L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE, UN SUJET POLITIQUE

Les principales puissances dans le monde, quel positionnement pour la France ?

Avril 2022

sur la base du rapport de L. Dibiaggio, M. Keita & L. Nesta
L'intelligence artificielle : technologies et acteurs clés
Édition 2022

skema THINK TANK | PUBLIKA

SKEMA PUBLIKA

SKEMA PUBLIKA est un think tank indépendant qui a pour objectif de produire une pensée internationale, accessible et loin des codes formatés pour alimenter le débat public et mieux éclairer en amont les décideurs nationaux et internationaux.

Adossé à SKEMA Business School, le think tank aborde des sujets politiques et sociétaux ayant trait aux politiques publiques, sur lesquels SKEMA a une légitimité à s'exprimer. Il les aborde sous l'angle des signes précurseurs, anticipe et formule des recommandations pour « l'après ». Il adopte une approche multidisciplinaire et hybride du traitement de l'information, associant intelligences humaine et numérique. Il s'appuie sur la dimension internationale et transculturelle de SKEMA, présente sur cinq continents et riche de milliers d'étudiants et de centaines de chercheurs.

Le think tank dispose d'un comité stratégique de personnalités internationales de haut niveau et indépendantes de toute affiliation politique.

SKEMA PUBLIKA propose cinq collections : EMERGY (signaux précurseurs), FER (finance, éthique, régulation), INCERTITUDES (zones peu explorées de l'analyse de risques), INTERFACES & INFLUENCES (interactions de mondes différents) et FOCUS PAYS.

Le rapport ci-après est présenté dans la collection INCERTITUDES.

TABLE DES MATIÈRES

Éclairages et recommandations 3
I. Les apports originaux de l'étude 5
II. L'intelligence artificielle a investi tout le champ économique 7
III. Le degré de puissance lié à l'IA est et sera avant tout un construit social et politique 10
IV. La place de la France dans la course à l'innovation 14
Auteurs 19

ÉCLAIRAGES ET RECOMMANDATIONS

Ouvrant la voie à des innovations jusqu'ici hors de portée, l'intelligence artificielle (IA) est pressentie comme une technologie d'application générale (*General Purpose Technology*), à l'image de la machine à vapeur, de l'électricité ou de l'électronique lors des précédentes révolutions industrielles. En quelques années seulement, elle s'est diffusée dans des secteurs aussi divers que le transport, les télécommunications, la santé, l'éducation, la justice ou la sécurité.

Depuis 2010, le nombre de brevets IA déposés chaque année augmente de manière ininterrompue. Sur les 30 dernières années, **les pays leaders en termes de production de brevets sont les États-Unis (30 %), la Chine (26 %), le Japon (12 %), la Corée du Sud (6 %), l'Allemagne (5 %), le Royaume-Uni (2,5 %), la France (2,4 %) et le Canada (1,9 %).** Les États-Unis et les puissances asiatiques comptabilisent à elles seules près des trois quarts du marché de l'innovation IA. Avec plus de la moitié des parts de marché mondiales, les États-Unis et la Chine affirment leur domination. Quelle place reste-t-il pour l'Europe et la France dans cet espace stratégique ultra-compétitif ? Ont-elles bâti une masse critique suffisante ?

Selon le *Tortoise Global AI Index 2021*[1], qui évalue les nations en fonction de leur niveau d'investissement, d'innovation et de mise en œuvre de l'intelligence artificielle, les États-Unis et la Chine conservent leurs deux premières places. Le Canada conquiert la 4e place. Il se classe premier en stratégie gouvernementale (devant la Chine) et 6e en stratégie commerciale. La France et l'Allemagne quant à elles descendent au classement global pour atteindre les 9e et 10e places, juste après les Pays-Bas. **Toutefois, la France se hisse à la 5e place mondiale en termes de stratégie gouvernementale, devant les États-Unis et l'Allemagne par exemple.**

En avril 2021, l'Union européenne publiait son nouveau plan coordonné pour l'intelligence artificielle entre la Commission européenne et les États membres. Il s'appuie sur le premier plan coordonné IA de 2018. Les objectifs sont notamment d'accélérer les investissements et d'aligner la politique en matière d'IA afin d'éliminer la fragmentation[2]. Cependant, dans un domaine où les coûts d'investissements sont si colossaux, les décideurs français et européens sont sujets à « la dépendance au sentier » : leurs choix stratégiques futurs sont contraints par des choix passés qui les engagent sur le long terme. Ils doivent donc posséder une connaissance fine des avantages comparatifs de leurs pays et des pays concurrents dans les domaines relevant de l'IA pour cibler des investissements spécifiques leur permettant de fournir l'effort quantitatif nécessaire à l'accroissement de leur part de marché dans les secteurs jugés clefs.

Il s'agit ici d'apporter aux décideurs publics et privés une perspective historique des positionnements stratégiques des pays leaders de l'IA depuis 30 ans, essentielle à la prise de décision éclairée des choix futurs en matière d'investissements, d'organisation et de collaboration.

À la lumière de ces éclairages, plusieurs recommandations sont proposées ci-dessous.

- **Créer les conditions d'un transfert technologique efficace entre acteurs publics et privés français, pour faire de la France un acteur IA compétitif au-delà du continent européen.**

En termes de spécialisations IA et de part de marché, la France n'apparait jamais en situation de consolidation de position dominante mondiale, sur aucun des secteurs de la chaine de valeur liant les sciences aux applications IA. Elle semblait prometteuse sur les techniques liées aux réseaux de neurones, ou dans le domaine des transports, mais sans gain de part de marché depuis les années 2010.

Bien que classés 7e en nombre de brevets produits, les acteurs privés français ont du mal à rivaliser avec des acteurs étasuniens, chinois ou même allemands, comme en témoigne l'absence d'acteurs privés nationaux dans

[1] Cet index synthétise six composantes : les talents, l'infrastructure et l'environnement opérationnel (mise en œuvre), la recherche et le développement (innovation), les stratégies gouvernementale et commerciale (investissement).
[2] Plan coordonné dans le domaine de l'intelligence artificielle — Révision de 2021, consulté le 11/04/2022.

le top 20 mondial des plus gros producteurs de brevets IA. Toutefois, la France est leader de l'innovation publique européenne avec six organismes de recherche présents dans le top 10 des acteurs publics européens.

La France se caractérise par une forte vigueur de sa recherche publique dans le domaine de l'IA. Aussi, le décideur public doit s'appuyer sur cette recherche pour créer les conditions d'un transfert technologique vers des acteurs plus proches des marchés.

- **Construire les politiques nationales d'IA autour des spécificités des systèmes nationaux d'innovation de chaque pays.**

Aucun lien clair entre spécialisation et performance des États ne semble exister, contrairement à ce que l'on pourrait supposer. Toutefois, chaque pays travaille à se spécialiser dans au moins une discipline de l'IA. Pour le cas de la France, on remarque une spécialisation forte dans le domaine de la sémantique. Il est probable que cet avantage comparatif constituera un point fort de la France en IA, car la sémantique dépend étroitement des sciences de l'informatique et des systèmes experts, deux domaines (le premier scientifique, le second technologique) dans lesquels la France montre un avantage comparatif tout aussi important. Les deux autres domaines fonctionnels de spécialisation de la France se trouvent dans la reconnaissance de caractère et la vision par ordinateur. Toutefois, ces domaines s'appuient des techniques d'apprentissages et des sciences dans lesquelles la France ne montre pas de compétences particulièrement fortes.

L'articulation entre acteurs publics et privés notamment est spécifique à chaque région du monde et à chaque pays. Les modèles d'interaction rencontrés sont d'une grande variété. Cela est encore plus évident si l'on s'intéresse au lien entre les entreprises dominantes nationales et les spécialisations des pays. Or, l'organisation de l'innovation IA est un élément crucial qui doit conduire les choix de politiques publiques.

La diversité des systèmes nationaux d'innovation invite à rester circonspects vis-à-vis des politiques de soutien à l'intelligence artificielle qui consisterait à imiter les politiques mises en œuvre dans un pays étalon. Au contraire, une telle diversité implique que ces politiques ne peuvent s'opérer hors sol, sans s'appuyer sur les acteurs clefs nationaux, et en exploitant les complémentarités entre domaines scientifiques, technologiques et fonctionnels les plus prometteurs pour le pays.

- **Imaginer et construire un modèle européen de l'innovation IA adapté à la diversité de ses États, pour améliorer le positionnement mondial de l'Europe.**

Deux constats mènent les auteurs à formuler cette recommandation. Le premier constat est que l'Europe n'est pas au-devant de la compétition mondiale en matière d'IA. En effet, d'une part, seules deux entreprises européennes figurent parmi les acteurs majeurs de l'IA. D'autre part, les entreprises européennes produisent beaucoup moins de brevets que les géants américains et asiatiques. Un effort quantitatif est nécessaire.

Le second constat est qu'il existe une grande hétérogénéité entre les différents systèmes nationaux d'innovation dans le domaine de l'IA. C'est ce qu'illustrent les différences radicales d'organisation de l'innovation en France et en Allemagne, notamment en termes d'articulation entre les acteurs privés et publics et les formes opposées de leurs réseaux de collaboration respectifs.

Pour construire ses avantages comparatifs, l'Europe doit ainsi envisager la construction d'un modèle européen de l'innovation dans le domaine de l'IA. Or les différences observées, notamment entre les systèmes d'innovation allemand et français, questionnent la faisabilité et la cohérence d'un modèle européen. Un tel système serait-il efficient ? Comment pourrait-il renforcer les spécialisations des acteurs clefs européens, publics et privés ? Il revient aux décideurs publics de répondre à ces questions, d'imaginer des organisations innovantes, étant dorénavant acté qu'être exclu des développements futurs de l'intelligence artificielle serait synonyme de perte d'influence au niveau international et d'autonomie économique future.

- **Anticiper les impacts de l'IA sur les activités d'innovation et sur le marché du travail.**

Les gains attendus de l'IA, comme la productivité des entreprises ou la création de nouveaux marchés, doivent s'évaluer à l'aune des coûts attendus. Il ne faut pas sous-évaluer les difficultés soulevées par le développement des technologies numériques en général, et de l'IA en particulier. Les effets de la réallocation du capital et du travail entre entreprises et entre secteurs restent à évaluer, et impliquent des coûts d'ajustements importants engendrés par l'IA, encourus par les entreprises et les travailleurs. Les impacts les plus importants de l'IA sont attendus pour ce qui concerne les activités d'innovation et la demande de travail émanant des entreprises.

Les entreprises doivent ainsi ajuster leur modèle économique, réaliser les investissements complémentaires nécessaires, et adapter leurs compétences techniques et leur capital humain. De leur côté, les pouvoirs publics doivent ajuster les réglementations en vigueur, et assurer une offre de formation qui accompagne l'essor de l'IA, en investissant dans les infrastructures scientifiques et technologiques.

I. LES APPORTS ORIGINAUX DE L'ÉTUDE

Ce *policy brief* se concentre sur les implications institutionnelles et politiques de l'étude originale des auteurs ***L'intelligence artificielle : technologies et acteurs clefs***. Cette étude se situe dans un cadre plus large et aborde divers domaines de l'IA, notamment technologiques. Elle a pour objectif, entre autres, **de cartographier les activités et expertises des huit pays leaders en termes de dépôts de demande de brevet, entre 1990 et 2017**[3], à savoir les États-Unis, la Chine, le Japon, la Corée du Sud, l'Allemagne, le Royaume-Uni, la France et le Canada, en distinguant la position des acteurs privés et publics dans cet espace complexe que constitue l'ensemble technologique de l'IA.

Cette étude comporte plusieurs originalités d'importance.

Tout d'abord, elle envisage l'IA comme un ensemble qui incorpore l'intégralité de la chaine science-technologie-applications industrielles. L'IA est communément appréhendée sous trois prismes :

- les techniques : formes avancées de modèles statistiques et mathématiques permettant les calculs des tâches généralement effectuées par les humains ;
- les fonctions : services réalisés en utilisant une ou plusieurs techniques ;
- les applications industrielles, définies comme le produit joint d'une technique et d'une fonction mobilisées dans un contexte précis.

Les auteurs enrichissent ce modèle d'un quatrième prisme, celui des domaines scientifiques, et s'intéressent à ceux sur lesquels les brevets IA s'appuient.

En révélant les interdépendances de la chaine science-technologie-applications, l'étude insiste sur l'idée que **l'IA n'est un ensemble ni fluide, ni aisé à maîtriser. Elle est au contraire un construit social, dans lequel les acteurs s'imbriquent les uns aux autres, s'approprient les technologies pour faire leur choix d'investissements locaux, risqués, irrécouvrables.**

La seconde originalité du rapport est de distinguer la position des acteurs privés et publics dans cet espace complexe. Une attention toute particulière est portée sur **une localisation fiable des compétences et activités IA, enjeu stratégique pour les États.** La plupart des rapports et classements qui utilisent les données bibliométriques pour comparer les avancées technologiques des différents pays se heurtent à l'écueil de la localisation des données. **Les auteurs proposent une méthode simple et efficace qui permet d'apporter un nouvel éclairage sur l'expertise des principaux pays identifiés.** La présente étude prend en considération la localisation des inventeurs de brevets, afin de situer un brevet au plus près du lieu de développement et de production de l'IA. Elle choisit alors de ne pas s'intéresser au pays de dépôt du brevet, c'est-à-dire au pays dans lequel le brevet confère à son propriétaire un droit de propriété intellectuelle (consommation). Ainsi, une

[3] La base de données utilisées dans le cadre de ces travaux est PATSTAT 2020. Elle recense les demandes brevets jusque 2017.

demande de brevet déposée aux États-Unis, mais dont les inventeurs sont en France est comptabilisée non aux États-Unis comme c'est classiquement le cas, mais bien en France. Ce choix de méthodologie permet de localiser les expertises et reflète les investissements complémentaires, en termes d'infrastructures, de chercheurs, d'ingénieurs, de système national d'innovation, puis de système de formation sous-jacent. De cette manière **les pays clefs peuvent être caractérisés et comparés selon leur spécialisation relative par domaine scientifique, technologique, fonctionnel ainsi que par les applications potentielles de l'IA.**

Enfin, le rapport met en évidence **la spécificité de l'organisation des systèmes d'innovation des pays les plus contributeurs aux évolutions technologiques IA**. Il identifie les réseaux existants entre les acteurs clefs et montre les particularités nationales quant au rôle d'animation joué par les grandes entreprises multinationales et les institutions de recherche publiques. Cette hétérogénéité révèle probablement **l'importance institutionnelle et historique de l'organisation des systèmes d'innovation** pourtant fondés sur des modèles proches et des politiques publiques comparables.

Méthodologie

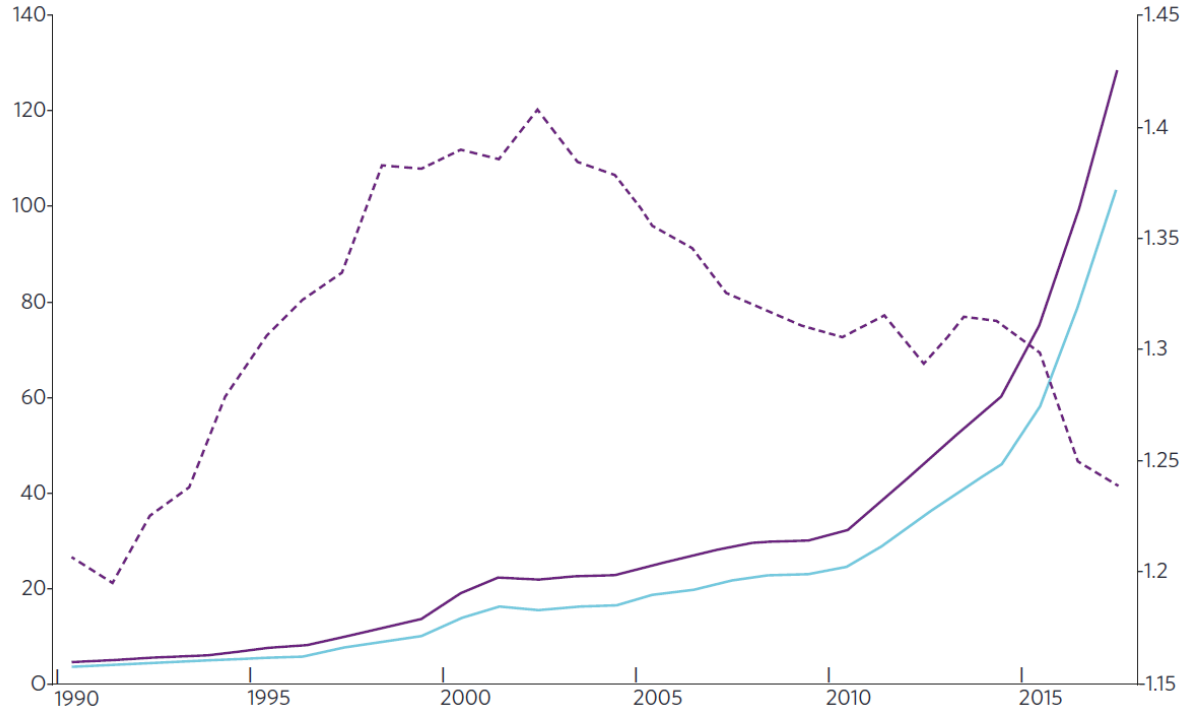
Le travail proposé par les auteurs est une restitution partielle, donc imparfaite, du « monde » de l'intelligence artificielle. En effet, l'IA n'est ni une grandeur comptable, ni un secteur, et encore moins un produit. Aussi, pour mesurer, qualifier, quantifier, comparer les efforts des uns et des autres en matière d'IA, il faut emprunter des chemins qui, s'ils s'avèrent utiles, n'en restent pas moins incomplets.

Le rapport s'appuie sur une source de données unique en matière de brevets, PATSTAT, pour révéler les stratégies d'investissement des acteurs. PATSTAT a l'avantage d'être exhaustif et universel. Toutefois, en développant des indicateurs statistiques de brevets, ce rapport propose une lecture partielle de l'innovation relevant de l'IA. En tant qu'algorithme, l'IA ne se prête pas facilement au brevetage, et ce n'est qu'intégrée dans une technologie matérialisée qu'elle peut être brevetée. Ce rapport pose les bases d'une réflexion qui très vite devra dépasser l'usage de la statistique des brevets pour intégrer une bibliométrie de l'intelligence artificielle.

II. L'IA A INVESTI TOUT LE CHAMP ÉCONOMIQUE

Les dépôts de brevet sont un instrument de mesure largement utilisé pour évaluer les dynamiques d'innovation. **Entre 1990 et 2017, plus de 860 000 brevets en relation avec l'IA ont été déposés dans le monde.** C'est l'année 1990 qui marque le premier essor du domaine avec environ 5 000 brevets demandés. Ce nombre augmente progressivement jusqu'à atteindre environ 30 000 demandes de brevet déposées en 2010. L'année 2010 représente la seconde inflexion importante, initiant une période ininterrompue de croissance du nombre de brevets déposés chaque année, pour atteindre plus de 120 000 brevets en 2017[4]. L'IA est donc un secteur en forte croissance depuis le début des années 2010, croissance amenée à s'accentuer dans les prochaines années.

Évolution du nombre de demandes de brevets en intelligence artificielle entre 1990 et 2017.
Source : PATSTAT édition octobre 2020, calculs des auteurs.



Légende : — nombre de brevets ; — nombre d'inventions (famille de brevet[5]) ; --- taille moyenne des familles de brevets. Axe de droite en unités. Axe de gauche en milliers.

La liste des secteurs concernés est déjà considérable et inclut les transports avec les véhicules autonomes, l'agriculture, les services financiers, les services juridiques et notamment la conformité juridique des contrats, l'ensemble des domaines scientifiques, la santé, l'action publique, la sécurité, la gestion de la sécurité numérique des entreprises, etc.

L'IA engendre non seulement des innovations de produits, mais également des innovations de procédés et des innovations organisationnelles. Les effets cumulatifs de l'IA, positifs comme les gains de productivité des entreprises ou la création de nouveaux marchés, et négatifs comme la substitution du travail par du capital IA,

[4] Du fait du temps de recensement des demandes de brevets, les données après 2017 ne sont pas encore disponibles.
[5] Une même invention peut être brevetée dans différents pays. L'invention donne alors lieu à autant de brevets qu'il y a de pays où elle est protégée. Plus le nombre de brevets protégeant une même invention est important (famille de brevets), plus la valeur économique attendue ou espérée par l'entité propriétaire est grande.

sont encore mal connus et demeurent un enjeu majeur de l'IA encore mal ou peu compris. **Les effets de réallocation du capital et du travail entre entreprises et entre secteurs restent à évaluer et impliquent des coûts d'ajustements importants.** Ces coûts engendrés par l'IA sont encourus à la fois par les entreprises et les travailleurs.

À l'aune de ces coûts importants, les entreprises doivent ajuster leur modèle économique (*business model*), réaliser les investissements complémentaires nécessaires et adapter leurs compétences techniques et leur capital humain. De leur côté, les pouvoirs publics doivent ajuster les réglementations en vigueur et assurer une offre de formation qui accompagne l'essor de l'IA, en investissant dans les infrastructures scientifiques et technologiques.

Qu'est-ce que l'intelligence artificielle ?

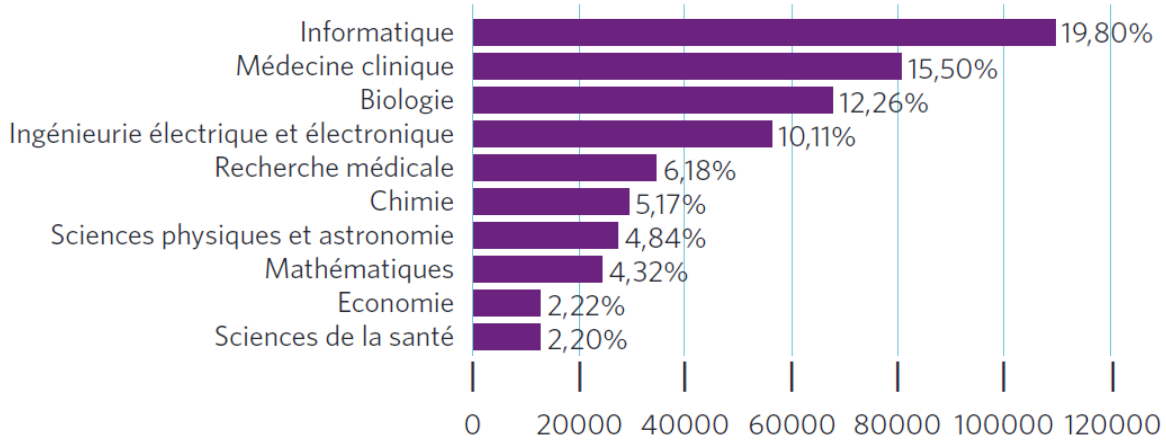
Un système IA est « un système automatisé qui, pour un ensemble donné d'objectifs définis par l'homme, est en mesure d'établir des prévisions, de formuler des recommandations, ou de prendre des décisions influant sur des environnements réels ou virtuels » (OCDE, 2019).

L'IA se définit fondamentalement comme un ensemble de techniques de prédiction qui consistent à associer à une information une action destinée à atteindre un objectif prédéterminé par l'humain.

Depuis 2010, l'apprentissage automatique (*Machine Learning*) et l'apprentissage profond (*Deep Learning*) ont grandement amélioré la performance prédictive des algorithmes. Par intelligence artificielle, on entend aujourd'hui un outil d'aide à la décision à moindre coût, ou encore le développement de l'automation, c'est-à-dire de la capacité d'un appareil, d'un procédé ou d'un système à fonctionner de façon autonome.

Les impacts de l'IA par domaines, techniques, fonctions et applications entre 1990 et 2017.
Source : PATSTAT édition octobre 2020, calculs des auteurs.

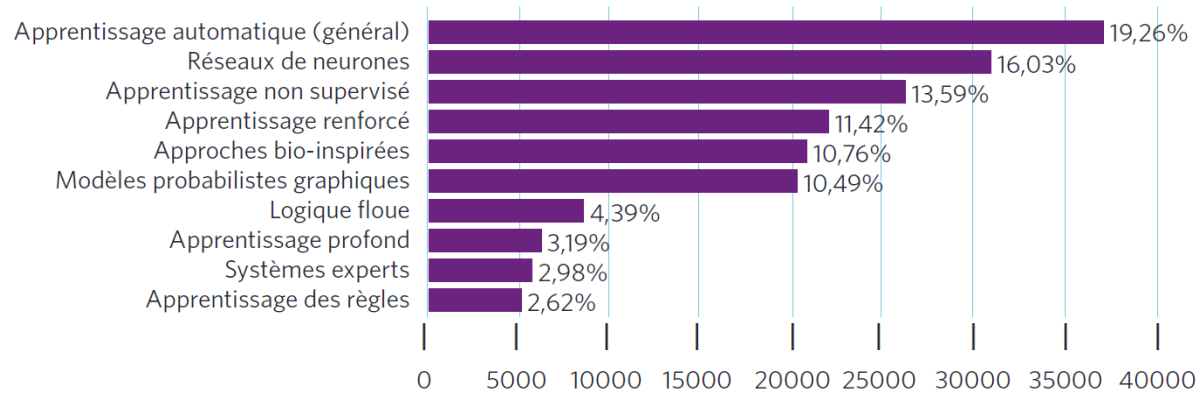
*Proportion des **domaines scientifiques** mentionnés dans les brevets IA.*



Les 10 premiers domaines couvrent plus de 80 % des références scientifiques présentes dans les brevets IA[6].

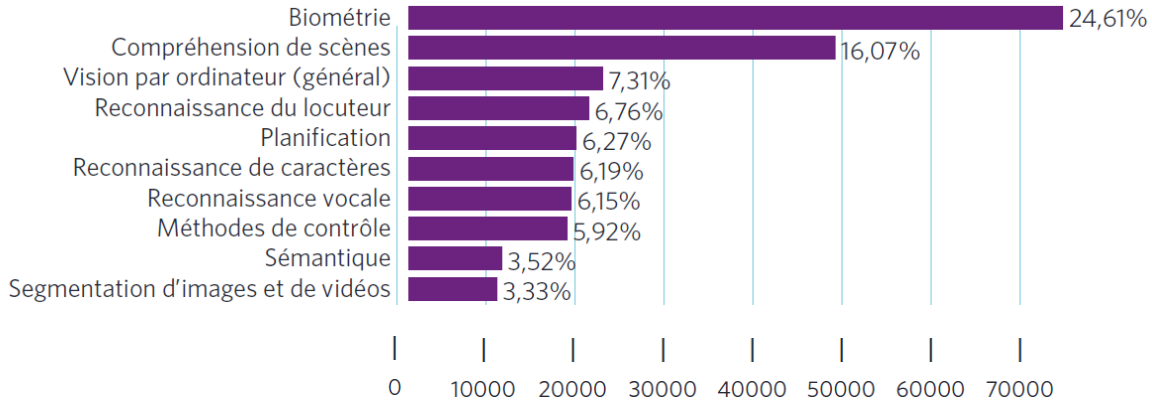
[6] Les graphiques présentés ici ne rendent compte que des 10 premiers domaines scientifiques, techniques, fonctions et applications industrielles. Les graphiques entiers sont disponibles dans le rapport dont est tiré ce *policy brief*.

*Proportions des **techniques IA** révélées dans les brevets IA.*



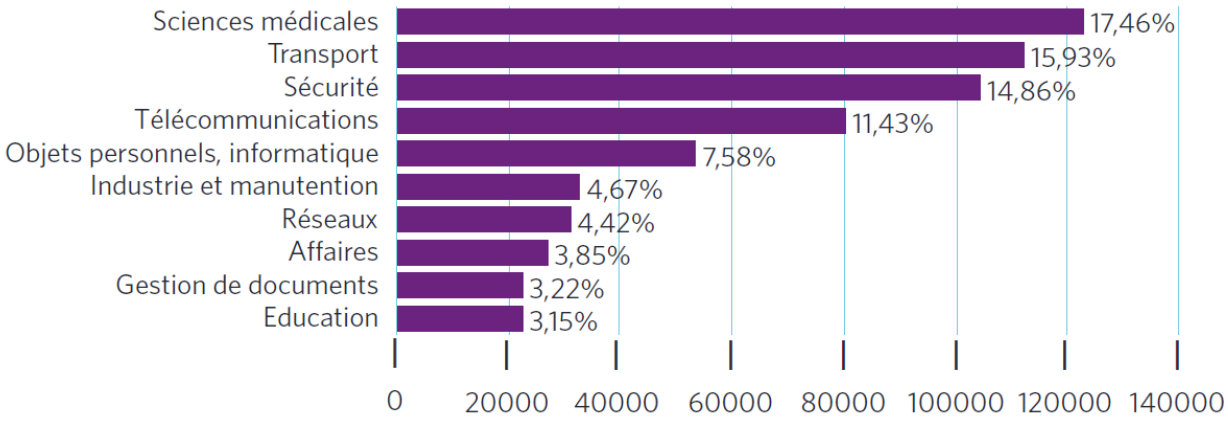
Ces 10 premières techniques couvrent plus de 95 % des occurrences des techniques IA.

*Proportions des **fonctions IA** révélées dans les brevets IA.*



Ces 10 premières fonctions couvrent ainsi plus de 86 % des occurrences des fonctions IA.

*Dynamiques des **domaines d'applications IA** révélées dans les brevets IA.*



Ces 10 premiers domaines couvrent ainsi plus de 85 % des occurrences des applications IA.

Concernant les liens entre les sciences et les techniques, la fréquence la plus élevée se trouve entre l'informatique (en tant que domaine scientifique) et l'apprentissage automatique, puis entre l'informatique et les réseaux de neurones. L'attraction mutuelle la plus élevée lie la biologie avec les approches bio-inspirées, puis la recherche médicale avec les approches bio-inspirées.

Concernant les liens entre les techniques et les fonctions, la fréquence la plus élevée se trouve entre l'apprentissage automatique et la vision par ordinateur, puis entre les réseaux de neurones et la vision par ordinateur. L'attraction mutuelle la plus élevée lie l'apprentissage des règles avec la sémantique, puis la logique floue avec les méthodes de contrôle.

Concernant les liens entre les fonctions et les domaines d'applications, la fréquence la plus élevée se trouve entre la biométrie et la sécurité, puis entre la vision par ordinateur/la compréhension des scènes avec le domaine de transport. L'attraction mutuelle la plus élevée lie la reconnaissance de caractères avec la gestion de documents, puis la reconnaissance vocale et du locuteur avec les télécommunications.

III. LE DEGRÉ DE PUISSANCE LIÉ A L'IA EST ET SERA AVANT TOUT UN CONSTRUIT SOCIAL ET POLITIQUE

LES ÉTATS-UNIS, LEADER CONCURRENCE PAR LES PUISSANCES ASIATIQUES

Comme suite au plan initial étasunien de 2016 intitulé *The National Artificial Intelligence Research and Development Strategic Plan*, de nombreux pays ont lancé des initiatives et établi des plans d'action suivis d'investissements financiers considérables. C'est le cas par exemple du Canada qui a, dès 2017, été le premier pays à planifier un investissement de 100 millions de dollars US sur cinq ans dans la recherche sur l'IA, ou de la Corée du Sud qui a alloué une enveloppe de 940 millions de dollars US dans le domaine de l'IA. À titre de comparaison, la France a annoncé en 2018, l'allocation d'une enveloppe de 1,5 milliard d'euros pour la recherche et l'innovation dans l'IA avant 2022. D'ici 2025, il est prévu de consacrer au total 2,22 milliards d'euros à l'IA, dont 1,5 milliard d'euros de financements publics et 506 millions d'euros de cofinancements privés[7]. L'Union européenne quant à elle dédie 1,38 milliard d'euros aux investissements numériques et notamment en IA, jusque fin 2022[8]. Ces investissements massifs conduisent à s'interroger sur le positionnement stratégique des pays avant 2018.

Sur la période 1990-2017, les États-Unis (30 %) et la Chine (26 %) sont les deux leaders incontestables de la production de brevets incorporant des systèmes IA. À eux deux, ils comptabilisent plus de la moitié des brevets IA. À leurs côtés, le Japon (12 %), la Corée du Sud (presque 6 %) et l'Allemagne (presque 5 %) sont les pays les plus actifs dans ce domaine. Ces cinq pays totalisent à eux seuls 80 % de la production de brevets incorporant des techniques liées à l'IA. Le Royaume-Uni (2,5 %), la France (2,4 %) et le Canada (1,9 %) forment un premier groupe de pays suiveurs, totalisant presque 7 % de la production de brevets[9].

[7] La stratégie nationale pour l'intelligence artificielle, 10/11/2021, consultée le 11/04/2022.

[8] Parallèlement, la Commission publie un programme cybersécurité d'un budget de 269 millions d'euros jusqu'à la fin de 2022, et un programme de soutien au réseau de pôles européens d'innovation numérique de 329 millions d'euros jusqu'à la fin de 2023. Source : communiqué de presse du 10/11/2021 (consulté le 11/04/2022).

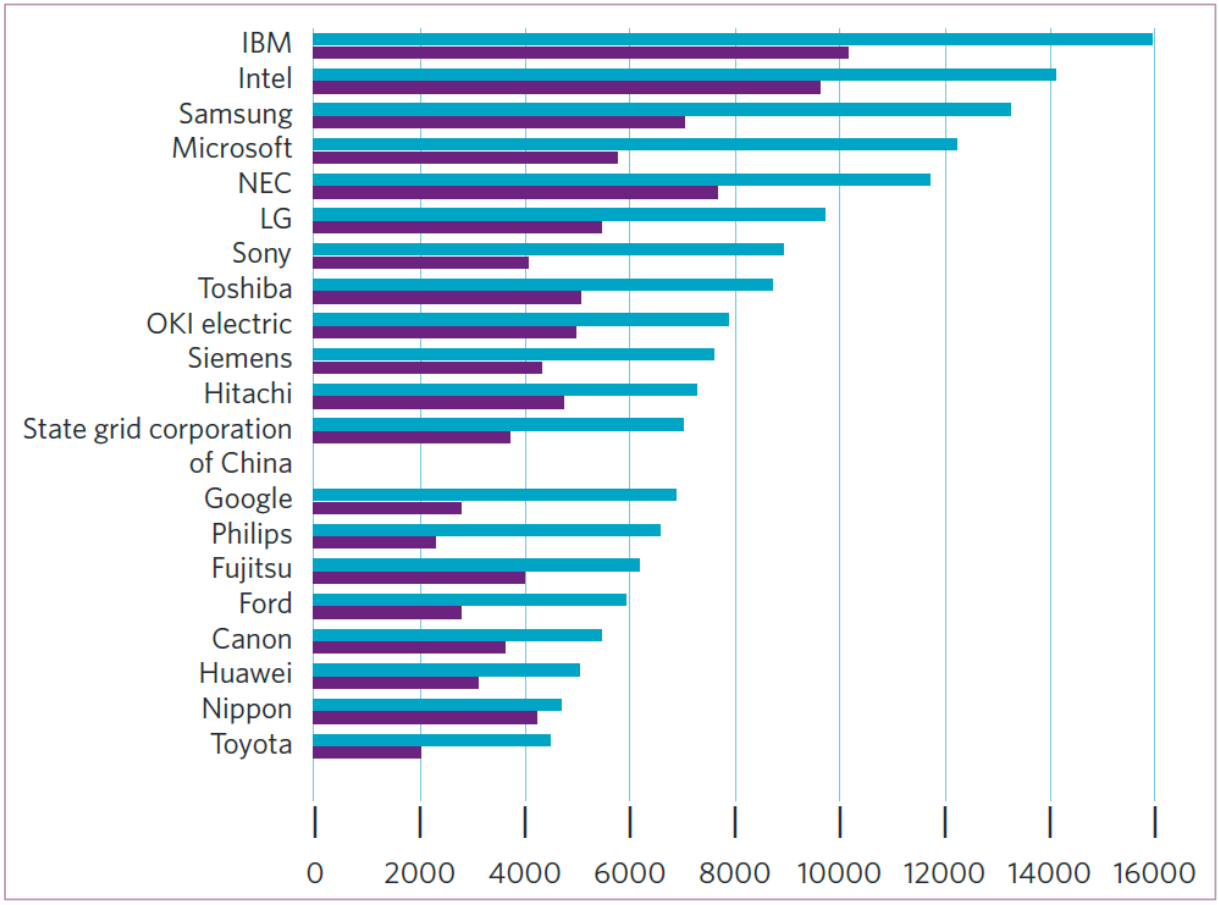
[9] Le classement des auteurs positionne ainsi respectivement le Royaume-Uni et la France 6e et 7e mondiaux quand le bureau mondial de la propriété intellectuelle les classe 12e et 13e en 2019. Ceci s'explique par une différence méthodologique majeure. La présente étude prend en considération la localisation des inventeurs de brevets alors que le classement précité s'intéresse au pays de dépôt du brevet.

Si l'on s'intéresse aux acteurs propriétaires de brevets IA sur la période, **le géant américain du matériel informatique IBM est le leader incontesté du domaine et possède presque 16 000 brevets en relation avec l'IA qui correspondent à un peu plus de 10 000 inventions (familles de brevets).** En deuxième position, on retrouve Intel, un autre acteur américain avec plus de 14 000 brevets. Samsung, le géant coréen de l'électronique, est classé troisième avec 13 243 brevets, suivi de l'américain Microsoft et du japonais NEC. En regardant plus globalement dans le top 20 des acteurs les plus importants de l'IA, on trouve cinq Américains comprenant les trois précédemment cités, auxquels il faut ajouter Google et Ford, deux Coréens (Samsung et LG Group), deux Chinois (State Grid Corporation of China et Huawei), un Allemand (Siemens) et un Néerlandais (Philips). Les neuf autres acteurs présents dans ce top 20 sont japonais.

Cette première lecture des 20 premiers acteurs montre clairement que les entreprises asiatiques (en particulier celles du Japon) se positionnent comme des acteurs très importants de l'IA allant même jusqu'à faire de l'ombre aux GAFAM. En effet, si Microsoft et Google sont présents dans ce top 20, il faut aller jusqu'à la 27e place pour retrouver Apple, tandis que Amazon et Facebook se trouvent respectivement à la 42e et 49e place[10].

Les 20 acteurs privés mondiaux principaux.

Source : PATSTAT édition octobre 2020, calculs des auteurs.



Légende : ● nombre de brevets ; ● nombre d'inventions.

[10] Ces résultats sont en partie dépendants de la stratégie des entreprises en matière de propriété intellectuelle. Les brevets constituent en effet un indicateur limité pour rendre compte des activités d'innovation en IA. Les entreprises utilisent souvent les publications scientifiques pour communiquer leurs avancées sans nécessairement breveter. Par exemple, Amazon et Facebook n'apparaissent pas en tête de ce classement alors que leurs investissements sont colossaux.

DES EUROPÉENS ENCORE À LA TRAINE

On doit remarquer la faible présence d'entreprises européennes (deux) parmi les acteurs majeurs de l'IA. En effet, si l'on peut considérer que le classement reste anecdotique, la différence de nombre de brevets est colossale entre les entreprises européennes et les géants américains et asiatiques. Siemens, le leader européen de l'IA avec 7 628 brevets (10e au classement mondial), possède moins de la moitié du nombre de brevets détenus par IBM (15 931 brevets). Cette différence augmente d'autant plus qu'on descend dans le classement des entreprises européennes.

LA CHINE A UN POSITIONNEMENT STRATÉGIQUE MONDIAL FORT

Sur l'ensemble de la chaine technologie-applications industrielles, la Chine domine très largement la course à l'innovation, notamment en apprentissage non supervisé (technique) et biométrie (fonction). Elle domine largement les domaines d'application les plus prolifiques (transport, sciences médicales et de la vie, sécurité et télécommunications). Elle tend à accroître ses parts de marché dans tous les domaines, même si on peut souligner une spécialisation relativement faible dans plusieurs d'entre eux (apprentissage automatique, réseaux de neurones et apprentissage par renforcement pour les techniques ; vision par ordinateur, et reconnaissance du locuteur pour les fonctions) en dépit d'une production en constante progression. La Corée du Sud affiche clairement ses ambitions et gagne des parts de marché dans la plupart des secteurs.

À l'inverse, le Canada et la Grande-Bretagne ne sont globalement pas très actifs avec une croissance négative bien qu'il faille noter le bon niveau d'expertise de la Grande-Bretagne dans certains secteurs (apprentissage automatique et réseaux de neurones pour les techniques ; biométrie et vision par ordinateur pour les fonctions ; sécurité et sciences médicales et de la vie pour les domaines d'application). Le Japon est clairement mis à mal et connait une perte de vitesse dans la plupart des domaines étudiés pour perdre sa position de challengeur face aux États-Unis au profit de la Corée du Sud et de la Chine. Quant aux États-Unis, ils sont clairement défiés par la Chine et la Corée du Sud dans une moindre mesure.

En Europe l'Allemagne est très nettement le pays le plus productif avec le premier volume d'activité derrière les États-Unis, la Chine, le Japon et la Corée du Sud bien qu'elle accuse une croissance souvent négative même lorsqu'elle s'avère spécialisée (réseaux de neurones pour les techniques ; compréhension de scènes et reconnaissance du locuteur pour les fonctions ; transports et sciences médicales et de la vie pour les domaines d'application). **Enfin, la France a un positionnement assez mitigé. Parfois en progression, souvent en régression, elle ne peut prétendre à concurrencer des pays comme la Chine ou la Corée du Sud.**

Aucun lien clair entre spécialisation et performance des États ne semble exister, contrairement à ce que l'on pourrait supposer. Par exemple, quel que soit leur niveau de spécialisation, la Chine et la Corée du Sud sont de gros producteurs et connaissent des taux de croissance très élevés. À l'inverse les pays européens produisent peu en volume alors même qu'ils sont spécialisés dans certains domaines de l'IA. Toutefois, la quasi-totalité des indicateurs montre que chaque pays travaille à être un spécialiste d'au moins une discipline de l'IA. Cela est encore plus évident si l'on s'intéresse au lien entre les entreprises dominantes nationales et les spécialisations des pays.

LES ENTREPRISES PRIVÉES, PREMIERS PRODUCTEURS MONDIAUX D'IA

À l'échelle mondiale, les entreprises privées produisent nettement plus de brevets que les institutions publiques. Pour un brevet public on trouve 4,6 brevets émanant d'acteurs privés, hors inventeurs individuels**. Il existe, en outre, une grande hétérogénéité entre pays, ce qui révèle à la fois des systèmes nationaux d'innovation différents et des propensions à breveter propres à chaque pays.** En Europe, la croissance de l'IA s'est effectuée avec un développement similaire de la recherche publique et la recherche privée. Dans le cas asiatique (Corée du Sud et Japon), les acteurs publics prennent une part croissante dans l'innovation IA, cette dynamique étant l'expression d'une recherche publique initialement atone dans ce domaine. Enfin aux États-Unis, la base technologique de l'IA réside dans les acteurs privés, et s'appuie sur une recherche publique certes vive, mais en retrait.

Enfin, la tendance mondiale est à l'implication grandissante de la recherche publique dans le domaine de l'innovation en intelligence artificielle, avec une croissance exponentielle de production de connaissance à partir des années 2010. Le début de cette décennie marque en effet l'entrée de l'IA dans une nouvelle dimension avec l'avènement du *Deep Learning*, nouvelle technique statistique qui permet à l'algorithme de gagner de manière significative en qualité de prédiction et en temps de calcul. Le *Deep Learning* révolutionne entre autres la reconnaissance d'image et permet à l'IA de devenir plus performante que l'être humain[11]. Cette innovation radicale suscite un intérêt grandissant des pouvoirs publics, des investissements plus généreux et donc *in fine* un plus grand nombre de brevets produits par la sphère publique.

Nationalité et appartenance institutionnelle des acteurs impliqués dans les brevets.
Source : PATSTAT édition octobre 2020, calculs des auteurs.

	Privé	Public	Privé / public
Monde	660 694	143 311	4.6
France	11 861	4 213	2.8
Allemagne	28 666	2 327	12.3
Chine	136 517	71 323	1.9
Corée du Sud	38 182	12 710	3.0
États-Unis	204 931	23 262	8.8
Japon	101 747	4 982	20.4
Royaume-Uni	9 956	1 954	5.1

Lecture : En Chine, pour un brevet émanant d'une institution publique de recherche, correspond 1,9 brevet privé.

[11] En 2012, Krizhevsky, Sutskever et Hinton de l'Université de Toronto publient « ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks » dans *Advances in Neural Information Processing Systems.* Ils y prouvent la supériorité du *Deep Learning*. L'article a ainsi reçu plus de 80 000 citations en 2021. Il s'agit de l'une des contributions les plus citées dans le champ de la reconnaissance visuelle. Outre la classification d'image, le *Deep Learning* a révolutionné des domaines comme la détection d'objets, les interactions Questions-Réponses, la reconnaissance vocale, la traduction automatique, entre autres.

IV. LA PLACE DE LA FRANCE DANS LA COURSE À L'INNOVATION

UN POSITIONNEMENT STRATÉGIQUE FRANÇAIS EN PERTE DE VITESSE

La France n'apparait jamais en situation de consolidation de position dominante mondiale, sur aucun des secteurs de la chaine technologie-applications. Elle semblait prometteuse en réseaux de neurones (technique), ou dans le domaine des transports (application), mais sans gain de part de marché depuis les années 2010.

En termes de grands domaines d'applications industrielles, la France s'est spécialisée dans le transport et la sécurité. Les efforts d'invention et les enjeux économiques sont particulièrement forts dans le **domaine des transports**. L'intensité des inventions est probablement tirée par Peugeot et Renault qui ont démontré leur savoir-faire en matière d'innovations technologiques dans l'IA. La France est cependant très en retrait dans les applications liées aux mondes des affaires, la gestion de documents et traitement de texte, dans les applications à but éducatif, dans les appareils personnels et informatiques, et dans les télécommunications.

En matière de techniques IA, le positionnement stratégique de la France se concentre autour de l'innovation dans les techniques de systèmes experts, de modèles graphiques probabilistes et d'apprentissage des règles. La France affiche des faiblesses importantes dans l'apprentissage profond, la logique floue, et dans l'apprentissage par renforcement. Elle est en perte de vitesse par rapport à ses concurrents sur le segment de l'apprentissage automatique.

Globalement, les spécialisations françaises sont plus marquées pour les **fonctions** que les techniques. **En effet, la France se révèle très spécialisée en sémantique, en reconnaissance de caractère puis en vision par ordinateur**. En biométrie et vision par ordinateur, la France tire son épingle du jeu avec des indices de spécialisation supérieurs au reste du monde, et ce même si son volume d'activité reste faible. La France est particulièrement absente en planification, reconnaissance du locuteur et reconnaissance vocale. En compréhension de scènes, la France s'expose à une cessation d'activité tant son niveau de spécialisation et son volume de brevets sont faibles.

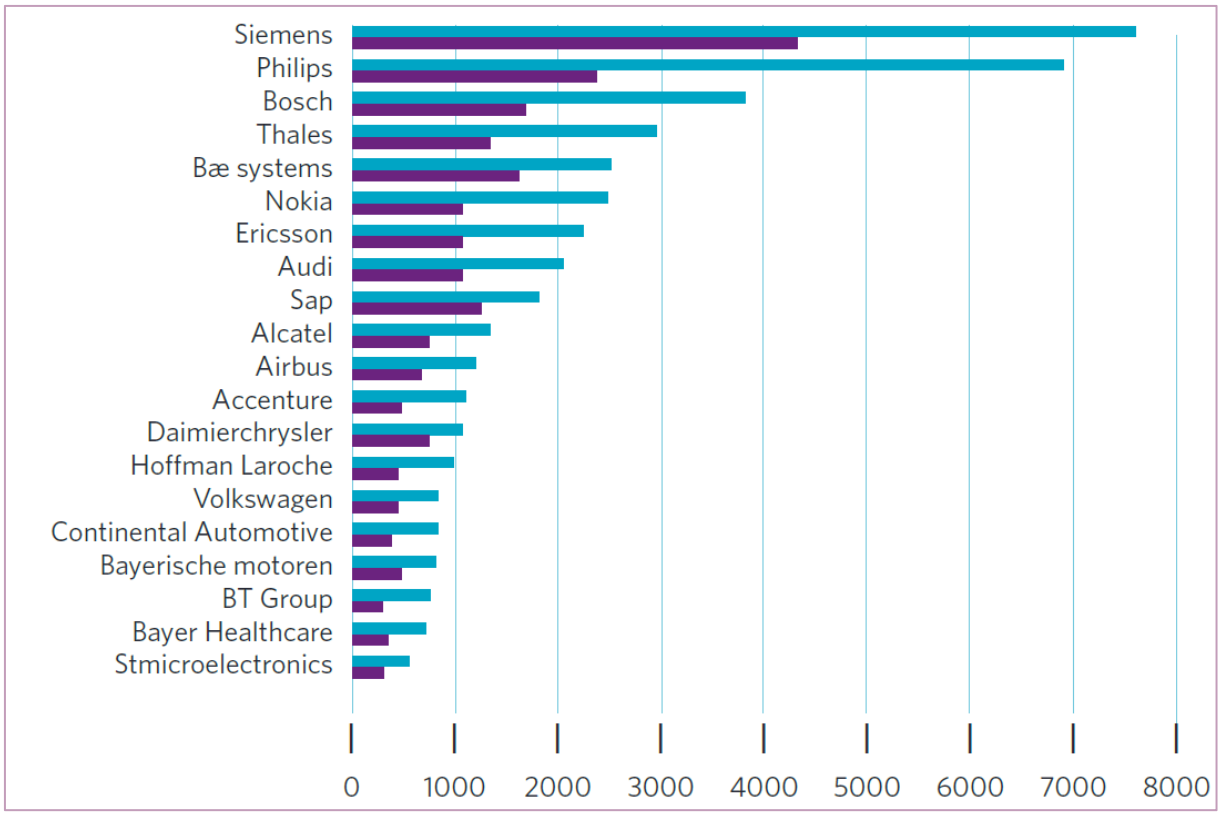
UNE PLACE DIFFICILE À TROUVER DANS L'INNOVATION PRIVÉE…

Aucune entreprise française ne figure dans le top 20 mondial des acteurs privés. Thalès qui est la première entreprise française en termes de nombre de brevets est classé en 37e position mondiale avec presque 3 000 brevets. C'est cependant le quatrième acteur privé européen, très loin des 7 576 brevets de Siemens, en tête de classement. Il se situe même derrière la deuxième entreprise allemande (Bosch).

Dans ce top 20 des acteurs les plus importants d'Europe, on trouve deux Français avec Thalès et ST Microelectronics, trois historiquement si l'on y compte Alcatel (français jusque 2006)[12] et deux britanniques, BT Group en plus de BAE Systems. L'Allemagne domine clairement ce classement avec pas moins de neuf entreprises, aux secteurs d'interventions très divers : construction automobile (Audi, Volkswagen, DaimlerChrysler et Continental Automotive), santé, industrie et bâtiment (Siemens), bâtiment et automobile (Bosch), logiciels (SAP) ou encore pharmaceutique et agrochimie (Bayer Healthcare). Ainsi, l'Allemagne se positionne comme leader de l'IA dans chacun de ces domaines.

[12] Alcatel fusionne avec Lucent Technologies (américain) en 2006 pour devenir Alcatel-Lucent. Alcatel-Lucent est ensuite rachetée par Nokia (finlandais) en 2015 et n'a plus d'existence propre en 2016.

Les 20 acteurs privés européens principaux.
Sources : PATSTAT édition octobre 2020, calculs des auteurs.



Légende : ● nombre de brevets ; ● nombre d'inventions.

… MAIS UN LEADER EUROPÉEN DE L'INNOVATION PUBLIQUE

Le classement européen des acteurs publics montre un rôle important des organismes de recherche français. Avec 891 brevets qui correspondent à 401 inventions, le CNRS est l'acteur public français le plus prolifique en matière de brevets IA. Le CEA et l'Institut Pasteur, l'Inserm, l'Inria puis l'Institut Curie complètent la liste[13]. La qualité des brevets IA des organismes de recherche français est remarquable. Les institutions françaises produisent des brevets à forte valeur économique.

Le CNRS est 2e du classement européen des organismes publics. Le CEA et l'Institut Pasteur sont respectivement 4e et 5e de ce classement. Ensuite, l'Inserm occupe la 7e place, l'Inria la 8e et l'Institut Curie la 9e place. Ainsi, dans ce top 20 des acteurs publics européens les plus importants, on trouve six institutions françaises qui se placent parmi les 10 premiers du classement.

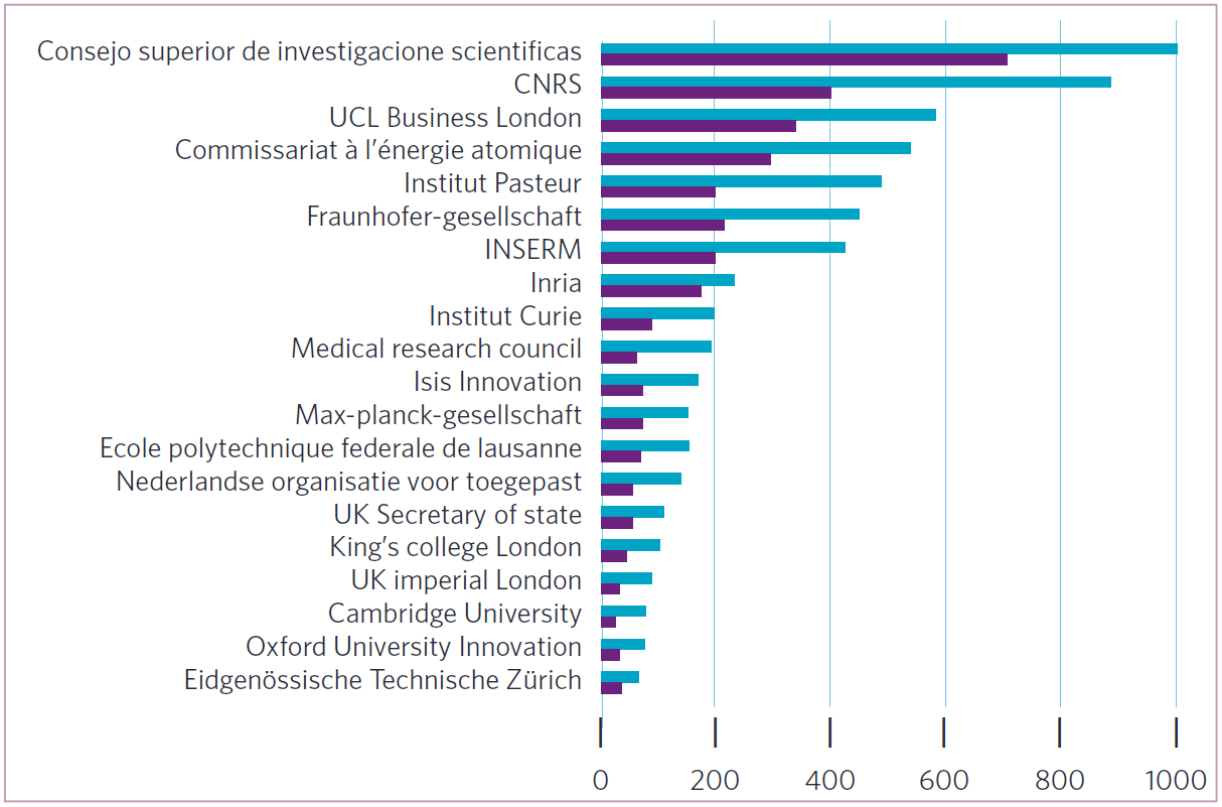
Le CNRS protège ses inventions dans plus de deux zones géographiques en moyenne, ce qui est considérable. On peut faire le même constat pour les institutions françaises les plus prolifiques à l'exception de l'Inria (1,31 zone). Il faut noter que c'est aussi le cas pour certaines entreprises privées françaises telles que Thalès, qui protège ses inventions dans 2,21 zones géographiques en moyenne, Valeo dans 2,13 zones ou encore Idemia dans 2,35 zones.

[13] CNRS : Centre national de la recherche scientifique ; CEA : Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives ; Inserm : Institut national de la santé et de la recherche médicale ; Inria : Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique.

La vigueur de la recherche publique française implique que le décideur public ne peut que s'appuyer sur les chercheurs du public, notamment pour créer avec eux les conditions d'un transfert technologique vers des acteurs plus proches des marchés.

Les 20 acteurs publics européens principaux.

Source : PATSTAT édition octobre 2020, calculs des auteurs.



Légende : ● nombre de brevets ; ● nombre d'inventions.

LE RÔLE MOTEUR DES ORGANISMES PUBLICS DE RECHERCHE FRANÇAIS DANS L'ORGANISATION DE L'INNOVATION

La recherche publique est un acteur essentiel du développement de l'IA en France. Bien que la production de brevets suive une augmentation linéaire et similaire entre les secteurs publics et privés entre 1990 et 2015, la production par les acteurs publics s'accélère à partir de 2009 pour rattraper celle du secteur privé dès 2010. En dynamique, le constat est similaire pour l'Allemagne (comme pour le reste du monde), en dépit du fait que l'implication de la recherche publique est nettement moins importante en Allemagne qu'en France (*cf.* tableau « Nationalité et appartenance institutionnelle des acteurs impliqués dans les brevets »).

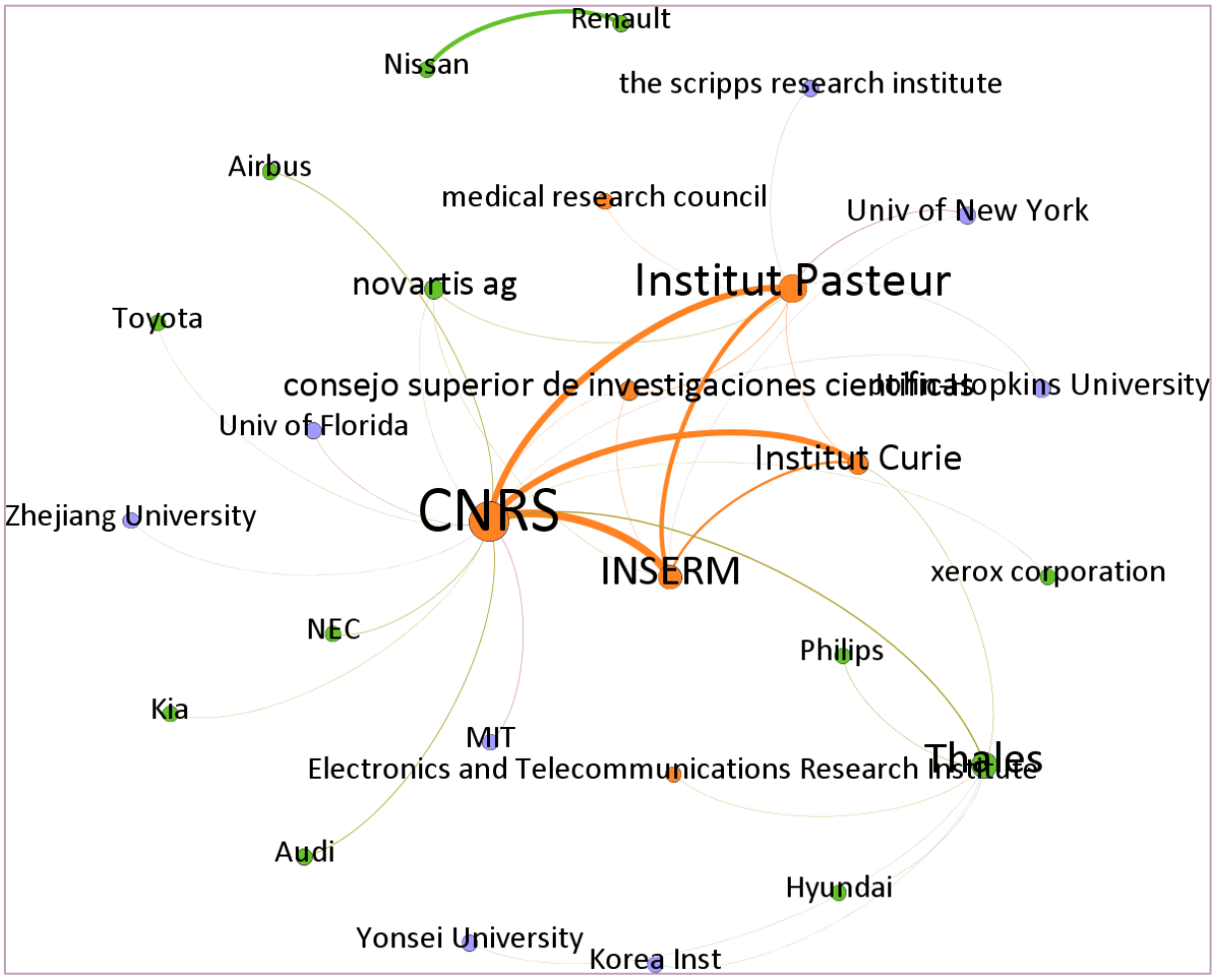
LES ORGANISMES FRANÇAIS PORTENT AUSSI LES RÉSEAUX DE COLLABORATION

Sur la période étudiée, environ 551 co-brevets français sont recensés. Les réseaux de collaboration des acteurs français sont particulièrement singuliers. En effet, **les principaux acteurs des collaborations en innovation IA formalisées par un co-brevet sont des acteurs publics**, au contraire des tendances mondiales où les co-brevets concernent essentiellement les acteurs privés. Ces derniers y participent dans 90 % des cas, alors que seulement 30 % des co-brevets mondiaux impliquent au moins un acteur public.

Au niveau mondial, 10 000 co-brevets sont recensés. Presque 90 % des collaborations dans le monde sont intranationales et seulement un co-brevet sur 10 rassemble des acteurs de nationalités différentes. Une différence majeure entre les acteurs publics et privés est qu'au niveau mondial, les entreprises privilégient les collaborations intranationales, alors que les collaborations impliquant au moins un acteur public sont davantage tournées vers l'international. **C'est l'opposé en France, où la collaboration intranationale entre acteurs privés est inexistante**, toutes les collaborations privées de co-brevets en France impliquant un acteur étranger.

En revanche, il existe un **fort niveau de collaboration intranationale entre les diverses institutions de recherche publiques françaises** (386 co-brevets). Elles sont peu nombreuses à choisir l'ouverture à l'international (38 seulement).

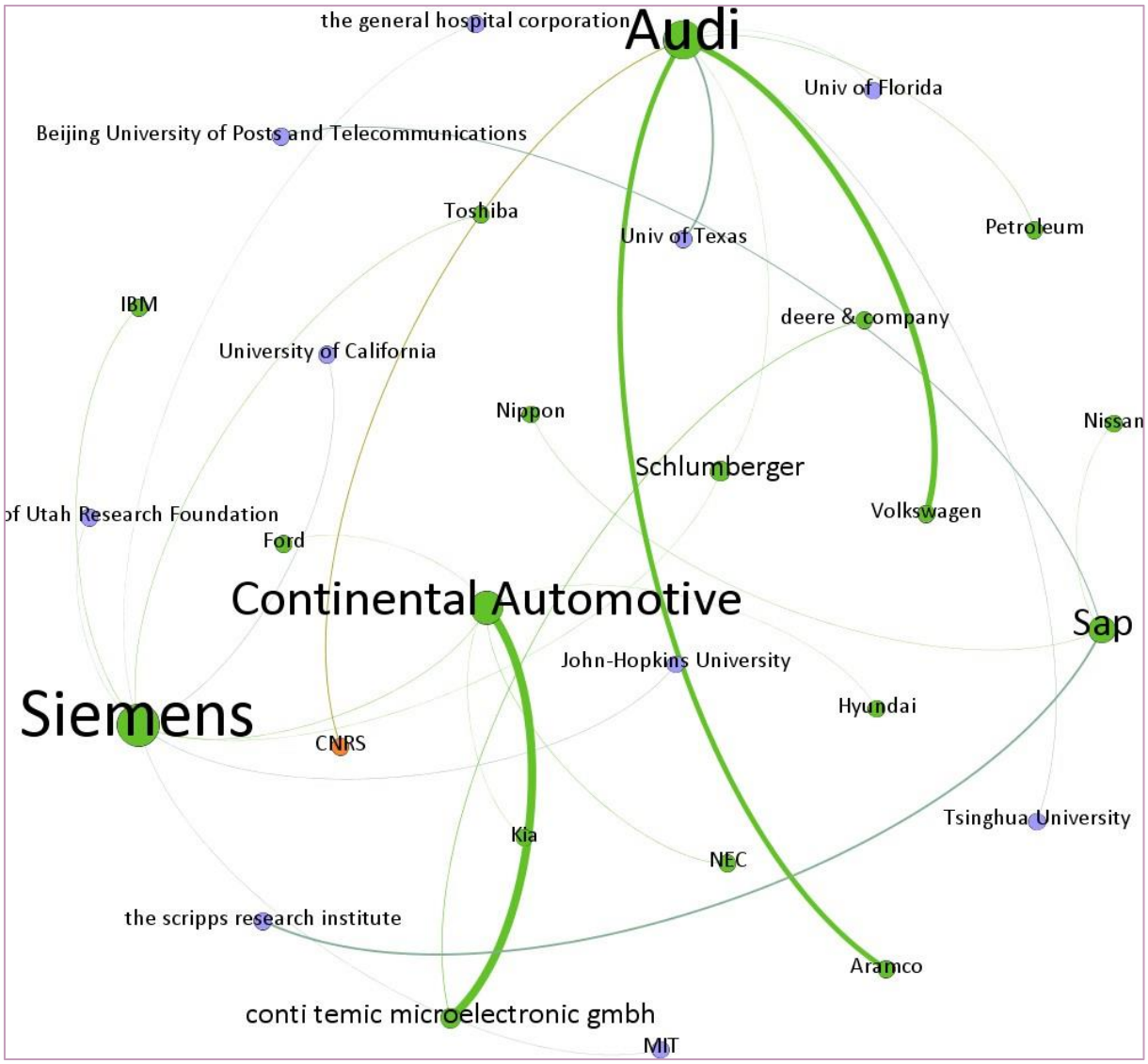
Le réseau de collaboration des principaux acteurs français en IA.
Source : PATSTAT édition octobre 2020, calculs des auteurs.



Légende : ● acteur privé ; ● université ; ● institut de recherche public.

L'Allemagne quant à elle suit les tendances mondiales et montre donc une impulsion contraire à celle de la France. Les brevets entre acteurs allemands sont exclusivement portés par des acteurs privés. Les institutions publiques de recherche impliquées dans des co-brevets allemands sont, elles, situées à l'étranger. En volume, les réseaux allemands semblent en retrait par rapport au volume des brevets. Toutefois, l'Allemagne est la plus ouverte sur l'étranger, avec plus de 50 % de ses co-brevets privés impliquant un acteur étranger.

Le réseau de collaboration des principaux acteurs allemands en IA.
Source : PATSTAT édition octobre 2020, calculs des auteurs.



Légende : ● acteur privé ; ● université ; ● institut de recherche public.

La diversité des systèmes nationaux d'innovation nous invite à rester circonspects vis-à-vis de politiques de soutien à l'intelligence artificielle qui consisteraient à imiter les politiques mises en œuvre dans un pays étalon. Une telle diversité nous pousse au contraire à dire que ces politiques ne peuvent s'opérer hors sol, sans référence aux acteurs clefs des pays. Ces stratégies doivent au contraire s'appuyer sur ces acteurs clefs.

Si l'Europe est en retrait, on doit envisager la construction d'un modèle européen de l'innovation dans le domaine de l'IA. Or, la différence observée entre les systèmes d'innovation allemands et français nous questionne quant à leur complémentarité ou au contraire à leur substitution. Sont-ils « solubles » l'un à l'autre ? Comment les articuler de manière à renforcer la position des acteurs clefs des deux pays ? Il revient aux décideurs publics d'imaginer des organisations innovantes, étant dorénavant acté qu'être exclu des développements futurs de l'intelligence artificielle serait synonyme de perte d'influence et de rayonnement au niveau international.

°°°

AUTEURS

L. Dibiaggio, M. Keita & L. Nesta, auteurs du rapport :
***L'intelligence artificielle : technologies et acteurs clefs*, édition 2022**

Ludovic Dibiaggio est professeur de management de l'innovation à SKEMA Business School. Directeur du centre de recherche Knowledge Technology and Organisation (KTO) de SKEMA, il est chercheur associé du Groupe de recherche en droit, économie, gestion (Gredeg) et directeur de l'Observatoire des impacts technologiques, économiques et sociétaux de l'intelligence artificielle (OTESIA). Ses recherches s'intéressent à l'étude des conditions et des facteurs favorisant l'innovation ainsi que de ses effets sur les organisations et les territoires dans des contextes industriels liés aux semi-conducteurs, aux biotechnologies, aux piles à combustible et à l'intelligence artificielle.

Mohamed Keita est ingénieur d'études *Data Scientist* à SKEMA Business School. Il est titulaire d'un Master de Mathématiques appliquées de l'Université Aix-Marseille. Ses centres d'intérêt portent sur la modélisation statistique appliquée aux sciences sociales, notamment dans le domaine de la gestion et de l'économie en lien avec le changement technique. Passionné de statistiques et intéressé par la programmation sous Python, il s'intéresse particulièrement à l'intelligence artificielle à la fois comme un objet d'étude particulier et comme un outil d'analyse innovant.

Lionel Nesta est professeur des universités à l'Université Côte d'Azur et chercheur au GREDEG (CNRS UCA). Il est également chercheur associé à l'OFCE (Observatoire français des conjonctures économiques, Sciences Po) et à SKEMA Business School. Ses travaux de recherche portent sur les grands bouleversements des économies modernes (transition énergétique, digitalisation, mondialisation), et sur leurs effets sur la croissance des entreprises et sur le fonctionnement des marchés. À l'OFCE, il a dirigé le Département de Recherche sur l'Innovation et la Concurrence de 2015 à 2020.

Sarah Vallée & Claude Revel, auteures du *policy brief :*
***L'intelligence artificielle, un sujet politique : les principales puissances dans le monde, quel positionnement pour la France ?* – avril 2022**

Claude Revel est directrice du développement de SKEMA PUBLIKA, experte en intelligence stratégique internationale, politiste, essayiste, ancienne professeure affiliée à SKEMA Business School et chargée de cours à Sciences Po, auteure de nombreuses publications dans le champ de la géopolitique et des relations internationales, déléguée interministérielle à l'intelligence économique auprès du Premier ministre de 2013 à 2015.

Sarah Vallée est chargée de projets à SKEMA PUBLIKA. Entre 2017 et 2019, elle exerce en tant que chargée de mission universitaire auprès de l'Ambassade de France au Vietnam. Elle démarre sa carrière à Expertise France, où elle s'intéressait aux questions de gouvernance économique et financière en Afrique.

°°°

Retrouvez l'ensemble de nos publications sur publika.skema.edu
Contact : publika@skema.edu

skema THINK TANK | PUBLIKA