrie

Pour étudier les liens entre les activités liées à l'IA du monde universitaire et de l'industrie, nous avons d'abord sélectionné quelques données représentatives présentées dans les parties précédentes. En particulier, nous nous sommes intéressés aux articles traitant d'IA publiés sur Scopus, aux taux d'inscription combinés aux cours d'introduction à l'IA et au ML de plusieurs universités américaines et aux financements en capital-risque des startups spécialisées en IA.

Ces données ne peuvent pas être comparées telles quelles. Pour analyser les liens entre les différentes tendances, nous avons donc normalisé chaque indicateur à partir de 2010 et nous avons indiqué la progression plutôt que des nombres absolus.

Dynamiques Monde universitaire / Industrie (2010-2017)
Source : Sand Hill Econometrics, Scopus, données fournies par les universités



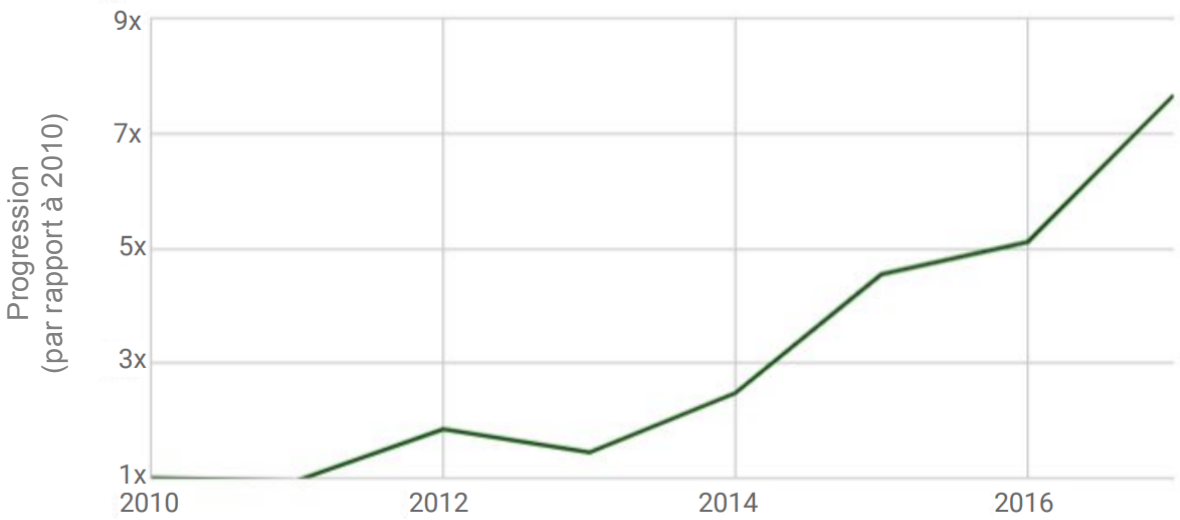
AI Vibrancy Index

L'AI Vibrancy Index (indice de vitalité de l'IA) rassemble les trois indicateurs Monde universitaire / Industrie (publications, inscriptions et investissements en capital-risque) en une seule mesure. Nous utilisons l'AI Vibrancy Index pour quantifier la vitalité de l'IA en tant que domaine d'expertise. Tout comme les Dynamiques Monde universitaire / Industrie, l'AI Vibrancy Index a été normalisé à partir de 2010.

L'AI Vibrancy Index est largement porté par les investissements en capital-risque, ces derniers ayant eu une croissance plus importante que les deux autres indicateurs. Les trois indicateurs ont été pondérés à égalité. Nous encourageons les lecteurs à télécharger nos données pour ajuster la pondération des indicateurs et ainsi créer un AI Vibrancy Index qui corresponde à leur vision des choses.

Publications : voir annexe 1.
Inscriptions : voir annexe 5.
Investissements en capital-risque : voir annexe 10.

AI Vibrancy Index (2010-2017)
Source : Sand Hill Econometrics, Scopus, données fournies par les universités



INITIATIVES GOUVERNEMENTALES RÉCENTES

Les ressources listées ci-après ont été compilées par le Centre de recherche de la Commission européenne et par Tim Dutton dans son Aperçu des stratégies nationales en IA.

USA	EUROPE *(Union européenne, Royaume-Uni et France uniquement – plusieurs initiatives d'autres pays européens ne sont pas incluses)*	CHINE
Octobre 2016 : L'administration Obama a proposé une stratégie nationale de R&D en IA dans le but d'investir dans la recherche, de développer des méthodes de collaboration entre IA et humains, de répondre aux problématiques sécuritaires, éthiques, légales et sociétales de l'IA, de créer une base de données publique sur la formation à l'IA et d'évaluer les technologies IA avec des critères de référence. Le gouvernement américain a également publié le premier rapport public sur l'IA : Se préparer au futur de l'IA. **Mai 2018 :** Le Sommet sur l'IA organisé par l'administration Trump a annoncé ses objectifs : 1) conserver le leadership américain sur l'IA, 2) soutenir les travailleurs américains, 3) promouvoir la R&D publique et 4) supprimer les obstacles à l'innovation. Le *Select Committee on Artificial Intelligence* est créé pour conseiller la Maison-Blanche sur les priorités de R&D en IA et pour envisager la création de partenariats avec le monde universitaire et les entreprises.	***Union européenne*** **Avril 2018 :** les États-membres de l'Union européenne ont signé la *Déclaration de coopération sur l'IA*, tous ayant accepté de travailler ensemble. La Commission européenne a également publié un document intitulé *Communication sur l'IA* avec pour objectifs : 1) booster les investissements européens pour la recherche, 2) préparer les changements socio-économiques et 3) bâtir un cadre juridique et éthique. 1,5 milliard d'euros sont également dédiés à la recherche sur l'IA pour la période 2018-2020. Ils s'ajoutent aux 2,6 milliards d'euros du programme Horizon 2020. L'objectif de la commission européenne est d'investir 20 milliards d'euros dans la recherche en IA sur les 10 prochaines années. **Juin 2018 :** La Commission européenne a proposé un programme Europe Digitale avec un budget de 9,2 milliards d'euros pour 2021-2027. Ce programme a pout but de soutenir le progrès des technologies IA et d'assurer l'utilisation de l'IA dans l'économie et dans la société. La Commission européenne a également proposé de développer des « catalogues européens » communs d'algorithmes qui seraient accessibles à tous.	Depuis 2014, le gouvernement chinois a lancé une série d'initiatives nationales en IA, avec pour objectif de créer un marché de l'IA de 14,7 milliards de dollars d'ici 2018 et de garantir que la Chine sera le leader mondial en IA d'ici 2030. **Juillet 2015 :** L'initiative *Internet+* se focalise sur la production intelligente en Chine. Parmi les objectifs relatifs à l'IA : un meilleur soutien public au développement de l'IA, promouvoir la popularisation de l'IA dans des domaines tels que la maison intelligente, la voiture intelligente et les robots, créer une base de données dédiée à la formation (incluant la voix, l'image, la vidéo, la cartographie et la recherche) et développer / industrialiser les principales technologies IA (vision par ordinateur, analyse du langage et interaction entre l'humain et l'ordinateur). **2016-2020 :** Le plan de développement de l'industrie robotique prépare le terrain pour le développement d'une industrie intelligente et d'une robotique servicielle en Chine.

INITIATIVES GOUVERNEMENTALES RÉCENTES (suite)

Les ressources listées ci-après ont été compilées par le Centre de recherche de la Commission européenne et par Tim Dutton dans son Aperçu des stratégies nationales en IA.

USA	EUROPE *(Union européenne, Royaume-Uni et France uniquement – plusieurs initiatives d'autres pays européens ne sont pas incluses)*	CHINE
Septembre 2018 : La DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) a annoncé un plan d'investissement de 2 milliards de dollars pour palier aux restrictions sur les technologies IA. Le programme AI Next débute. Le Sous-Comité sur les technologies de l'information du U.S. House Committee on Oversight and Government Reform a publié un livre blanc sur l'IA et ses impacts sur la politique : Montée des machines : l'IA et son impact grandissant sur la politique américaine. Les entreprises privées jouent un rôle central dans le développement / l'investissement en IA aux USA. En 2017, des entreprises privées spécialisées dans la technologie telles qu'Amazon et Alphabet ont respectivement investi 16,1 et 13,9 milliards de dollars dans la R&D. Pour donner un ordre d'idée, le budget total dédié à la National Science Foundation combiné aux investissements de la DARPA et du Ministère américain des transports consacrés aux systèmes autonomes et sans équipage représentaient 5,3 milliards de dollars sur le budget 2019.	***France*** **2018 :** La France a publié trois rapports : 1) le Plan pour l'IA française, qui propose une stratégie de recherche, de formation et d'innovation, 2) un rapport produit par l'Office parlementaire pour les Sciences et la Technologie qui se concentre sur les questions réglementaires et sociales, 3) le Rapport Villani, avec des pistes sur la politique à mener, des propositions pour limiter la « fuite des cerveaux » et un plaidoyer sur l'importance de la diversité en termes de recherche IA. ***Royaume-Uni*** **2016 :** Le UK Parliament House of Lords Select Committee on Artificial Intelligence a commencé à publier une série de rapports de politique IA. **Avril 2018 :** Le gouvernement a publié son *AI Sector Deal* avec un investissement de 950 millions de livres pour soutenir la recherche / la formation et améliorer les infrastructures de données britanniques.	**Juillet 2017 :** Le Plan de développement de l'IA nouvelle génération propose une stratégie de développement de l'IA d'ici 2030. Il prévoit que la technologie IA chinoise soit sur un pied d'égalité avec les niveaux mondiaux les plus élevés d'ici 2020. Il prévoit également que, d'ici 2025, la Chine réalisera des avancées majeures en théories IA et que l'IA sera un moteur pour la mise à niveau industriel et la restructuration économique. Enfin, il prévoit que, d'ici 2030, la Chine devienne l'un des centres d'innovation majeurs en termes d'IA.

PERFORMANCES DE NIVEAU HUMAIN : ÉTAPES-CLEFS

PERFORMANCES DE NIVEAU HUMAIN : ÉTAPES-CLEFS

Dans le Rapport 2017 de l'AI Index, nous avions intégré une chronologie des circonstances au cours desquelles les performances de l'IA avaient égalé ou dépassé les performances humaines. Cette chronologie mettait en avant des exploits en gaming, des diagnostics médicaux exacts et d'autres tâches humaines génériques, mais néanmoins sophistiquées, réalisées par l'IA avec des résultats humains, voire surhumains. Cette année, nous avons ajouté quatre nouvelles prouesses à cette chronologie. Les tâches présentées ci-après sont extrêmement spécifiques et les prouesses, bien qu'impressionnantes, ne disent rien quant à la possibilité de généraliser les capacités de l'IA à d'autres tâches.

1980

Othello

Dans les années 1980, Kai-Fu Lee et Sanjoy Mahajan ont développé BILL, un système bayésien basé sur l'apprentissage pour jouer au jeu de plateau Othello. En 1989, ce programme a remporté le tournoi national américain des joueurs sur ordinateur et a battu le joueur américain le mieux classé, Brian Rose (score final : 56-8). En 1997, un programme baptisé Logistello a gagné chaque partie d'un match en six parties contre le champion du monde en titre d'Othello.

1995

Jeu de dames

En 1952, Arthur Samuels a développé une série de programmes de jeu de dames qui s'améliorait en jouant contre lui-même. Toutefois, ce n'est qu'en 1995 qu'un programme de jeu de dames, Chinook, a réussi à battre le champion du monde.

1997

Échecs

Dans les années 1950, des scientifiques spécialistes de l'informatique avaient prédit qu'un ordinateur réussirait à battre un champion d'échecs d'ici 1967, mais ce n'est qu'en 1997 que le système DeepBlue d'IBM a battu le champion Gary Kasparov. Aujourd'hui, les programmes d'échecs pour smartphones peuvent atteindre un niveau expert.

2011

Jeopardy !

En 2011, le programme informatique Watson d'IBM a participé au célèbre jeu télévisé Jeopardy ! contre Brad Rutter et Ken Jenning, vainqueurs historiques de l'émission. C'est Watson qui a remporté le premier prix à 1 million de dollars.

2015

Jeux vidéo Atari

En 2005, une équipe Google DeepMind a utilisé un système de formation accélérée pour apprendre à jouer à 49 jeux vidéo Atari. Le système a atteint des performances de niveau humain dans la majorité des jeux (dont Breakout). Certains jeux (dont Montezuma's Revenge) demeurent toutefois hors de portée pour lui.

PERFORMANCES DE NIVEAU HUMAIN : ÉTAPES-CLEFS (suite)

2016

Détection d'objets sur ImageNet

En 2016, le taux d'erreur de catégorisation automatique d'ImageNet est passé sous les 3% (contre 28% en 2010). Le taux d'erreur pour les humains est d'environ 5%.

2016

Jeu de Go

En mars 2016, le système AlphaGo, développé par l'équipe Google DeepMind, a battu Lee Sedol, l'un des meilleurs joueurs de Go au monde (score final : 4-1). DeepMind a ensuite sorti le programme AlphaGo Master, qui a battu le joueur le mieux classé, Ke Jie, en mars 2017. En octobre 2017, le journal Nature a publié un article sur une nouvelle version, AlphaGo Zero, qui a réussi à battre le programme original AlphaGo (score final : 100-0).

2017

Classification des cancers de la peau

Dans un article de 2017 du journal Nature, Esteva et al. a décrit un programme d'intelligence artificielle formé sur une base de données de 129 450 images cliniques de 2 032 maladies différentes et a comparé ses performances de diagnostic à celles de 21 dermatologues inscrits à l'Ordre des Dermatologues. Le programme s'est avéré capable de classifier les cancers de la peau avec un niveau de compétence comparable à celui des dermatologues.

2017

Reconnaissance vocale sur Switchboard

En 2017, Microsoft et IBM ont chacun atteint des niveaux de performance proches du niveau humain en termes de reconnaissance vocale sur Switchboard.

2017

Poker

En janvier 2017, un programme du CMU baptisé Libratus a battu quatre des meilleurs joueurs humains dans un tournoi de Texas Hold'em de 120 000 parties à deux joueurs. En février 2017, un programme de l'Université d'Alberta baptisé DeepStack a joué contre un groupe de 11 joueurs professionnels sur plus de 3 000 parties. DeepStack a remporté suffisamment de parties de poker pour démontrer la supériorité statistique de ses performances par rapport aux professionnels.

2017

Ms. Pac-Man

Maluuba, une équipe de deep learning mise en place par Microsoft, a créé un système IA qui a appris comment atteindre le score maximum (soit 999 900 points) sur Atari 2600.

PERFORMANCES DE NIVEAU HUMAIN : ÉTAPES-CLEFS (suite)

2018

Traduction du chinois vers l'anglais

Un système de traduction automatique développé par Microsoft a atteint un niveau humain de qualité et de justesse pour la traduction d'informations du chinois vers l'anglais. Le test a été effectué sur newstest2017, une base de données régulièrement utilisée dans les compétitions de traduction automatique.

2018

Capture the Flag

Un agent DeepMind a atteint des performances de niveau humain dans une version modifiée de Capture the Flag de Quake III Arena (un jeu vidéo FPS multi-joueurs très populaire). Les agents ont montré des comportements proches de ceux de l'homme, notamment s'agissant de navigation, de poursuite et de défense. Ils ont dépassé les taux de réussite de joueurs humains très qualifiés, à la fois en équipe et en individuel, allant même jusqu'à battre des systèmes de pointe.

2018

Dota 2

OpenAIFive, l'équipe de cinq réseaux neuronaux d'OpenAI, a battu une équipe humaine d'amateurs à Dota 2 (avec certaines restrictions). Pour sa formation, OpenAIFive a joué contre elle-même à l'équivalent de 180 années de jeu. *(OpenAI n'est pas encore un surhomme car elle n'a pas réussi à battre une équipe humaine de professionnels.)*

2018

Classification des cancers de la prostate

Google a développé un système de deep learning capable d'atteindre un taux d'exactitude de 70% pour classifier les cancers de la prostate à partir de spécimens de prostatectomie. Le taux d'exactitude moyen des pathologistes inscrits à l'Ordre des Médecins est de 61%. Par ailleurs, le système de deep learning a été plus précis que les 10 meilleurs pathologistes (qui avaient classifié chaque spécimen du test de validation).

QUE NOUS MANQUE-T-IL ?

QUE NOUS MANQUE-T-IL ?

L'AI Index continue d'évoluer et de nombreux éléments doivent encore être ajoutés avant d'arriver à capter l'essence même de l'intelligence artificielle. Cela n'arrivera que si la contribution et la coopération de la communauté IA perdure. Voici trois exemples de suggestions faites par des experts de l'IA pour améliorer l'AI Index.

FRANCESCA ROSSI
IBM, University de Padoue *(en congé)*

Raisonnement de bon sens et compréhension du langage naturel
Les systèmes IA de questions-réponses sont très utiles mais il leur manque la capacité d'entretenir une conversation. La compréhension profonde du langage naturel reste un défi, de même que le raisonnement de bon sens. Des indicateurs mesurant ces deux capacités pourraient aider le développement de systèmes IA basés sur le dialogue (ils seraient également d'une grande aide pour de nombreux autres aspects de l'IA). L'AI Index pourrait ajouter des indicateurs pour suivre l'avancement des tests liés à ces capacités, par exemple : le Winograd Schema Challenge, l'Aristo Challenge de AI2 et les concours Kaggle associés pour les tests scientifiques, ainsi que des tests de dialogue comme l'IBM Debater.

Coopération avec les humains
Il est également important de passer d'une approche « humain contre machine » à une approche « humain + machine », si nous voulons que l'IA complète l'intelligence humaine au lieu de la remplacer. Un indicateur pour suivre les progressions dans ce domaine pourrait être le nombre de systèmes non-autonomes où les humains sont aidés par des machines mais restent les décisionnaires finaux.

Raisonnement + Connaissance IA
Le machine learning est très performant dans de nombreuses applications, puisqu'il peut trouver une corrélation parmi d'énormes quantités de données. Cela permet de faire des prédictions très précises. Toutefois, il y a de nombreux domaines dans lesquels nous devons aller au-delà de la corrélation et extraire des informations de causalité, pour pouvoir passer de la prédiction à l'intervention et être en mesure de façonner le futur. Un indicateur intéressant serait le nombre d'articles sur la causalité dans les conférences IA (AAAI ou IJCAI par exemple).

Pour cela, l'analyse des titres des articles pourrait être suffisante. Il est également important de surveiller les travaux qui combinent machine learning et IA symbolique. Un indicateur possible serait le nombre d'articles combinant machine learning et IA symbolique.

RODNEY BROOKS
MIT

Robots avec des composants IA
J'aimerais qu'on s'intéresse aux données d'expédition de robots. La qualité de ces données dépend de la source. De nombreuses sources citent des expéditions industrielles de robots qui n'utilisent quasiment pas (voire pas du tout) l'IA, ce qui donne un indicateur peu intéressant pour les progrès de l'IA. Rethink Robotics est la seule exception que je connaisse.

On pourrait également s'intéresser aux robots avec des composants IA, comme les drones (qui utilisent SLAM et d'autres algorithmes IA). Les robots domestiques, comme Roomba, possèdent également des composants IA. Il serait intéressant d'étudier Roomba car c'est le robot le plus expédié au monde. Même si les robots domestiques ont connu quelques échecs récemment, tout succès dans ce domaine sera largement lié à l'IA.

TOBY WALSH
UNSW Sydney et TU Berlin

Dépenses gouvernementales et usage militaire
L'un des développements les plus significatifs en IA au cours des deux dernières années est peut-être la hausse des investissements annoncés par les gouvernements et les entreprises. Nous avons vu, par exemple, que le gouvernement britannique s'est engagé à y investir 1 milliard de livres, la France 1,5 million d'euros et l'Allemagne 3 millions d'euros. Dans le même temps, des entreprises comme Alibaba ont annoncé des plans d'investissement de 15 milliards de dollars et le SoftBank Vision Fund prévoit d'investir une grande partie de ses 100 milliards de dollars dans l'IA.

L'AI Index gagnerait à utiliser des indicateurs quantitatifs mesurant la hausse de ces investissements. On parle souvent de « course à l'intelligence artificielle », avec des pays comme la Chine qui ne cache pas son ambition d'asseoir son leadership économique et militaire, et ce grâce à l'IA. Pour mesurer le changement d'orientation des recherches en IA, de tels indicateurs seraient plus utiles que les investissements par pays. Un autre secteur qui suscite de plus en plus de craintes est l'utilisation de l'IA par les armées. Dans certains domaines, cette tendance est plutôt positive (pour les opérations de déminage par exemple). Pour d'autres domaines en revanche (le développement d'armes autonomes notamment), de nombreux acteurs de l'IA ont exprimé leur profonde inquiétude. C'est pourquoi l'AI Index gagnerait également à utiliser des indicateurs mesurant le développement et l'assimilation de telles technologies au sein des armées.

REMERCIEMENTS

REMERCIEMENTS

L'AI Index a été conçu dans le cadre de la One Hundred Year Study on AI (AI100). L'AI Index a été pensé comme un projet indépendant, sous l'égide de l'AI100, désormais hébergé par le Human-Centered AI Institute (HAI) de Stanford. Nous nous réjouissons à la perspective de poursuivre une relation prospère avec l'AI100 et l'HAI.

Les fonds additionnels ont été fournis par Google, Microsoft Bytedance (Toutiao) et l'AI Journal.

Nous sommes reconnaissants envers les contributeurs de la partie « Que nous manque-t-il ? », dont les suggestions nous aideront à améliorer les futures version de l'AI Index :

Francesca Rossi, Rodney Brooks, Toby Walsh

Nous sommes également reconnaissants envers ceux qui nous ont fourni des verbatims relatifs aux indicateurs et qui ont été intégrés à ce rapport :

Paul Ginsparg, le Comité de Direction du WiML, Michael Chui, Barry Haddow, Sam Bowman, AAAI, James A. Landay

Un remerciement tout particulier à Elsevier, qui nous a fourni des données et des visualisations qui suscitent la réflexion. Les personnes suivantes chez Elsevier nous ont apporté un soutien de taille :

Ann Gabriel, Clive Bastin, Sarah Huggett, Mark Siebert, Jorg Hellwig

Nous remercions McKinsey & Company et le McKinsey Global Institute, qui nous ont fourni les résultats de leurs sondages sur l'adoption de l'IA et nous ont aidé à analyser les mentions gouvernementales sur l'IA et le ML. Les personnes suivantes dans l'équipe McKinsey nous ont été d'une aide inestimable :

Heather Hanselman, Daniella Seiler, Jake Silberg

Merci aux personnes suivantes, qui ont fait le maximum pour nous fournir des données et / ou des explications sur les indicateurs :

Susan Woodward, Tully Foote, Sam Davis, Lars Kotthoff, Konstantin Savenkov, Anita Huang, Calvin LeGassick

Et merci à Ian Danforth (Direction Technique) et à Michael Chang (Design), qui ont été partie intégrante de la production du rapport 2018.

REMERCIEMENTS (suite)

Nous sommes également redevables aux organisations, universités et conférences suivantes, qui nous ont fourni des données essentielles à la réalisation du Rapport 2018 de l'AI Index :

Entreprises / organisations
arXiv, ROS.org, Sand Hill Econometrics, Monster.com, amplified, McKinsey & Company, le McKinsey Global Institute, Prattle, IFR.org, TrendKite, The Allen Institue for Artificial Intelligence, le Centre de recherche de la Commission européenne

Universités
University of California-Berkeley, Stanford University, University of Illinois at Urbana-Champaign, University of Washington-Seattle, Carnegie Mellon University

Tsinghua University, Institut National d'Astrophysique, d'Optique et d'Électronique, University of British Columbia, University of Toronto, University of Edinburgh, University of Science and Technology of China, Shanghai Jiao Tong University, Pontificia Universidad Catolica de Chile, TU Wien, Hebrew University, EPFL, MILA

Conférences et initiatives
AAAI, AAMAS, AI4ALL, ACL, CVPR, ICAPS, ICLR, ICML, ICRA, IJCAI, KR, NeurIPS, UAI WiML

ANNEXES

ANNEXE 1

Articles sur Scopus

Données

Source
Base de données Scopus d'Elsevier pour les articles académiques (70 millions de documents indexés). Plus d'informations sur Scopus ici.

Méthodologie
Il est important de noter la différence entre cette méthodologie et la méthodologie décrite dans l'annexe 2. Nous utilisons ici l'outil de requête Scopus pour obtenir le nombre d'articles contenant les mots-clefs *Intelligence artificielle* et *Sciences informatiques*. Ce travail a été réalisé par l'équipe de l'AI Index.

Scopus attribue des tags à ses articles avec des mots-clefs, la date de publication, le pays d'origine et d'autres indicateurs. Pour obtenir les articles traitant d'IA par année et par région, nous avons utilisé l'outil « opensearch:totalResults » pour lancer la requête suivante par année / pays :

Requête IA par pays
title-abs-key(artificial intelligence) AND PUBYEAR = {} AND AFFILCOUNTRY({})

Pour les articles par sujet publiés annuellement, nous avons utilisé les requêtes suivantes :

Requête IA
title-abs-key(artificial intelligence) AND PUBYEAR AFT {} AND PUBYEAR BEF {}
Requête CS (Computer Science)
SUBJAREA(COMP) AND PUBYEAR AFT {} AND PUBYEAR BEF {}
Requête sur l'ensemble de Scopus
PUBYEAR AFT {} AND PUBYEAR BEF {}

Chaque requête mentionnées ci-dessus a été réalisée par année, sur la période 1996-2017.

Précisions
- Le système Scopus est mise à jour rétroactivement. Par conséquent, le nombre d'articles pour une requête donnée peut augmenter au fil du temps.
- Les membres de l'équipe Elsevier nous ont indiqué que les articles publiés après 1995 seraient fiables (c'est pourquoi nous avons pris l'année 1996 comme date de départ pour nos requêtes sur Scopus).
- Tous les articles trouvés sur Scopus ont été intégrés, quelle que soit leur qualité ou leur pertinence par rapport à l'IA.

Précisions concernant les publications IA par région
- Les articles sont comptabilisés deux fois s'ils sont tagués dans plusieurs régions. Cela explique pourquoi les chiffres pour une année ne correspondent pas systématiquement aux chiffres de l'année précédente.
- « Autre » fait référence à tous les autres pays ayant publiés des articles IA sur Scopus.

Précisions concernant les publications par sujet
- Le rapport 2017 n'utilisait que les articles de la catégorie CS. Cette année, tous les articles tagués dans la catégorie IA ont été intégrés, qu'ils aient été ou non tagués dans la catégorie CS.

- Étant donné que les articles IA sur Scopus sont généralement répertoriés dans la catégorie CS, la hausse du nombre d'articles CS inclut largement la hausse du nombre d'articles IA.
- La catégorie « Tous articles » inclut tous les articles IA et CS.

ANNEXE 2

Méthodologie Elsevier pour les articles Scopus

Données

Source
Base de données Scopus d'Elsevier pour les articles académiques (70 millions de documents indexés). Les données ont été compilées par Elsevier. Plus d'informations sur Scopus ici. Plus d'informations sur Elsevier ici.

Plus d'informations sur la méthodologie (indexage des articles, affiliations, couverture géographique, titres) ici.

Méthodologie
Il est important de noter la différence entre cette méthodologie et la méthodologie décrite dans l'annexe 1. Nous utilisons ici la méthodologie Elsevier pour comptabiliser les articles, qui utilise une approche en profondeur avec environ 800 mots-clefs. Plus d'informations dans le récent rapport IA d'Elsevier.

Définir l'IA
Elsevier a établi une liste d'environ 800 mots-clefs relatifs à l'IA. Ces mots-clefs ont été utilisés pour identifier les 600 000 articles IA de Scopus qui ont servi de base au rapport IA d'Elsevier. Les mots-clefs ont été sélectionnés comme suit :

Premièrement, Elsevier a utilisé son Fingerprint Engine pour assimiler le contenu des livres IA, des programmes de cours, des brevets et des articles de journaux. Ces documents ont été analysés par le Fingerprint Engine pour en extraire les mots-clefs les plus pertinents, soit un total de 20 000 termes. Ces termes ont été réexaminés manuellement pour parvenir à une liste de 797 mots-clefs. Elsevier prévoit de publier cette liste dans les prochains mois. Un extrait de cette liste est d'ores et déjà disponible.

Toutefois, plusieurs articles contenant un ou plusieurs de ces 797 mots-clefs n'avaient pas réellement trait à l'IA. Cela est du à des résultats positifs erronés – par exemple, le terme *valeurs éthiques* est très largement répandu et peut se retrouver dans des articles sans rapport avec l'IA. De même, le terme *réseaux neuronaux* se retrouve souvent dans des domaines sans rapport avec l'IA, comme la biologie par exemple.

Pour palier au problème des résultats positifs erronés, Elsevier a procédé à une sélection manuelle sur 1 500 publications IA. Cette sélection a permis de supprimer les résultats positifs erronés et a ensuite été appliquée aux 600 000 articles publiés sur Scopus.

De manière générale, l'approche d'Elsevier a été conçue pour détecter tous les articles liés à l'IA de près ou de loin, en intégrant des contextes multiples et des mots-clefs, tout en bénéficiant de la précision d'un classement manuel.

Affiliations par pays
L'affiliation d'un auteur à un pays se base sur l'identification de l'organisation principale pour laquelle il travaille (laquelle est mentionnée dans les articles). Pour les organisations internationales, on prend en compte, par défaut, le pays où se trouve le siège, sauf si l'auteur a apporté des précisions. Par exemple, un auteur qui indique travailler pour « Google » sera affilié aux USA, tandis qu'un auteur qui indique « Google Zurich » sera affilié à l'Europe.

Les articles sont comptabilisés deux fois en cas de collaboration d'auteurs de régions multiples. Par exemple, un article rédigé par des auteurs de Harvard et d'Oxford sera compté une fois pour les USA et une fois pour l'Europe.

« EU44 » fait référence à l'Europe.

Ces règles s'appliquent aux affiliations par secteur.

Sous-catégories IA
Vous trouverez ci-après un résumé de la méthode utilisée par Elsevier pour définir les sous-catégories des articles IA sur Scopus. Plus d'informations dans le récent rapport IA d'Elsevier.

Pour définir des sous-catégories relativement larges, Elsevier a utilisé une méthode de regroupement non-supervisée appelée Méthode Louvain. Cette méthode regroupe les mots-clefs en démontrant le lien entre eux, en se basant sur la cooccurrence trouvée dans les documents. La cooccurrence signifie que ces regroupements ne sont pas distincts mais qu'ils sont fortement liés, par exemple les réseaux neuronaux dans un article sur la vision par ordinateur. Il résulte de cette méthode que l'IA s'articule autour des sujets suivants :

Raisonnement probabiliste, Réseaux neuronaux, Vision par ordinateur, Recherche et optimisation, Traitement du langage naturel (NLP) et représentation des connaissances, Logique floue, Planification et prise de décision.

L'AI Resource Center d'Elsevier a publié un graphique interactif de ces regroupements, ce qui permet de consulter les connections individuelles et les regroupements, par région et au fil du temps.

Focus sur l'activité relative
Des domaines ont été assignés aux articles par des indexeurs professionnels, qui ont catégorisé chaque article subjectivement, en fonction du contexte et du contenu. Les domaines ne sont pas mutuellement exclusifs.

Précisions

- Le process de collecte des données a été intégralement réalisé en interne par Elsevier – l'AI Index n'a pas participé à la sélection des mots-clefs ou au choix des articles pertinents.
- Ces chiffres représentent environ le double de ceux utilisés dans le rapport 2017 de l'AI Index car nous avions exploité les articles de Scopus avec une méthodologie différente. Ils représentent environ la moitié de ceux utilisés dans le China AI Development Report, qui utilise des données de Web of Science.
- Les frontières de l'IA sont difficiles à établir, notamment à cause de l'évolution rapide des applications dans de nombreux domaines (reconnaissance vocale, vision par ordinateur, robotique, cyber-sécurité, bioinformatique, santé). Cette difficulté à établir des frontières résulte également de la dépendance méthodologique de l'IA dans de nombreux autres domaines (logique, probabilité et statistiques, optimisation, photogrammétrie, neurosciences et théories des jeux – pour n'en citer que quelques-uns). Compte tenu de l'intérêt de la communauté pour la bibliométrie IA, nous pensons qu'il serait utile que les groupes qui produisent ces études étaient plus transparents sur les méthodes utilisées et autorisaient des tiers à reproduire leurs résultats, en particulier pour les bases de données bibliographiques.

ANNEXE 3

Articles sur arXiv

Données

Source
arXiv.org est une base de données d'archives en ligne d'articles de recherche publiés dans les domaines de la physique, des mathématiques, de l'informatique, de la biologie quantitative, de la finance quantitative, des statistiques, de l'ingénierie électrique, des systèmes scientifiques et de l'économie. arXiv.org appartient et est exploité par l'université de Cornell. Plus d'informations sur arXiv ici.

Méthodologie
Les données brutes pour nos analyses nous ont été fournies par des responsables d'arXiv.org. Voici les mots-clefs (et leur catégorie associée) que nous avons sélectionnés :

Intelligence artificielle (cs.AI)
Calcul et langage (cs.CL)
Vision par ordinateur et reconnaissance des formes (cs.CV)
Machine learning (cs.LG)
Calcul neuronal et évolutif (cs.NE)
Robotique (cs.RO)
Machine learning dans le domaine des statistiques (stats.ML)

Pour la plupart des catégories, arXiv nous a fourni des données allant de 1999 à 2017. Pour nos analyses, nous avons utilisés les données à partir de 2010 afin d'y inclure la catégorie *Machine learning dans le domaine des statistiques* (qui n'existait pas en 1999 sur arXiv).

Pour consulter les taux de soumission d'articles dans d'autres catégories, consultez les statistiques de contribution d'arXiv.org.

Précisions

- Les catégories ont été attribuées par les auteurs eux-mêmes. Il faut donc noter qu'il n'y a pas de ligne directrice dans le process de catégorisation. De plus, les catégories *Intelligence artificielle* et *Machine learning* peuvent avoir été catégorisées sous un autre sous-domaine / mot-clef.
- Les personnes qui travaillent pour arXiv nous ont indiqué que la participation sur arXiv peut entraîner une participation plus importante – ce qui signifie qu'une hausse constatée dans une sous-catégorie sur arXiv peut entraîner une sur-participation de la part de certaines communautés.
- La hausse du nombre d'articles sur arXiv ne reflète par la hausse réelle du nombre d'articles pour un sujet donné. Certaines hausses peuvent être dues à une volonté d'arXiv.org d'augmenter le nombre d'articles archivés ou à la sur-participation de communautés IA.

ANNEXE 4

Articles AAAI par pays

Données

Source
L'Association for the Advancement of Artificial Intelligence (AAAI) organise des conférences tous les ans, dont la « Conférence AAAI » annuelle. Les données brutes sur les articles soumis / validés par l'AAAI par pays nous ont été fournis par des responsables de l'AAAI. Plus d'informations sur les conférences AAAI ici.

Méthodologie
Les données brutes sur les articles soumis / validés par l'AAAI nous ont été fournis par l'équipe AAAI. La conférence AAAI est la seule pour laquelle nous avons réussi à obtenir ce niveau de détails. L'AI Index espère pouvoir inclure des données équivalentes pour d'autres conférences dans ces prochains rapports.

Précisions

- Les pays comptabilisés dans cette analyse sont ceux qui ont soumis 10 articles ou plus à la conférence AAAI.
- Ces données sont celles de la conférence 2018, qui a eu lieu en février 2018 à La Nouvelle-Orléans (Louisiane). Le panorama des articles soumis / validés sera peut-être différent pour d'autres années.
- La validation est largement limitée par les contraintes logistiques, comme en témoigne ce verbatim au sujet des contraintes logistiques pour la conférence AAAI 2019 – du 27/01/2019 au 01/02/2019 à Honolulu (Hawaï) :

  « Nous avons reçu un total record de 7 700 soumissions cette année. Parmi les articles soumis, 7 095 ont été examinés et, en raison des contraintes logistiques, nous n'avons pu en accepter que 1 150, ce qui porte le taux de validation à 16,2%. » – AAAI

ANNEXE 5

Inscriptions aux cours d'IA et de ML aux USA

Données

Source
Les données sur les inscriptions aux cours ont été collectées auprès de chaque université. Les chiffres de la population estudiantine totale proviennent des archives universitaires (généralement disponibles sur les sites Internet des Bureaux d'inscription). Les universités suivantes sont incluses dans notre analyse :

University of California-Berkeley, Stanford University, University of Illinois at Urbana-Champaign, University of Washington-Seattle, Carnegie Mellon University

Méthodologie
Nous avons demandé les listes d'inscriptions à des cours d'introduction à l'IA et au ML au fil des ans à de nombreuses universités d'informatique majeures aux USA. Plusieurs ont accepté de participer. Les données relatives aux inscriptions n'ont pas été intégrées dans notre analyse si nous n'avons pas pu obtenir suffisamment de chiffres ou si les chiffres étaient trop nuancés.

Certaines universités ont fourni des listes d'inscriptions par semestre, d'autres par année. Pour pouvoir comparer les universités entre elles, nous n'avons additionné les données par semestre pour obtenir des chiffres par années universitaires entières. Par ailleurs, certaines universités ont plusieurs cours considérés comme des « introductions », tandis que d'autres n'en ont qu'un. Chaque fois que c'était approprié et pertinent, les cours multiples ont été combinés pour faire ressortir une tendance générale.

Pour établir un pourcentage des étudiants inscrits à un cours d'introduction à l'IA / au ML par rapport au nombre total d'étudiants de premier cycle, chaque chiffre d'inscriptions à un cours d'introduction (par année) a été divisé par la population estudiantine totale pour la même année. Ce calcul a pour but de montrer une tendance par rapport aux autres cours proposés dans les universités concernées.

Précisions

- Presque toutes les universités nous ont indiqué que le taux d'inscription, et plus particulièrement ces dernières années, est en fonction de l'offre proposée par l'université plutôt que des demandes des étudiants. Nos chiffres montrent le nombre d'étudiants qui ont pu s'inscrire à un cours d'introduction et ne prend pas en compte les listes d'attente ou d'autres données.
- Les cours d'introduction sont généralement proposés uniquement aux étudiants de premier cycle. Ils peuvent donc être suivis par tous les étudiants entrant dans cette catégorie, que ce soit leur matière principale (major) ou non. Certains cours ont changé de nom au fil des ans, vous trouverez ci-après la liste des noms tels qu'ils ont été attribués en 2017. Nous y avons ajouté des précisions lorsque les administrateurs étaient dans la capacité de nous en fournir.
- Toute précision non-mentionnée par les administrateurs n'est pas reportée ci-après.

Cours IA
Berkeley CS 188
Stanford CS 221
UIUC CS 440

- Selon les responsables d'UIUC, des classes plus grandes / sections additionnelles ont été mises en place pour répondre à la demande des étudiants.

UW CSE 415 / 416 (non-major) & CSE 473 (major)

- Le cours CS 416 est disponible depuis l'année universitaire 2017-2018, afin de répondre à la hausse des inscriptions aux cours IA en 2017.

Cours ML

Berkeley CS 189

- Les responsables de Berkeley pensent que la hausse des inscriptions est due à un intérêt croissant pour la nouveauté et à un nombre plus important de majors où l'introduction au ML est obligatoire.

Stanford CS 229
UIUC CS 446
UW CSE 446
CMU 10-701

ANNEXE 6

Inscriptions aux cours dans le monde

Données

Source
Les données sur les inscriptions aux cours ont été collectées auprès de chaque université. Les universités suivantes sont incluses dans notre analyse :

Tsinghua University (Chine), Institut National d'Astrophysique, d'Optique et d'Électronique (Mexique), University of British Columbia (Canada), University of Toronto (Canada), University of Edinburgh (Écosse), University of Science and Technology of China (Chine), Shanghai Jiao Tong University (Chine), Pontificia Universidad Catolica de Chile (Chili), TU Wien (Autriche), Hebrew University (Israël), EPFL (Suisse), MILA (Québec, Canada)

Méthodologie – voir la méthodologie de l'annexe 5.

Précisions

- Presque toutes les universités nous ont indiqué que le taux d'inscription, et plus particulièrement ces dernières années, est en fonction de l'offre proposée par l'université plutôt que des demandes des étudiants. Nos chiffres montrent le nombre d'étudiants qui ont pu s'inscrire à un cours d'introduction et ne prend pas en compte les listes d'attente ou d'autres données.
- Contrairement aux universités américaines étudiées, les données relatives aux universités internationales varient de manière significative selon que les cours sont ouverts aux étudiants dont c'est la matière principale (major) ou non.
- Le premier visuel montre l'évolution des inscriptions aux cours d'introduction de IA et de ML combinés. Nous avons procédé ainsi afin d'avoir des données comparables pour chaque graphique. Dans certains cas, nous avons eu accès à des données additionnelles sur certaines universités mais nous ne les avons pas présentées pour garder des raisons d'homogénéité. Ces données additionnelles peuvent être consultées en utilisant le lien « Données » au début de cette page.
- Certains cours ont changé de nom au fil des ans, vous trouverez ci-après la liste des noms tels qu'ils ont été attribués en 2017. Nous y avons ajouté des précisions lorsque les administrateurs étaient dans la capacité de nous en fournir. Toute précision non-mentionnée par les administrateurs n'est pas reportée ci-après.

INAOE – Cours : C141 (IA) et C142 (apprentissage du calcul)
Note : les inscriptions aux cours d'IA / ML dépendent largement du nombre d'étudiants acceptés au sein d'un programme de cycle supérieur à l'INAOE. Les responsables de l'IANOE nous indiquent que le nombre d'étudiants à l'INAOE est en baisse, ce qui a nécessairement un effet sur les inscriptions aux cours d'IA / ML.
USTC – Cours : USTC nous a fourni une liste de plusieurs cours d'introduction à l'IA / au ML proposés par plusieurs départements, dont le Département des Sciences et Technologies Informatiques, le Département d'Automatisation, le Département des Sciences et Technologies de l'information et le Département Data Science.
University of Edinburgh – Cours : Introduction au ML appliqué (étudiants de premier cycle et étudiants des cycles supérieurs) et Informatique 2D – Raisonnements et Agents (étudiants de premier cycle uniquement)
SJTU – Cours : CS410 (introduction à l'IA pour les étudiants de premier cycle)
PUC – Cours : Intro à l'IA
Avant 2017, ce cours n'était enseigné qu'une fois par semestre. La forte demande en 2017, comparativement à celle de 2018, est due au fait qu'il y a désormais deux cours par semestre.

Tsinghua – Cours : AI (60240052 & 40250182) et ML (00240332 & 70240403 & 80245013 & 80250943)
Ouverts aux étudiants de premier cycle et aux étudiants des cycles supérieurs
Toronto – Cours : AI (CSC384) et ML (étudiants des cycles supérieurs)
En 2016, un cours d'été d'introduction à l'IA a été créé. La décision de proposer deux semestres pour le ML a été prise en 2015 pour répondre à la forte demande.
UBC – Cours : IA et ML (CPSC 322, CPSC 340, CPSC 422)
TU Wien – Cours : Introduction à l'IA (étudiants de premier cycle) et au ML (étudiants des cycles supérieurs).
Aucun de ces cours n'est obligatoire pour les étudiants qui se spécialisent en sciences informatiques.
Hebrew University – Cours : Introduction à l'IA (67842) et Introduction au ML (67577)
EPFL – Cours : Intelligence artificielle (étudiants de premier cycle) et Agents intelligents (étudiants des cycles supérieurs)
Les responsables de l'EPFL nous indiquent que les chiffres varient beaucoup d'une année sur l'autre, en fonction des emplois du temps et des ressources.
MILA – Machine learning (étudiants des cycles supérieurs, hors perfectionnement)
MILA est un programme proposé uniquement aux étudiants des cycles supérieurs. Les responsables de MILA notent que ce cours de Machine learning n'est pas suivi par les étudiants qui se spécialisent en recherche sur le ML mais plutôt par des étudiants qui se spécialisent dans d'autres domaines mais souhaitent en savoir plus sur le ML. Les étudiants qui se spécialisent en recherche sur le ML suivent des cours plus avancés. Ce cours n'était pas proposé en 2014.

ANNEXE 7

Diversité du corps enseignant

Données

Source
Les données sur la diversité du corps enseignant ont été collectées manuellement via les sites Internet des Départements IA, en date du 21 septembre 2018. Les universités sélectionnées sont celles leaders en enseignement de l'informatique et dont les listes du personnel étaient facilement accessibles.

Méthodologie
Pour étudier la diversité du corps enseignant dans les Départements IA, les noms des professeurs ont été collectés sur les sites Internet des universités. Un genre leur a été attribué en fonction de leur nom et de leur photo (voir la première précision ci-après). Voir ci-dessous pour plus de détails pour chaque université :

UC Berkeley
Inclus : *Professeurs assistants, Corps enseignant primaire, Corps enseignant secondaire*
Stanford University
Inclus : *Corps enseignant et Chercheurs* et *Corps enseignant affilié*
University of Illinois at Urbana-Champaign
Inclus : *Corps enseignant CS* et *Corps enseignant affilié*
Carnegie Mellon University
Inclus : toute la liste du personnel
University College London
Inclus : toute la liste du personnel
University of Oxford
Inclus : liste *Corps enseignant* uniquement
ETH Zurich
Inclus : personnel ayant le titre « Docteur » uniquement

Précisions

- Nous avons attribué un genre en fonction du nom du professeur et de sa photo. En procédant de cette manière, il est possible que l'AI Index ait attribué le mauvais genre à quelques personnes. Nous regrettons de n'avoir pas pu intégrer des catégories de genre non-binaires. Nous espérons que cette mesure sera néanmoins utile pour donner une vue d'ensemble de la parité hommes-femmes dans l'enseignement de l'IA aujourd'hui et nous réjouissons à l'idée de pouvoir intégrer d'autres types de diversité des genres dans nos prochains rapports.
- Les données des universités ont été consultées en date du 21 septembre 2018. Ces données peuvent avoir changé depuis la publication du rapport 2018 de l'AI Index.
- Nous avons utilisé les listes du personnel des universités pour collecter ces données. Elles ne prennent pas en compte les professeurs invités et les professeurs rattachés à d'autres départements. Un professeur listé comme membre actif du département IA sera comptabilisé, même s'il dépend d'un autre département.
- La parité hommes-femmes dans le milieu universitaire n'est pas nécessairement représentative de la parité hommes-femmes dans l'industrie (de fait, la proportion de femmes travaillant dans l'industrie dans le secteur de l'IA peut être inférieur).
- Cet indicateur est un instantané de la situation actuelle, il ne rend pas compte des améliorations au fil du temps, comme en témoigne le verbatim du Dr James A. Landay, membre du corps enseignant IA de Stanford :

  « Nous faisons très attention au respect de la parité dans nos recrutements. La

plupart des femmes présentes sur cette liste ont été embauchées au cours des deux ou trois dernières années, nous avons donc progressé. – Dr Landay, Stanford University

ANNEXE 8

Participation

Données

Source

Les données sur le taux de participation aux conférences ont été collectées directement auprès des organisateurs. Nous avons collecté des données auprès des conférences suivantes :

AAAI – Association for the Advancement of Artificial Intelligence
AAMAS – International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems
AI4ALL
ACK – Association for Computational Linguistics
CVPR – Conference on Computer Vision and Pattern Recognition
ICAPS – International Conference on Automated Planning and Scheduling
ICLR – International Conference on Learning Representations
ICML – International Conference on Machine Learning
ICRA – International Conference on Robotics and Automation
IJCAI – International Joint Conferences on Artificial Intelligence
KR – International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning
NeurIPS – Conference on Neural Information Processing Systems
UAI – Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence
WiML – Women in Machine Learning workshop

Méthodologie

Nous avons appelé « grandes conférences » celles qui ont attiré 2 000 participants ou plus en 2018 et « petites conférences » celles qui ont attiré moins de 2 000 participants en 2018. Les conférences sélectionnées sont celles qui ont conduit à des recherches sur l'IA et qui ont on pu nous fournir des chiffres de participation pour chaque année.

AI4ALL et WiML ont été sélectionnées pour leurs progrès en terme d'intégration des minorités dans la communauté IA et pour la disponibilité de leurs données. Nous espérons pouvoir ajouter dans de futurs rapports d'autres organisations / conférences qui aident la promotion des groupes sous-représentés.

Précisions

Précisions concernant les conférences

- Certains organisateurs de conférences n'ont pu nous fournir que des estimations du nombre de participants – nous avons considéré ces estimations comme exactes.
- Certaines conférences n'ont pas lieu tous les ans, d'autres n'ont pas eu lieu certaines années.
- Plusieurs organisateurs de conférences nous ont indiqué qu'étant donné que les salles où ont lieu les conférences sont réservées un an à l'avance, le nombre de places disponibles est souvent limité. Ainsi, le nombre de participants à une conférence ne reflète pas nécessairement la demande.

Précisions concernant AI4ALL / WiML

- Il est important de noter qu'il existe d'autres programmes, officiels et non-officiels, pour promouvoir la diversité dans l'IA.
- La hausse de participation n'implique pas nécessairement des améliorations dans la représentativité des femmes et des groupes sous-représentés dans l'IA.

ANNEXE 9

Téléchargements de logiciels robotiques

Données

Source
Les données sur le nombre de pages vues et de téléchargements de logiciels robotiques sur ROS.org provient des rapports statistiques de ROS.org. Voir le PDF de l'année dernière.
Plus d'informations sur ROS.org ici.

Précisions

- Le nombre de pages vues sur ROS.org n'est pas représentatif du nombre total de pages vues, mais du nombre de pages vues dans les principaux pays. Les régions avec un volume inférieur à 90+ ne sont pas incluses.
- Les données 2018 sont disponibles sur ROS.org mais n'ont pas été intégrées à l'AI Index car la méthodologie est légèrement différente. Plus d'informations sur ce sujet dans ce thread.
- La moyenne mensuelle a été calculée sur le mois de juillet de chaque année (sauf en 2012 et 2013, où nous nous sommes basés respectivement sur le mois de juin et le mois d'août).
- Les responsables de ROS.org ont noté que les téléchargements de logiciels robotiques dans les pays non-anglophones pourraient être sous-estimés car les chiffres ne prennent en compte que les sites Internet en anglais.
- Les responsables de ROS.org estiment que le déclin constaté en 2015 s'explique probablement par des problèmes d'échantillonnage et moins de mises à jour, ce qui se reflète dans les statistiques de téléchargements. Plus d'informations sur ce sujet ici.

ANNEXE 10

Startups / Investissements

Pas de données disponibles

Source

Sand Hill Econometrics, en utilisant la base de données Dow Jones VentureSource, nous a fourni les données sur les startups et le financement en capital-risque. L'API (interface de programmation applicative) Crunchbase a été utilisée pour corroborer la liste des startups spécialisées en IA de la base de données Sand Hill. Cliquez sur les liens pour plus d'informations sur Sand Hill, VentureSource et Crunchbase.

Méthodologie

Nous avons utilisé les mots-clefs suivants pour obtenir une liste de startups spécialisées en IA sur Crunchbase :

Catégorie	**UUID (Universally Unique Identifiers) Crunchbase**
Intelligence artificielle	c4d8caf35fe7359bf9f22d708378e4ee
Machine learning	5ea0cdb7c9a647fc50f8c9b0fac04863
Analyses prédictives	ca8390d722c65bb5f87022f52f364b1b
Systèmes intelligents	186d333a99df4a4a6a0f69bd2c0d0bba
Traitement du langage naturel	789bbbefc46e1532a68df17da87090ea
Vision par ordinateur	a69e7c2b5a12d999e85ea0da5f05b3d3
Reconnaissance faciale	0b8c790f03bcb2aba02e4be855952d6d
Reconnaissance d'images	af9307c9641372aeaac74391df240dd2
Recherche sémantique	bb1777e525f3b9f2922b0d5defe0d5bb
Web sémantique	ac34c4c6e430f66f44aeef8ca45b52bb
Reconnaissance vocale	24dad27e6a49ccc1ec31854b73d60d16
Analyses test	e7acbc9932c74c8809ed8fae63eb2559
Assistant virtuel	2eb0b56b6896e0f0545fc747a9ba6751
Recherche visuelle	ad8f33a8c5d0b7d786f389aa2954c119

La recherche sur Crunchbase a permis d'identifier 4 477 entreprises. Cette liste a ensuite été croisée avec la liste de toutes les entreprises soutenues par des fonds d'investissement en capital-risque obtenue à partir de la base de données VentureSource – sur les 4 477 entreprises identifiées par Crunchbase, 1 096 étaient dans la liste de VentureSource. Sand Hill a ensuite agrégé la liste de 1 096 entreprises pour calculer le montant des investissements au fil du temps.

Les données « Toutes startups confondues » ont été obtenues en utilisant uniquement la base de données VentureSource – nous n'avons pas eu recours à l'API Crunchbase.

Précisions

- La base de données VentureSource est une marque déposée, aussi nous regrettons de ne pouvoir la rendre accessible au public.
- Toutes les recherches sur VentureSource ont été pilotées par Sand Hill Econometrics.
- Les entreprises sont retirées de la base de données VentureSource dès lors qu'elles deviennent publiques, sont achetées ou sont fermées. Les fonds investis dans les entreprises avant qu'elles soient retirées restent disponibles dans la base de données.
- Crunchbase et VentureSource ont des difficultés à faire la nuance entre les entreprises IA qui développent des systèmes IA et celles qui ne font qu'en utiliser. En

interne, nous parlons de « fabricants » et d' « utilisateurs ». Nous avons testé un échantillon de 109 entreprises de la liste en comprenant 1 096 (soit 10%) et découvert que 68 d'entre elles (ou 62%) étaient des « fabricants ». Les 41 entreprises restantes (soir 38%), bien qu'elles soient considérées comme des entreprises IA, n'ont pas développé elles-mêmes des systèmes IA.

- Notre liste de catégories utilisées sur Crunchbase favorise actuellement les technologies de machine learning.
- Le nombre des startups IA actives est celui communiqué pour le mois de janvier de chaque année.

ANNEXE 11

Emploi

Données

Source

Le visuel sur les postes à pourvoir en fonctions des qualifications IA demandées et la visuel sur la diversité des candidatures reçues pour des postes en IA ont été fournis par le site de recherche d'emploi Monster.com. Monster.com utilise Garner TalentNeuron, un portail en ligne intelligent de recherche de talents, pour obtenir ces résultats. Plus d'informations sur Garner TalentNeuron ici et sur Monster.com ici.

Méthodologie

Monster.com

Monster.com a utilisé la base de données Garner TalentNeuron pour rechercher les termes ci-après. Pour être comptabilisée, une offre d'emploi devait contenir l'un de ces termes dans la liste des compétences requises. Chaque terme devait également être couplé avec le terme *Intelligence artificielle*. Par exemple, *Robotique* n'était comptabilisé que si le descriptif du poste incluait les termes *Robotique* **et** *Intelligence artificielle*. Les offres d'emploi publiées sur Monster.com proviennent uniquement des USA. Voici la liste des termes :

Intelligence artificielle +
Traitement du langage naturel, Techniques de machine learning, Deep learning, Vision par ordinateur, Reconnaissance vocale, Robotique

Précisions

- Les offres d'emploi sont comptabilisées deux fois si elles contiennent plus d'une compétence IA pertinente. Certaines compétences peuvent induire d'autres compétences non-précisées dans la description du poste.

Précisions concernant la parité des candidatures

- Les candidatures n'induisent pas nécessairement des recrutements et ne constituent pas une représentation globale de l'industrie.
- Nous regrettons de n'avoir pas pu intégrer des catégories de genre non-binaires. Nous espérons que cette mesure sera néanmoins utile pour donner une vue d'ensemble de la parité hommes-femmes dans les candidatures IA aujourd'hui et nous réjouissons à l'idée de pouvoir intégrer d'autres types de diversité des genres dans nos prochains rapports.

ANNEXE 12

Brevets

Données

Source
Les données sur les brevets ont été fournies par amplified, un service de recherche de brevets.

Méthodologie
La méthodologie et les données utilisées sont détaillées par amplified ici.

Précisions

- Nos visuels ne montrent pas les années 2015-2017 car nous ne disposons pas de données complètes, en raison du long délai entre la demande de dépôt de brevet et sa publication.

S'il y a eu plusieurs tentatives de suivre les brevets IA au fil des ans et à travers le monde, il n'y a pour autant pas de méthodologie standard. Par conséquent, nos données sur les brevets peuvent sembler différentes de celles d'autres organismes.

Voici un exemple notable : le *China IA Development Report* de Tsinghua University, publié à l'été 2018, qui présente la Chine comme ayant le plus grand nombre de brevets publiés, suivie par les USA et le Japon. Les codes et définitions de brevet utilisés pour parvenir à ce résultat ne sont pas clairs et le nombre de brevets par région est difficilement identifiable sur le diagramme présenté.

Le domaine de l'intelligence artificielle étant si difficile à définir, l'AI Index est totalement transparent s'agissant des codes de brevet et des mots-clefs utilisés dans cette analyse. Noue encourageons nos lecteurs à remettre en cause notre méthodologie pour qu'elle finisse par être parfaitement représentative.

ANNEXE 13

Sondage sur l'adoption de l'IA

Données

Source
Cette enquête a été rédigée, complétée et analysée par McKinsey & Company (McKinsey). Vous trouverez des résultats additionnels de cette enquête ici.

Méthodologie
McKinsey a déclaré à propos de sa méthodologie :
L'étude a été menée en ligne, du 6 février 2018 au 16 février 2018. Nous avons récolté les réponses de 2 135 participants (sur les 20 466 personnes invitées à participer) représentant l'ensemble des régions, industries, tailles d'entreprise, spécialités fonctionnelles et fonctions du McKinsey's Online Executive Panel. Parmi eux, 1 657 ont déclaré que leur entreprise utilise au moins un des potentiels de l'intelligence artificielle (sur les neuf proposés dans les questions) dans une ou plusieurs de leurs activités / business units. Tous les répondants sont des membres du panel en ligne, un groupe de 30 000 membres inscrits sur McKinsey.com ayant accepté de participer aux recherches menées par McKinsey et représentant un échantillon mondial de cadres, managers et employés à tous niveaux de fonction. 108 pays sont représentés dans le panel de cette étude. Pour palier aux différents temps de réponse par pays, la valeur de chaque contribution a été rééquilibré en fonction du PIB du pays d'origine du répondant.

McKinsey a fourni à l'AI Index le pourcentage de répondants ayant sélectionné l'une ou l'autre des réponses pour chacune des questions suivantes :

Q1. Comment décririez-vous l'usage fait par votre entreprise des fonctions liées à l'IA ci-après (Automatisation robotique des process, Machine learning, Interfaces conversationnelles, Vision par ordinateur, Compréhension de textes en langage naturel, Compréhension de la parole en langage naturel, Production de langage naturel, Robotique physique, Véhicules autonomes) ? *Sélectionnez une réponse :*

1. Pas utilisée(s) du tout.
2. Pilotée(s) dans au moins une activité / business unit.
3. Intégrée(s) dans les process standard dans au moins une activité / business unit.
4. Intégrée(s) dans les process standard de plusieurs activités / business units.
5. Ne sait pas.

Q2. Pour lesquelles des activités suivantes votre entreprise a-t-elle déployé des fonctions IA ? *Sélectionnez toutes les réponses qui s'appliquent :*

1. Marketing / Commercial.
2. Finance stratégique et corporate (par exemple les décisions relatives à l'allocation du capital).
3. Risques (par exemple la gestion des risques, la fraude, l'endettement).
4. Ressources humaines.
5. Développement des produits et / ou de services.
6. Management de la supply-chain.
7. Fabrication.
8. Opérations de service (par exemple services sur site, relation client, back office).
9. Aucune de ces activités.
10. Ne sait pas.

Pour la Q1, nous avons demandé à McKinsey de regrouper les réponses par emplacement géographique. L'AI Index a ensuite additionné les réponses 3 et 4 pour obtenir le

pourcentage de répondants dont l'entreprise a intégré le potentiel de l'IA *dans au moins une* des activités ou business units. Pour la Q2, McKinsey nous a fourni des regroupements par emplacement géographique et par secteur d'activité. Contrairement à la Q1, la Q2 n'était posée qu'à des répondants dont l'entreprise a piloté ou intégré une fonction de l'IA, quelle qu'elle soit. Le nombre de répondants est indiqué dans les notes sous la chaque visuel.

Précisions

- Les répondants à l'enquête sont limités par leur perception de l'adoption de l'IA par leur entreprise.

ANNEXE 14

Initiatives industrielles : impact sur les revenus des entreprises

Données

Source
Toutes les données d'impact sur les revenus des entreprises ont été fournies par Prattle, une entreprise de recherche en investissement spécialisée dans l'analyse des textes et l'analyse des sentiments. Prattle utilise les relevés officiels de FactSet.

Méthodologie
Prattle nous a fourni des chiffres d'impact sur les revenus des entreprises avec les mots-clefs *Intelligence artificielle* et *Machine learning*. Idem pour les mots-clefs *Cloud* et *Big data*, à des fins de contexte et de référence. Les résultats ont été présentés par entreprise (avec le secteur d'activité et la taille de l'entreprise).

Pour analyser les relevés, Prattle a utilisé des variantes d'expressions communes (appelées « regex ») pour identifier les informations sur l'IA. On trouve dans les relevés les termes *Intelligence artificielle* et *Machine learning*, mais également leurs abréviations *IA* et *ML*. Prattle a donc retiré les résultats positifs erronés (par exemple, comme *ML* est aussi l'abréviation pour *millilitre*, Prattle n'a pas pris en compte les résultats avec des chiffres devant le terme *ML*).

La classification par secteur a été réalisée avec GICS, les regroupements standard utilisés par S&P. La catégorisation par taille (qui n'a pas été utilisée dans ce rapport mais qui est disponible dans les données) est basée sur le système de classifications du marché boursier, qui sont calculées à partir des données sur les actions et les prix de vente. Les plafonds fournis par Prattle sont les suivants :

```
mkt_cap <= '500000000' THEN 'micro'::text
mkt_cap <= '4000000000' THEN 'small'::text
mkt_cap <= '20000000000' THEN 'mid'::text
mkt_cap IS NOT NULL THEN 'large'::text
else Null
```

Toutes les analyses des données ont été effectuées par l'AI Index.

Précisions
- Nous observons que les mentions Big data et Cloud connaissant une croissance rapide puis se stabilisent. On peut interpréter cela comme la normalisation de ces technologies.
- L'impact sur les revenus n'a pas forcément de lien sur les investissements de l'entreprise ou son adoption du potentiel IA.
- Seules les entreprises publiques ont été intégrées à cette analyse.

ANNEXE 15

Installations de robots

Données

Source
Les données ont été directement extraites des rapports World Robotics 2014, 2015 et 2016 de l'International Federation of Robotics (IFR). Les liens pour accéder à ces rapports sont indiqués ci-après. Plus d'information sur l'IFR ici.

Données 2012
Source : Rapport World Robotics 2014 (tableau 1)
Données 2013-2014
Source : Rapport World Robotics 2015 (tableau 1)
Données 2015-2016
Source : Rapport World Robotics 2017 (tableau 4.1)

Méthodologie
Les données présentées correspondent au nombre de robots industriels installés dans chaque pays. Les robots industriels sont définis par la norme ISO 8373:2012.

Plus d'informations sur la méthodologie IFR ici.

Précisions

- Nous ne savons pas identifier clairement le pourcentage de robots utilisant des logiciels qui pourraient être qualifiés d'IA, de même que nous ne savons pas clairement dans quelle mesure le développement de l'IA a contribué à la hausse d'utilisation des robots industriels.
- Dans le rapport 2017 de l'AI Index, cet indicateur s'appelait *importations de robots*.

ANNEXE 16

Distinctions GitHub

Données

Source
Nous avons utilisé les archives GitHub stockées sur Google BigQuery.

Méthodologie
Le visuel présenté montre le nombre d'étoiles pour chaque soumission GitHub au fil du temps. Les soumissions incluent :

apache/incubator-mxnet, BVLC/cafe, cafe2/cafe2, dmlc/mxnet, fchollet/keras, Microsoft/CNTK, pytorch/pytorch, scikit-learn/scikit-learn, tensorflow/tensorflow, Theano/Theano, Torch/Torch7

Les archives GitHub sont stockées sur Google BigQuery. Nous nous sommes connectés à Google BigQuery pour comptabiliser le nombre de « WatchEvents » pour chaque soumissions intéressantes dans le cadre de notre analyse. Voici un exemple de code pour collecter les données de l'année 2016 :

```
SELECT
        project,
        YEAR(star_date) as yearly,
        MONTH(star_date) as monthly,
        SUM(daily_stars) as monthly_stars
FROM (
SELECT
        repo.name as project,
        DATE(created_at) as star_date,
        COUNT(*) as daily_stars
FROM
        TABLE_DATE_RANGE(
                [githubarchive:day.],
                TIMESTAMP("20160101"),
                TIMESTAMP("20161231"))
WHERE
        repo.name IN (
                "tensorflow/tensorflow",
                "fchollet/keras",
                "apache/incubator-mxnet",
                "scikit-learn/scikit-learn",
                "cafe2/cafe2",
                "pytorch/pytorch",
                "Microsoft/CNTK",
                "Theano/Theano",
                "dmlc/mxnet",
                "BVLC/cafe")
        AND type = 'WatchEvent'
GROUP BY project, star_date
)
GROUP BY project, yearly, monthly
ORDER BY project, yearly, monthly
```

Précisions
Actuellement, les archives GitHub n'offrent la possibilité de comptabiliser les soumissions dont la distinction a été retirée par un utilisateur, c'est pourquoi les données reportées surestiment légèrement le nombre de distinctions. Si l'on compare nos chiffres avec les chiffres réels de GitHub, on constate qu'ils sont assez proches et les tendances restent inchangées.

Il y a d'autres façons de récupérer les données sur les distinctions accordées par GitHub, dont l'outil Star-History que nous avons utilisé pour des vérifications ponctuelles de nos résultats.

Les autres distinctions du projet GitHub (les « Fourchettes ») sont tout aussi intéressantes mais nous avons découvert que les conclusions qu'on pouvait en tirer sont quasiment identiques à celles des « Étoiles ».

ANNEXE 17

Intérêt public

Données

Source
Toutes les données ont été récoltées sur TrendKite. TrendKite répertorie les articles de médias répandus et les analyses pour les catégoriser selon que leur contenu est « positif », « négatif » ou « neutre ». Plus d'informations sur TrendKite ici.

Méthodologie
Nous avons utilisé la requête ci-après pour identifier les articles IA. Nous avons fait des ajustements pour retirer les sources qui introduisaient une quantité disproportionnée d'articles hors sujet à tendance « négative ». L'année dernière, la proportion d'articles neutres était implicite mais non-incluse dans le visuel. Cette année, les articles neutres ont été intégrés dans le visuel.

Requête
”Artificial Intelligence”
AND NOT “MarketIntelligenceCenter.com's"

NOT site_urls_ll:(
“individual.com"
OR "MarketIntelligenceCenter.com")

Filtres
- Inclus : articles en anglais uniquement
- Exclus : communiqués de presse
- Exclus : informations financières
- Exclus : rubriques nécrologiques

ANNEXE 18

Mentions par des gouvernements

Données

Sources, méthodologies et précisions, par pays :
Collecte des données et analyses réalisées par le McKinsey Global Institute (MGI).

Canada (Chambre des communes)
Les données ont été collectées en utilisant la fonction Recherche Hansards du site Internet du parlement canadien. MGI a fait des recherches sur les termes « intelligence artificielle » et « machine learning » (avec les guillemets) et a téléchargé les résultats au format CSV. Le paramètre de recherche était « Tous débats ». Les données ont été collectées en date du 20/11/2018. Les données disponibles en ligne remontent au 31/08/2012.

Chaque entrée indique que les termes *Intelligence artificielle* ou *Machine learning* ont été mentionnés dans un commentaire ou une remarque durant les sessions de la Chambre des communes. Cela signifie qu'au cours d'un événement ou d'une conversation, si un membre de la Chambre mentionne l'IA ou le ML à de multiples reprises dans ses remarques, ces mentions n'apparaîtront qu'une fois. Toutefois, si, au cours du même événement, l'orateur a mentionne l'IA ou le ML dans des commentaires séparés (avec d'autres orateurs entre temps), les mentions apparaîtront plusieurs fois. Les entrées pour l'*intelligence artificielle* et le *machine learning* sont séparées car elles ont été identifiées dans des recherches séparées. Les mentions des abréviations « AI » ou « ML » ne sont pas incluses.

Royaume-Uni (Chambre des communes, Chambre des Lords, Westminster Hall et comités)
Les données ont été collectées en utilisant la fonction Recherche de références du site des Hansards du parlement britannique. MGI a fait des recherches sur les termes « intelligence artificielle » et « machine learning » (avec les guillemets) et a catalogué les résultats. Les données ont été collectées en date du 20/11/2018. Les données disponibles en ligne remontent au 01/01/1800. Ces informations parlementaires sont sous licence Open Parliament Licence v3.0.

Comme au Canada, chaque entrée indique que les termes *Intelligence artificielle* ou *Machine learning* ont été mentionnés dans un commentaire ou une remarque durant les sessions parlementaires. Cela signifie qu'au cours d'un événement ou d'une conversation, si un membre du parlement mentionne l'IA ou le ML à de multiples reprises dans ses remarques, ces mentions n'apparaîtront qu'une fois. Toutefois, si, au cours du même événement, l'orateur a mentionne l'IA ou le ML dans des commentaires séparés (avec d'autres orateurs entre temps), les mentions apparaîtront plusieurs fois. Les entrées pour l'*intelligence artificielle* et le *machine learning* sont séparées car elles ont été identifiées dans des recherches séparées. Les mentions des abréviations « AI » ou « ML » ne sont pas incluses.

USA (Sénat et Chambre des représentants)
Les données ont été collectées en utilisant la fonction Recherche avancée du site Internet des transcriptions du Congrès américain. MGI a fait des recherches sur les termes « intelligence artificielle » et « machine learning » (avec les guillemets) et a téléchargé les résultats au format CSV. La fonction « variante sur un mot » n'a pas été sélectionnée et les documents étudiés proviennent du Sénat, de la Chambre des représentants et des Remarques additionnelles, mais pas du compte-rendu quotidien. Les données ont été collectées en date du 20/11/2018. Les données disponibles en ligne remontent au 104ème Congrès (1995).

Chaque entrée indique que les termes *Intelligence artificielle* ou *Machine learning* ont été mentionnés au cours d'un événement particulier reporté dans les comptes-rendus du Congrès, dont la lecture d'un amendement. Si un membre du Congrès mentionne l'IA ou le ML à de multiples reprises dans ses remarques, ou si plusieurs orateurs mentionnent l'IA ou le ML au cours d'un même événement, ces mentions n'apparaîtront qu'une fois. Les entrées pour l'*intelligence artificielle* et le *machine learning* sont séparées car elles ont été identifiées dans des recherches séparées. Les mentions des abréviations « AI » ou « ML » ne sont pas incluses.

ANNEXE 19

ImageNet

Données sur les scores de précision
Données sur le temps de formation

Source
Les données de précision sur ImageNet ont été obtenues via les classements LSRVC des années 2010 à 2017. Les dispositifs de test de performance pour les années 2016 à 2018 ont été obtenue via arXiv.

Pour mettre en lumière les progrès dans ce domaine, nous avons extrait les scores des articles suivants :

ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks (2012)
Visualizing and Understanding Convolutional Networks (novembre 2013)
Going Deeper with Convolutions (septembre 2014)
Deep Residual Learning for Image Recognition (décembre 2015)
PolyNet : A Pursuit of Structural Diversity in Very Deep Networks (novembre 2016)
Squeeze-and-Excitation Networks (septembre 2017)
GPipe : Efficient Training of Giant Neural Networks using Pipeline Parallelism (novembre 2018)

L'estimation des performances de niveau humain provient de Russakovsky et al. 2015. Plus d'informations sur la compétition ImageNet LSVRC ici et sur la base de données ImageNet ici.

Méthodologie
Pour les données sur la compétition ImageNet (2010-2017), nous avons compilé les scores de chaque concours LSVRC disponible sur le site Internet d'ImageNet. Les dispositifs de test ont été obtenus via une revue d'articles. Seuls les scores de performance les plus élevés de chaque année ont été enregistrés.

Temps de formation à ImageNet

Source
Les données relatives au temps de formation à ImageNet ont été collectée via une revue d'articles. Nous avons utilisé les articles suivants :

8 juin 2017 : 60 minutes
1er novembre 2017 : 30 minutes
12 novembre 2017 : 15 minutes
30 juillet 2018 : 6,6 minutes
13 novembre 2018 : 3,7 minutes

ANNEXE 20

Analyse grammaticale

Données

Source
La section Wall Street Journal du Penn Treebank est une base de données de phrases annotées en fonction de leur cohérence grammaticale. La section 23 de cette base de données est utilisée comme dispositif de test principal pour la recherche sur l'analyse grammaticale. Plus d'informations sur Penn Treebank ici.

Méthodologie
Pour évaluer les analyses grammaticales, nous comparons les composantes des analyses grammaticales automatiques à celles des analyses grammaticales de référence fournies par le dispositif de test. La précision et le souvenir des composantes générées automatiquement sont combinées et reportées en score F1. Nous avons utilisé ces scores pour les phrases de moins de 40 mots et sur l'ensemble des phrases quand elles sont toutes disponibles. Plus d'informations sur les composantes des analyses grammaticales sont disponibles sur la page Wikipédia dédiée à ce sujet.

Nous avons consulté le tableau de classement disponible sur nlpprogress.com pour les analyses grammaticales en langue anglaise. En complément, une revue d'articles a été effectuée pour confirmer les scores présentés dans ce tableau de classement et pour trouver d'autres résultats de pointe. Ces nouvelles données ont été combinées à celles du rapport 2017 de l'AI Index. Les scores F1 que nous avons identifiés incluent des ensembles, pas seulement des modèles uniques.

Précisions

- Au tout début de la recherche sur les analyses grammaticales, celles-ci étaient en général évaluées uniquement sur des phrases de moins de 40 mots à moins de 100 mots, pour des raisons de calcul et de méthodologie. Nous avons utilisés les scores F1 de systèmes sur des phrases de moins de 40 mots et sur toutes les phrases du corps lorsque nous avons pu y avoir accès.

ANNEXE 21

Traduction automatique (BLEU)

Données

Source
Les données proviennent d'EuroMatrix, qui fournit une matrice de scores BLEU pour les concours Workshop on Machine Translation (WMT).

Méthodologie
Chaque année, le WMT organise un concours de traduction d'informations et fournit de nouveaux programmes d'entraînement et dispositifs de test. Les équipes participantes soumettent les systèmes de traduction qu'elles ont construit elles-mêmes.

L'indicateur principal utilisé par WMT a pour but d'établir un classement des systèmes participant au concours et ne permet pas de faire des comparaisons d'une année sur l'autre. Nous avons donc eu recours à BLEU, une méthode automatique qui fait des comparaisons brutes entre les systèmes de traduction automatique et les traductions réalisées par des humains. Il s'agit d'une version modifiée de l'indice de précision, entre 0 et 1, la note la plus haute étant la meilleure. On peut également calculer le score BLEU moyen d'un système de traduction automatique à partir d'un corpus de traductions par paires. Pour chaque année, nous avons utilisé le score BLEU moyen le plus élevé obtenu par un système de traduction automatique pour une traduction d'informations de l'anglais vers l'allemand et de l'allemand vers l'anglais.

EuroMatrix a enregistré les scores BLEU pour toutes les soumissions de traduction automatique d'informations anglais-allemand et allemand-français depuis 2006, par paires. Nous avons sélectionné le score BLEU d'un système parmi les plus performants chaque année. Quand c'était possible, nous avons sélectionné un système avec un score BLEU élevée pour chaque paire comme représentatif de l'année.

Précisions

- Le score BLEU peut être calculé automatiquement et il a été prouvé qu'il correspond au jugement humain en termes de qualité de traduction. Toutefois, cet indicateur ne peut pas être utilisé pour comparer plusieurs corpus et peut donner des résultats erronés s'agissant de comparer les scores BLEU de plusieurs systèmes.
- Si la tendance montrée sur les graphiques est généralement à la hausse, nous pouvons voir que cet indicateur est biaisé en 2017, année au cours de laquelle les scores BLEU ont chuté significativement par rapport à ceux de 2016 (les scores de 2017 sont néanmoins plus élevés que ceux de 2015). Il est peu probable que la performance des systèmes de traduction automatique ait baissé par rapport à 2016 mais le processus d'évaluation présenté ici n'est pas parfait. Cependant, si on regarde les tendances qui se dessinent sur une plus large période, le score BLEU peut nous donner des indications sur les progrès réalisés en traduction automatique.

ANNEXE 22

ARC

Données

Source
L'AI2 Reasoning Challenge (ARC) est organisé par l'Allen Institute for Artificial Intelligence. Les données de performance de l'ARC proviennent des tableaux de classement de l'ARC. Les classements pour le Questionnaire Simple sont disponibles ici et les classements pour le Questionnaire Compliqué ici.

Méthodologie
Les participants téléchargent le test ARC puis soumettent leurs réponses via le site Internet de l'Allen Institute.

Exemples de questions du Questionnaire Simple :

> Laquelle de ces technologies a été développée le plus récemment ? (A) le téléphone portable (B) la télévision (C) le réfrigérateur (D) l'avion (Niveau 4th grade / équivalent du CM1 en France)
>
> Un étudiant émet l'hypothèse que les algues produisent. Quelle question sera la plus pertinente pour aider l'étudiant à déterminer s'il a raison ? (A) Les algues consomment-elles d'autres organismes ? (B) Quels organismes consomment des algues ? (C) Les algues utilisent-elles la lumière naturelle pour produire leur nourriture ? (D) Un écosystème pourrait-il survivre sans algues ? (Niveau 8th grade / équivalent de la 4ème en France)

Exemples de questions du Questionnaire Compliqué :

> Juan et LaKeisha font rouler des objets sur une rampe. Ils veulent savoir quel objet roule le plus loin. Que doivent-ils faire pour répéter leur enquête ? (A) Placer les objets par groupes. (B) Changer la hauteur de la rampe. (C) Choisir différents objets à faire rouler. (D) Enregistrer les détails de leur enquête. (Niveau 4th grade / équivalent du CM1 en France)
>
> Les systèmes à haute pression empêche l'air de s'élever dans les zones plus froides de l'atmosphère où l'eau peut se condenser. Que va-t-il probablement se passer si un système à haute pression reste dans la même zone pendant une longue période ? (A) brouillard (B) pluie (C) sécheresse (D) tornade (Niveau 8th grade / équivalent de la 4ème en France)

Chaque question vaut un point. Les systèmes pouvaient donner plusieurs réponses – dans ce cas, un système qui donne N réponses obtient 1 / N points si l'une de ses N réponses est correcte, 0 point dans le cas contraire. Le score général est la moyenne des scores obtenus pour les questions individuelles.

L'AI Index a seulement collecté les scores supérieurs à ceux des précédentes éditions du concours. Si un système obtient un score inférieur à ceux obtenus lors des précédentes éditions, il n'est pas inclus dans notre visuel.

Plus d'informations sur les règles et les directives du concours sont disponibles ici.

ANNEXE 23

GLUE

Données

Source
Les données GLUE ont été obtenues à partir du tableau de classement GLUE. Plus d'informations sur le test de référence GLUE ici.

Méthodologie
Les participants téléchargent le test GLUE puis soumettent leurs réponses via le site Internet GLUE. Pour chaque tâche, les scores sont calculés en fonction des indicateurs propres à la tâche. Tous les indicateurs sont sur une échelle de 100x (en pourcentages). On fait ensuite une moyenne de ces scores pour obtenir un score final. Pour les tâches ayant des indicateurs multiples – dont le MNLI (Multi-Genre Natural Language Inference), une moyenne est réalisée.

Dans le tableau de classement, seules les soumissions ayant obtenues les notes les plus élevées sont indiquées ou classées par défaut. Les autres soumissions peuvent être consultées via un menu déroulant pour chaque participant. Les participants peuvent soumettre leurs réponses en mode « privé », ainsi leurs résultats n'apparaîtront pas. Le visuel proposé par l'AI Index n'inclut aucune soumission faite en mode « privé ». Les soumissions MNLI de niveau variable comptent pour une seule tâche, pour simplifier la notation.

L'AI Index a seulement collecté les scores supérieurs à ceux des précédentes éditions du concours. Si un système obtient un score inférieur à ceux obtenus lors des précédentes éditions, il n'est pas inclus dans notre visuel.

Plus d'informations sur les règles et les directives du concours sont disponibles ici.